



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**ffu**  
Forschungsstelle  
für Umweltpolitik

# UMWELTPOLITIK

## **Energiepolitik 20 Jahre nach Tschernobyl**

**Dokumentation der Tagung**

**„Tschernobyl 1986-2006: Erfahrungen für die Zukunft“**

**24. und 25. April 2006, Berlin**



DAS HAT ZUKUNFT.

---

## IMPRESSUM

<b>Herausgeber</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Referat Öffentlichkeitsarbeit D-11055 Berlin Internet: <a href="http://www.bmu.de">http://www.bmu.de</a> E-Mail: <a href="mailto:service@bmu.bund.de">service@bmu.bund.de</a>
<b>Redaktion</b>	Dr. Kerstin Tews im Auftrag der Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU) Freie Universität Berlin
<b>Lektorat</b>	der deutschsprachigen Beiträge Tanja Krumpeter, wortprofil, Berlin
<b>Graphik &amp; Layout</b>	Jana Madle, pix & pinsel, Hoisdorf
<b>Tagungsfotos</b>	Thomas Köhler, photothek.net, Berlin
<b>Druck</b>	Bonifatius GmbH, Paderborn
<b>Stand</b>	Oktober 2006, 1. Auflage, 2.000 Stück

## INHALT\*

- 7 Eröffnungsrede**  
**Sichere Energien statt Risikotechnologie**  
 Sigmar Gabriel  
 Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- 11 Grußwort**  
**des Botschafters der Ukraine in der Bundesrepublik Deutschland**  
 S.E. Dr. Igor Dolgov
- 13 Tschernobyl - eine politische Spurensuche**  
**Podiumsdiskussion mit Sigmar Gabriel, Prof. Dr. Martin Jänicke, Swetlana Alexijewitsch, Prof. Dr. Edmund Lengfelder und Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller**  
**Zusammenfassung**  
 Dr. Kerstin Tews

## Foren: Atompolitik im 21. Jahrhundert

### 19 Forum: Die ungelösten Probleme der Atomkraft

- 21 Disaster management: The current state of the sarcophagus and the ruined reactor in Chernobyl**  
 Iouli Andreev  
 Institut für Risikoforschung der Universität Wien
- 29 Rethinking the challenge of high-level nuclear waste in the United States**  
 Robert Alvarez  
 Direktor des Nuclear Policy Project, Institute for Policy Studies, Washington, DC
- 41 Nuclear waste: Last stop Siberia?**  
 Prof. Dr. Lydia Popova  
 Direktorin des Center for Nuclear Ecology & Energy Policy der Socio-Ecological Union, Moskau
- 47 Atomenergie - unverantwortliche Bedrohung, marginale Potenziale**  
 Prof. Dr. Klaus Traube  
 Energiewissenschaftler, energiepolitischer Berater des DNR und energiepolitischer Sprecher des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung

---

\* Dieser Tagungsband enthält die zur Verfügung gestellten Redemanuskripte und -transkripte sowie Hintergrundpapiere der Referenten/-innen zu ihren Vorträgen. Für die Inhalte sind die Autoren/-innen verantwortlich. Redaktionelle Änderungen wurden nur mit ihrer Genehmigung vorgenommen.

## 55 Forum: Atom- und Energiepolitik weltweit

### 57 Nuclear power in the world 2006

Mycale Schneider  
Internationaler Energieberater und Publizist

### 69 History of nuclear power in Brazil

Prof. Dr. Luiz Pinguelli Rosa  
Vize-Direktor der Graduate School of Engineering (COPPE) der Federal University of Rio de Janeiro

### 77 Chernobyl plus 20 - the Swedish case

Dr. Måns Lönnroth  
Geschäftsführer der Foundation for Strategic Environmental Research (MISTRA), Stockholm

### 87 Unchanging vision of nuclear energy: Nuclear power policy of the South Korean government and citizens' challenge

Prof. Dr. Sung-Jin Leem  
Direktor des Institute for Environmental and Energy Policy der Jeonju University

## 101 Forum: Die Bedeutung der Atomenergie für die Energieversorgung des 21. Jahrhunderts

### 103 Der Atomausstieg - Einstieg in eine nachhaltige Energieversorgung

Michael Müller  
Parlamentarischer Staatssekretär, Bundesumweltministerium

### 109 Atommeiler der neuen Generation - Trendwende in der Kernkraft?

Dr. Walter Hohlefelder  
Präsident des Deutschen Atomforums, Mitglied des Vorstandes der E.ON Energie AG

### 113 Die Risiken der Atomenergie in einer zusammenwachsenden Welt

Dr. Angelika Zahrnt  
Vorsitzende des BUND

### 119 Nachhaltige Energieversorgung - Was kann die Kernenergie dazu beitragen?

Prof. Dr. Alfred Voß  
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart

### 127 Atomenergie - Vorwärts in die Vergangenheit?

Reinhard Bütikofer  
Bundesvorsitzender von Bündnis 90/Die Grünen

## 129 Plenum:

### Atomkraft - ein weltweites Sicherheits-, Terrorismus- und Proliferationsrisiko

#### 131 Atomausstieg und europäische Außenpolitik

Martin Schulz

MdEP, Vorsitzender der Sozialdemokratischen Fraktion im Europäischen Parlament

#### 135 Die Risiken der Atomreaktoren weltweit

Stefan Schurig

Leiter des Klima- und Energiebereichs bei Greenpeace Deutschland

#### 145 Die Reaktorsicherheit in der Ukraine - 20 Jahre nach der Katastrophe in Tschernobyl

Olena Mykolaichuk

Leiterin der Ukrainischen Atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde (SNRCU)

## 147 Plenum:

### Energie- und klimapolitische Herausforderungen weltweit

#### 149 Aktueller Stand der Klimafolgenforschung: Vermeidung oder Anpassung?

Prof. Dr. Wolfgang Cramer

Leiter der Abteilung Globaler Wandel und Natürliche Systeme des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK)

#### 155 Herausforderungen und Perspektiven der internationalen Energiepolitik

Matthias Machnig

Staatssekretär, Bundesumweltministerium

#### 161 Neue Wege und Strategien zur Lösung der Energiefrage: die Energierevolution

Dr. Gerd Leipold

Geschäftsführer von Greenpeace International

#### 167 Curbing climate change - an outline of a framework leading to a low carbon emitting society

Lars G. Josefsson

Präsident und Vorstandsvorsitzender von Vattenfall AB

## Foren: Energiepolitik im 21. Jahrhundert

### 177 Forum:

#### Zukunft der Energieversorgung: erneuerbar - nachhaltig - sicher

#### 179 Langfristige Perspektiven der Stromerzeugung im Rahmen eines nachhaltigen Energiesystems in Deutschland

Prof. Dr. Peter Hennicke  
Präsident des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie

#### 191 Die Perspektiven der erneuerbaren Energien bis 2050 - in Deutschland, Europa, global

Dr. Ing. Joachim Nitsch  
Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

#### 207 Nachhaltige Stromerzeugung: Anforderungen an die Wirtschaft

Dr. Gerd Jäger  
Vorstandsmitglied der RWE Power AG, Ressort Kernkraftwerke und Regenerative Energien

#### 213 Umweltfreundliche Energieerzeugung

Johannes Lackmann  
Präsident des Bundesverbandes Erneuerbare Energien

### 223 Forum:

#### Mehr Zukunft mit weniger Energie

#### 225 Die Rolle der Energieeffizienz für eine erfolgreiche Klimaschutzpolitik

Ulrich Kelber  
MdB, stellvertretender Vorsitzender der SPD-Bundestagsfraktion

#### 229 Energieeffizienz in der Energieerzeugung

Dr. Felix Christian Matthes  
Koordinator des Bereichs Energie & Klimaschutz des Öko-Instituts

#### 235 Die Bedeutung der Energieeffizienz im Innovationswettbewerb

Dr. Joachim Hafkesbrink  
Geschäftsführer der Gesellschaft für Arbeits-, Reorganisations- und ökologische Wirtschaftsberatung mbH (ARÖW)

#### 247 Faktor 10 - Best Practice bei der energetischen Gebäudesanierung

Dr. Burkhard Schulze-Darup  
Architekt

## **261 Forum:**

### **Energiewende – Chancen für Beschäftigung, Wirtschaft und Wachstum**

#### **263 Erneuerbare Energien als Wirtschaftsfaktor**

Astrid Klug

Parlamentarische Staatssekretärin, Bundesumweltministerium

#### **265 Energiewende – Chancen und Grenzen nationaler Energiepolitik als Motor für Wirtschaft, Wachstum und Beschäftigung**

Dr. Eberhard Meller

Hauptgeschäftsführer des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft (VDEW)

#### **271 Erneuerbare Energien und Wachstum im Kontext des Atomausstiegs**

Stephan Kohler

Geschäftsführer der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena)

#### **285 Erneuerbare Energien – ein Exportschlager**

Prof. Dr. Fritz Vahrenholt

Vorstandsvorsitzender der REpower Systems AG

## **Anhang**

#### **289 Tagungsprogramm**

#### **293 Liste der Referenten/-innen und Moderatoren/-innen**

#### **297 Liste der Teilnehmer/-innen**

#### **301 Fotogalerie**





Bundesumweltminister Sigmar Gabriel eröffnet die Tagung

## Sichere Energien statt Risikotechnologie

**Sigmar Gabriel**

**Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**

----- *Es gilt das gesprochene Wort* -----

Tschernobyl liegt 20 Jahre zurück. Knapp drei Jahrzehnte vorher, 1959, schrieb man in die Präambel des Godesberger Grundsatzprogramms der Sozialdemokratischen Partei, also meiner Partei, folgende Worte: „Das ist der Widerspruch unserer Zeit, dass der Mensch die Urkraft des Atoms entfesselte und sich jetzt vor den Folgen fürchtet (...) Aber das ist auch die Hoffnung dieser Zeit, dass der Mensch im atomaren Zeitalter sein Leben erleichtern, von Sorgen befreien und Wohlstand für alle schaffen kann, wenn er seine täglich wachsende Macht über die Naturkräfte nur für friedliche Zwecke einsetzt.“

Das war die Vision: Atomenergie garantiert uns Wohlstand, Atomenergie befreit uns von Sorgen, Atomenergie sorgt für den Frieden auf der Welt. Selbstverständlich gab es auch damals bereits vereinzelt Kritiker. In den 70er Jahren wuchs regionaler Widerstand gegen einzelne Bauprojekte für Kernkraftwerke. Aber in der rechtlichen und in der ingenieurtechnischen Diskussion aller Beteiligten hielt man einen Unfall in einem Atomkraftwerk für ein rein hypothetisches Ereignis. Der größte anzunehmende Unfall, der GAU, war derjenige, gegen den das jeweilige Atomkraftwerk technisch ausgelegt war. Also konnte nichts passieren. Schon per Definition.

Aber es konnte eben doch etwas passieren. Es war ein Schock, zuerst 1979 in Harrisburg/Three Mile Island, dann in Tschernobyl. Die Kernkraftwerke, denen in der Zeitschrift der „nuclear community“, Atomwirtschaft, noch im Jahr 1983 eine sehr hohe Verlässlichkeit bescheinigt worden war, brachten keinen Wohlstand für die Ukraine, befreiten nicht von Sorgen und brachten vor allen Dingen auch keinen Frieden.

Ohne diese Ereignisse ist all das, was sich danach auch in Deutschland entwickelte und noch entwickelt, kaum zu verstehen. In Tschernobyl endete das Zeitalter blinden Technik- und Fortschrittglaubens. Seitdem diskutieren wir in Deutschland, in Europa und weltweit zwei Fragen und sind bis heute nicht zu endgültigen Antworten gekommen:

Wie bewältigen wir die Folgen des Unfalls? Wir sollten angesichts einer Diskussion über eine angebliche Renaissance der Atomkraft nicht vergessen, dass die erste Aufgabe ist, den immer noch betroffenen Menschen in der Region zu helfen. Wir müssen die Sicherheit des so genannten Sarkophages in Tschernobyl in den Mittelpunkt all unserer Anstrengungen stellen. Ich habe manchmal ein bisschen die Sorge, dass wir uns zu schnell und vorrangig über die Frage unterhalten, welche Konsequenzen aus dem Unfall in Tschernobyl zu ziehen sind. Dass wir zu schnell deutlich machen, dass der Ausstieg aus der Kernenergie weiterhin notwendig bleibt, ohne darauf zu achten, dass die erste Aufgabe sein muss, die Folgen dieses Unfalls auch weiter im Blick zu behalten. Tschernobyl ist eben kein historisches Ereignis, sondern Tschernobyl ist ein aktuelles Ereignis. Deswegen ist es wichtig, dass auch die Bundesrepublik Deutschland sich bereit erklärt hat, bei der weiteren Sicherung des Sarkophages finanziell und auch mit Know-how zu helfen.

Ich bin sehr dankbar für ein Gespräch, das ich eben mit dem Botschafter der Ukraine, Herrn Dolgov, hatte. Er erläuterte, dass aus seiner Sicht die aktuellen Verzögerungen in der weiteren Sicherung des Sarkophages bald behoben sein werden. Ich will an dieser Stelle für die Bundesregierung deutlich sagen: Wir erwarten selbstverständlich, dass die weitere Sicherung des Unglückreaktors in Tschernobyl absoluten Vorrang haben muss gegenüber, sagen wir mal, bürokratischen oder formalen Schwierigkeiten, die den Abfluss der bereitgestellten Gelder verzögern. Es gibt weiterhin viele Menschen, die Sorge vor radioaktiven Gefahren haben, wenn der jetzige Sarkophag nicht in ein vernünftiges Sicherungskonzept überführt werden kann. Ich danke dem Botschafter der Ukraine sehr für seine Hoffnung gebende Botschaft.

Was mir wichtig ist, heute zu sagen: Wir danken einer unglaublich großen Zahl von Menschen in unserem Land und in anderen Ländern, die über 20 Jahre in vielfältigen Initiativen geholfen haben, Hilfe nach Tschernobyl zu bringen oder Opfern in Deutschland Hilfe zu gewähren. Über 1.000 Initiativen haben in Deutschland 20 Jahre lang kontinuierlich Hilfe organisiert. Was sie geleistet haben, mitmenschlich und finanziell, übersteigt bei weitem das, was die Staatengemeinschaft in Form von finanziellen Mitteln aufbringen kann. Es ist durch nichts zu ersetzen. Diesen Initiativen in unserem Land gebührt ein großer Dank.

Das zweite wichtige Thema sind die Konsequenzen, die wir aus der Reaktorkatastrophe ziehen. 1986 begann in der Ukraine und in Weißrussland für viele eine Zeit des Leidens. Ein Gebiet mit einem Radius von 30 Kilometern rund um den Reaktor wurde für unbewohnbar erklärt. Wie viele Menschen infolge der radioaktiven Strahlung starben oder noch sterben müssen, ist, wie wir in den letzten Tagen erfuhren, immer noch umstritten. Das Tschernobyl Forum, die Internationale Atomenergiebehörde oder auch die Strahlenschutzkommission gehen von etwa 10.000 Toten aus, Greenpeace von mehr als 100.000 Toten. Der Streit darüber muss auf dem Feld der Wissenschaft bleiben, weil es im Kern um die Untersuchungsmethoden geht. Ich glaube nicht, dass es Sinn macht, darüber einen politischen Streit zu führen: Die Zahl 4.000 oder 10.000 ist für mich nicht weniger erschreckend als die Zahl 100.000. Die politischen Konsequenzen unterscheiden sich deshalb nicht. Sie könnten nicht weniger konsequent sein, wenn die Reaktorkatastrophe weniger Todesopfer gefordert hätte. Oder konsequenter, wenn sich die Zahl unfassbaren 100.000 näherte. Alles andere wäre fatal. Wir müssen in jedem Fall davon ausgehen, dass die betroffenen Reaktoren ein Risiko bedeuten, das wir für die Zukunft nicht in Kauf nehmen wollen.

Millionen Menschen wurden traumatisiert, leiden zum Teil bis heute an ihren Erfahrungen, an ihrer Ohnmacht, an Angst, an Krankheiten, an Depressionen. Der Unfall in Tschernobyl ist kein historisches Ereignis. Ich habe heute eine E-Mail erhalten, die ich gerne vorlesen möchte, weil daraus deutlich wird, dass es eben bis heute Rückwirkungen dieser Katastrophe gibt. Es ist eine E-Mail der Kinderhilfe Ukraine, Projekt Zhytomir, unterschrieben vom Vorstand Matthias Werner. Er schreibt, dass bisher knapp 700 Waisenkinder mit Kleidung und Schulsachen versorgt wurden. „Die gesundheitlichen Folgen der Reaktorkatastrophe vor 20 Jahren sind weiterhin spürbar, und die Havarie führt mitunter zu grotesken Situationen, wenn, wie im vorletzten Jahr, verstrahlte Weihnachtsbäume zurückgerufen werden mussten. Die Landbevölkerung, die ihren Lebensmittelbedarf da und dort durch Anbau auf kontaminiertem Boden deckt, bringt sich ratenweise mit Messer und Gabel um. Bei einem GAU wie in Tschernobyl ist die Halbwertszeit der Radionuklide länger als der Atem, der zum Leben verbleibt.“

Das schildert eindrucksvoll, dass wir bis heute, in der unmittelbaren Umgebung und auch darüber hinaus, davon ausgehen müssen, dass die Gefahr bei weitem nicht behoben oder beseitigt ist. Deswegen müssen wir Wert darauf legen, dass die Hilfe und der Abbau der Folgen des Unfalls im Mittelpunkt unseres politischen Handelns stehen. Der Unfall in Tschernobyl hat in der ganzen Welt Sicherheitsüberprüfungen von Atomkraftwerken ausgelöst und zu einem anderen Verständnis des größten anzunehmenden Unfalls geführt.

Nach heutigem internationalen Verständnis muss künftig Vorsorge auch gegenüber dem so genannten Super-GAU getroffen werden. Das ist der Fall, wenn der Reaktorkern schmilzt. Wir wissen: Keines der laufenden Kernkraftwerke der Welt ist gegen einen Kernschmelzunfall ausgelegt, auch nicht die deutschen. In Deutschland ist vor allem von den Befürwortern der Kernenergie oft zu hören, der Reaktor in Tschernobyl sei nicht vergleichbar mit unseren Reaktoren. Das stimmt in Bezug auf den technischen Standard. Allerdings haben gerade die Anhänger der Atomkraft 1983 in der Zeitschrift Atomwirtschaft den Reaktortyp von Tschernobyl außerordentlich gelobt.

Die prinzipiellen Risiken der Kernenergie sind nicht beherrschbar. Auch nicht in Deutschland. Annahme ist nämlich, dass der Mensch nie einen Fehler machen darf, dass die Technik nie versagen darf und dass vor allen Dingen nicht beides gleichzeitig eintreten darf. Dieses prinzipielle Risiko ist auch bei keinem der in Deutschland laufenden Kernkraftwerke ausgeschlossen. Deshalb haben wir die Laufzeit der Kernkraftwerke in Deutschland mit dem Atomkompromiss 2000 begrenzt. Die meisten Länder haben ihre ursprünglichen Zukunftspläne für die Kernenergie bis heute nicht realisiert.

Weniger als Tschernobyl sind andere Ereignisse als Gefahren der zivilen Nutzung der Atomenergie in das Bewusstsein der Menschen gedrungen. Wir wissen noch nicht, welche Ereignisse uns in der Auseinandersetzung um die Urananreicherung im Iran erwarten. Stehen wir bald vor einem neuen Krieg im Nahen Osten? Vor weiteren Terroranschlägen als Antwort islamischer Staaten oder terroristischer Gruppen? Weitere Konfliktherde sind Nordkorea, aber auch Pakistan, Indien und weitere Länder, die den Zugang zu eigenen Atomwaffen suchen oder zum Teil bereits gefunden haben. Das Streben technisch und wirtschaftlich nicht so entwickelter Länder nach Unabhängigkeit und wirtschaftlicher Teilhabe führt sehr schnell zum Bedürfnis nach wirtschaftlicher und militärischer Nutzung der Atomenergie. Das ist ihnen auch nicht vorzuerwerfen, solange wichtige Vertreter der industrialisierten Staaten des Nordens permanent die Nutzung der Atomenergie als den zentralen Weg, als den Ausweg aus der Energiekrise, propagieren. Dann muss man sich nicht wundern, dass andere Länder, die wirtschaftlich weniger entwickelt sind, diese Energiequelle ebenfalls für sich in Anspruch nehmen wollen.

Mit der Nutzung ist aber immer die Gefahr der Proliferation verbunden, also der Weitergabe von waffenfähigem, spaltbarem Material für die militärische Nutzung. Wer den Zugang zur zivilen Nutzung besitzt, erlangt eben leicht auch den technologischen Schlüssel zur militärischen. Der weltweite Handel mit Ausrüstungsgütern ist praktisch nicht hinreichend kontrollierbar, er ermöglicht den Zugang zu allen Techniken der Atomwaffenherstellung. Die Nutzung der Kernenergie in den entwickelten Ländern und der mit ihr verbundene internationale Kernbrennstoffkreislauf einschließlich des internationalen Handels mit kerntechnisch relevanten Ausrüstungen führt damit zu internationalen Auseinandersetzungen mit weniger entwickelten Ländern außerhalb der großen Staatengemeinschaften, die ihren Anspruch auf eigene Atomwaffen als vermeintlichen Garanten ihrer Unabhängigkeit realisieren wollen. Die Globalisierung der zivilen und militärischen Nutzung der Atomkraft wird damit zur immer ernsthafteren Bedrohung der internationalen Sicherheit, die auch auf Deutschland zielt.

Ein weltweiter Ausbau der Kernenergie würde diese Entwicklung trotz aller Bemühungen der Internationalen Atomenergiebehörde, trotz aller Safeguards-Abkommen und Handelsbeschränkungen für so genannte Dual-use-Güter weiter beschleunigen. Kein Land, das an dieser Entwicklung teilnimmt, kann behaupten, es habe nichts damit zu tun. National und international spielt die Menschheit mit der Atomenergie häufig wie mit einem Geist in der Flasche, immer in der Angst, jemand könnte den Korken ziehen oder die Flasche könnte aus Unachtsamkeit hinfallen. Jeder, der eine friedliche Nutzung der Atomenergie fördert oder fördern will, allen voran die pronukleare internationale Atomgemeinschaft mit ihren vielen Organisationen, steht vor dem kaum zu lösenden Konflikt, einerseits die zivile Nutzung der Atomenergie zu fördern und zu fordern und andererseits die Weiterverbreitung von Atomwaffen verhindern zu wollen und zu müssen.

Dass in der internationalen Politik, u.a. in den Vereinigten Staaten, ein Krieg im Iran als möglich erachtet wird, um ein Mittel zu haben, die Friedlichkeit der Atomenergienutzung zu sichern, ist sicher eine der großen Schizophrenien dieser Technologie: die Androhung eines Krieges zur Sicherung der friedlichen Nutzung der Kernenergie.

Wir alle, meine Damen und Herren, möchten eine möglichst angstfreie und friedfertige Welt. Dazu passt, aus meiner Sicht jedenfalls, keine Technologie, die eben diese Ängste hervorruft und Kriege provozieren kann. Selbstverständlich kann man darüber diskutieren, ob die Risiken der Atomkraftnutzung einschließlich ihrer bekannten Entsorgungsprobleme hinnehmbar seien oder ob man behaupten könne, das Risiko sei vertretbar. Aber lohnt sich dieses Risiko wirklich? Nur um elektrischen Strom weiterhin in Häusern als Heizung zu nutzen? Oder veraltete Stand-by-Geräte nicht zu ersetzen? Statt darauf zu achten, veraltete Elektromotoren gegen neue Drehstromregelungen auszutauschen? Ich glaube, dass wir im Kern ausreichend Alternativen haben, um diese Risiken – das Risiko der Weiterverbreitung von spaltbarem, waffenfähigem Material, das Risiko der Entsorgung und das Risiko des Betriebs von Kernenergieanlagen – für die Zukunft ausschalten zu können. Kernenergie ja oder nein, ist keine Frage des Glaubens, sondern sie lässt sich rational durch die Bewertung der Risiken und der bekannten Alternativen beantworten.

Neuerdings kommt der Hinweis „in Mode“, Kernenergie sei notwendig, um die Klimaprobleme der Welt zu lösen. Ich möchte nicht vor der Alternative stehen, entweder die Menschheit durch CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre oder durch Radioaktivität in der Atmosphäre zu gefährden. Das wäre wie die Wahl zwischen Pest und Cholera. Es sollte doch eher darum gehen, gesund zu werden – statt zwischen zwei lebensbedrohenden Krankheiten aussuchen zu müssen.

Es gibt ausreichend Alternativen.

Die erste Alternative, die wir bei weitem noch nicht ausreichend im Blick haben, ist die einer höheren Energieeffizienz beim Verbrauch. Und zwar ohne dass dabei das Lebensniveau eingeschränkt werden müsste oder dass man anderen Staaten, die sich erst entwickeln, diese besseren Lebensbedingungen verweigern müsste. Energieeffizienz bedeutet, das gleiche Ergebnis mit einem geringeren Einsatz von Energie zu erzeugen. Japan beispielsweise hat hier deutliche Fortschritte gemacht. Für die entwickelten Industrienationen ist das eine riesige Aufgabe. Ziel ist, sich unabhängiger zu machen von teuren Energieimporten und von der Nutzung der Kernenergie.

Die zweite Alternative sind erneuerbare Energien. Deutschland ist stolz auf sein ingenieurwissenschaftliches und sein forschungspolitisches Potenzial. Für unser Land ist es eine lösbare Herausforderung, erneuerbare Energien produktiver zu machen. Die Sonne der Sahara irgendwann in der nördlichen Erdhalbkugel nutzen zu können, ist sehr viel sinnvoller als auf eine Technologie zu setzen, die aus dem vergangenen Jahrhundert kommt. Für jemand, der ein Ingenieurstudium beginnt, scheint es mir die größere Herausforderung, der Welt zu helfen, die Restlaufzeit der vier Milliarden Jahre der Sonne in Zukunft zu nutzen, als die Frage, wie man die Restlaufzeit von Kernreaktoren von zehn oder 20 Jahren verlängern kann.

Die dritte Alternative sind effizientere Technologien bei der Nutzung von Kohle und Gas. Ich halte nichts davon, die Augen davor zu verschließen, dass der Energiehunger der Entwicklungs- und Schwellenländer zu einer stärkeren Nutzung der Kohle führen wird. Das wird China tun, das wird Brasilien tun, das werden auch wir tun. Dafür brauchen wir neue Techno-

logien, die weniger, nach Möglichkeit gar kein CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre abgeben.

Der Forschungs- und Technologiebedarf ist in diesen Bereichen immens hoch. Aber alle drei Alternativen zusammen – höhere Effizienz beim Verbrauch, Ausbau der erneuerbaren Energien und die Nutzung von neuen Technologien für Kohle und Gas – sind ausreichende Alternativen, um aus der Kernenergie auf Dauer aussteigen zu können.

Deutschland hat die Chance, der Welt und insbesondere den nicht so entwickelten Ländern zu zeigen, dass es eine Zukunft ohne Atomkraft gibt. Deutschland hat auch international die Möglichkeit, seine technologische und ökonomische Spitzenposition noch stärker auszubauen und in einem sehr breiten technologischen Anwendungsbereich, der alle Techniken und viele Wirtschaftszweige durchdringt, Wettbewerbsvorteile zu erlangen, die zum Motor einer nachhaltigen und weit weniger risikobehafteten Wirtschaftsentwicklung werden können.

Meine Damen und Herren, der Super-GAU in Tschernobyl am 26. April 1986 war der Auslöser eines gesellschaftlichen und politischen Prozesses, der im Jahr 2000 zur Atom-Ausstiegsvereinbarung der Bundesregierung mit den Energieversorgern geführt hat. Jetzt kommt es darauf an, an dieser Ausstiegsvereinbarung nicht permanent Zweifel zu hegen, sondern sie umzusetzen und die Zukunft unserer Energieversorgung ohne Atomenergie sicherzustellen.

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



*S.E. Dr. Igor Dolgov, Botschafter der Ukraine in der Bundesrepublik Deutschland, begrüßt die Teilnehmer der Tagung*

## Grußwort des Botschafters der Ukraine in der Bundesrepublik Deutschland

Dr. Igor Dolgov

Verehrter Minister, verehrte Teilnehmer, meine Damen und Herren,

es ist mir eine große Ehre, heute hier vor Ihnen sprechen zu dürfen. Nicht nur in der Ukraine, sondern auf der gesamten Welt gibt es verschiedene Veranstaltungen, die heute an die Katastrophe von Tschernobyl erinnern. Es ist besonders wichtig, dass die Mehrzahl der Konferenzen und anderer Veranstaltungen hier in Deutschland stattfinden. Wir haben den Eindruck, dass Deutschland einer der wichtigsten Partner des ukrainischen Volkes ist, wenn es um die Bewältigung der Konsequenzen der Katastrophe von Tschernobyl geht.

Ich möchte Ihnen, Herr Minister, sehr danken für Ihre profunde Analyse, die sie heute hier dargelegt haben. Der Überblick, den sie gegeben haben, ist auch wichtig für uns. Ich bin kein Experte auf dem Gebiet der Nuklearenergie oder der Energieversorgung, aber jeder ukrainische Bürger und jede ukrainische Bürgerin weiß, genau wie ich, wie wichtig diese Dinge sind. Wir haben unsere Lehren aus Tschernobyl gezogen. Eine der wichtigsten Lehren ist, dass das Unglück zu einer internationalen Kooperation geführt hat, denn es wäre nicht möglich gewesen, die Konsequenzen von Tschernobyl allein zu tragen. Dafür brauchten wir viele koordinierte Anstrengungen.

Wenige Stunden bevor diese Konferenz begann, wurde ein Protokoll der Zusammenarbeit zwischen der Ukraine und Deutschland unterzeichnet. Die Zusammenarbeit zwischen diesen beiden Ländern wurde ausgeweitet und ich halte es für sehr wichtig, dass die Bemühungen der Bundesregierung, ukrainischen Experten Hilfe zu leisten bei der Verbesserung der nuklearen Sicherheitsstandards und der Anwendung neuer Sicherheitstechnologien, dargelegt wurden. Wir haben gelernt, dass die Kontakte zwischen den Menschen genau so wichtig sind wie die bilateralen politischen Beziehungen. Mehr als 1.000 Nicht-Regierungsorganisationen in Deutschland arbeiten nach wie vor mit ukrainischen Nicht-Regierungsorganisationen und anderen Wohlfahrtsorganisationen zusammen.

Ich möchte nicht noch einmal die Zahl der von Tschernobyl betroffenen Kinder wiederholen. Sie sind nach Deutschland gekommen, um gesundheitlich behandelt zu werden. Wir bekommen nach wie vor humanitäre Transporte aus Deutschland und dafür sind wir sehr dankbar. Ich glaube, dass diese Freundschaft, die sofort nach dem Unfall begann und die sich weiterentwickelt, ein sehr wichtiges Element der bilateralen Zusammenarbeit ist.

Es ist ebenfalls sehr wichtig, anzumerken, dass wir in diesen Tagen Tschernobyl nicht nur als Tragödie diskutieren, als Katastrophe, sondern uns auf Fragen der Energieversorgung konzentrieren, denn es geht auch um die Energiepolitik auf globaler Ebene. Auch die ukrainische Regierung hat viele Anstrengungen unternommen, um eine neue Energiestrategie zu entwickeln und diese wird erfolgreich umgesetzt werden. Alle wissen genau, wie wichtig eine richtige und korrekte Strategie ist, und wie wichtig die Zusammenarbeit dabei ist. In dieser Hinsicht möchte ich der Konferenz großen Erfolg wünschen und ich denke, dass die Kontakte, die wir aufgebaut haben und die wir weiterführen werden, ihre Früchte tragen werden.

Vielen Dank und viel Erfolg für die Konferenz!



## Podiumsdiskussion: Tschernobyl – eine politische Spurensuche

Zusammenfassung von Dr. Kerstin Tews

### Moderation:

**Elfie Siegl**

Freie Journalistin, Berlin

### Teilnehmer der Podiumsdiskussion:

**Prof. Dr. Martin Jänicke**

Leiter der Forschungsstelle für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin, Mitglied des Sachverständigenrates für Umweltfragen

**Swetlana Alexijewitsch**

Journalistin und Schriftstellerin, Weißrussland

**Prof. Dr. Edmund Lengfelder**

Vorsitzender des Deutschen Verbandes für Tschernobyl-Hilfe und des Otto-Hug-Strahleninstituts, Lehrstuhl für Strahlenbiologie an der Ludwig-Maximilians-Universität München

**Sigmar Gabriel**

Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

**Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller**

Vorsitzender der Strahlenschutzkommission (SSK)



*Podiumsdiskussion „Tschernobyl – eine politische Spurensuche“  
mit Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller, Vorsitzender der Strahlenschutzkommission,  
Bundesumweltminister Sigmar Gabriel,  
Elfie Siegl, Journalistin und Moderatorin der Diskussion,  
Swetlana Alexijewitsch, Journalistin und Schriftstellerin aus Weißrussland,  
Prof. Dr. Martin Jänicke, Leiter der Forschungsstelle für Umweltpolitik an der Freien Universität Berlin,  
Prof. Dr. Edmund Lengfelder, Vorsitzender des Deutschen Verbandes für Tschernobyl-Hilfe (v.l.n.r.)*

Nach der Begrüßung und Eröffnungsrede von Bundesumweltminister Sigmar Gabriel und dem Grußwort des Botschafters der Ukraine in der Bundesrepublik Deutschland, Dr. Igor Dolgov, eröffnet **Elfie Siegl** die Podiumsdiskussion mit einer Episode aus ihrer Zeit als Moskau-Korrespondentin.

„Tschernobyl“, faxte ihr damaliger Sender Rias Berlin Ende April 1986, „wir brauchen dringend Informationen zu Tschernobyl“.

**Siegl** erinnert sich ihrer Ratlosigkeit und der ihrer Journalistenkollegen aus der westlichen Welt, die zu dieser Zeit als Moskau-Korrespondenten tätig waren: „Wer oder was ist Tschernobyl?“

Sie beschreibt die Hektik, mit der sie und ihre Kollegen versuchten, Informationen zu erhalten. Diese seien zunächst ausschließlich von ihren Heimatsendern gekommen. Weder die *Prawda* oder die *Iswestija* noch das sowjetische Fernsehen hätten besondere Vorkommnisse vermeldet.

Erst am 28. April, zwei volle Tage nach dem Reaktorunfall im Block IV des Atomkraftwerks Tschernobyl in der Ukraine, sei in der *Prawda* eine kleine Notiz zu einem Unfall in einem sowjetischen Kernkraftwerk, bei dem auch Radioaktivität ausgetreten sei, erschienen.

**Siegl** betont, dass Michael Gorbatschow, der damalige Generalsekretär der KPdSU und Chef des Kreml, sich erst 20 Tage nach dem Ereignis mit einer Fernsehansprache an die eigene Bevölkerung gewandt habe, um sie über den Unfall zu informieren.

Nach der Schilderung ihrer persönlichen Eindrücke bittet **Siegl Swetlana Alexijewitsch** zu erzählen, wie sie den 26. April 1986 und die darauf folgenden Tage in Weißrussland erlebt habe.

**Alexijewitsch** berichtet, sie habe von dem Unglück ebenfalls aus dem Ausland erfahren – aus Schweden, durch einen Anruf einer dort lebenden befreundeten Journalistin. Sie selbst und ihre Kollegen aus der Redaktion hätten zunächst an eine Provokation aus dem Westen geglaubt. Informationen aus heimischen Quellen habe es nicht gegeben. Auch **Alexijewitsch** hebt die Enttäuschung hervor, die viele Menschen angesichts des langen Wartens auf eine offizielle Stellungnahme durch Michael Gorbatschow damals empfunden hätten.

**Elfie Siegl** stellt daraufhin **Alexijewitsch** die Frage, welche gesellschaftlichen Konsequenzen Tschernobyl aus ihrer Sicht als weißrussische Journalistin und insbesondere Schriftstellerin, die sich mit der Katastrophe in ihrem Buch „Tschernobyl – Eine Chronik der Zukunft“ intensiv auseinandersetze, habe.

**Swetlana Alexijewitsch** betont, in Tschernobyl sei nicht nur ein Reaktor explodiert, nicht nur der Glaube an die Wissenschaft erschüttert worden. Tschernobyl habe stattdessen unser Weltbild erschüttert. Sie verweist darauf, dass es keine Traditionen gegeben habe und bis heute nicht gebe, mit einem solchen Ereignis umzugehen.

Tschernobyl habe eine neue Art von Feind hervorgebracht – eine Gefahr, die man nicht spüren könne, die man nicht riechen könne. Man dürfe sich nicht lange hinsetzen, sei ihnen gesagt worden, kein Wasser trinken, nicht an Bäume herangehen. Sie erzählt von Menschen, denen sie unmittelbar nach der Katastrophe begegnet sei – einem Imker, dessen Bienen wegfliegen, er selbst habe nicht gewusst warum und nichts gespürt –, einer alten Frau, die **Alexijewitsch** fragte, ob Krieg sei, angesichts der Maschinengewehre der herbeigerufenen – und selbst ahnungslosen – Soldaten. Sie erzählt von Menschen, die immer noch eine Welt sahen, die sie kannten, die ihnen zugleich aber eigenartig fremd war. Diese Menschen wollten Informationen, die sie hätten fühlen lassen können, was passiert war.

Tschernobyl sei ein Laboratorium, so **Swetlana Alexijewitsch**. Die Weißrussen und die Ukrainer sähen sich selbst als Menschen in einer Black Box, die Informationen aufzeichneten für die Zukunft – mit ihrem Leben: dem Einsatz ihres Lebens oder dem Tod ihrer Kinder. In diesem Zusammenhang kritisiert sie die IAEO, die die gesundheitlichen Folgen von Tschernobyl verharmlose.

**Alexijewitsch** fordert daher von ihren Landsleuten in Belarus und der Ukraine – Intellektuellen, Schriftstellerkollegen und Behörden –, mehr dieser Informationen aus der Black Box an die Welt zu geben. Damit Tschernobyl nicht länger als historisches Ereignis wahrgenommen werde, sondern als ein Ereignis, das Zukunft sei.

Sie verurteilt die Atomlobby und deren riesiges Arsenal von Argumenten, Argumenten der Vergangenheit, die Sicherheit versprechen. Tschernobyl habe den Raum für solche Argumente gesprengt. Sie erwähnt die zehn RBMK-Kernkraftwerke in ihrer Heimat und fragt, ob Europa es überleben könnte, wenn eines davon hochginge. Das Böse sei nicht mehr an die

Peripherie zu drängen – das Böse habe innerhalb eines Monats viele Länder heimgesucht. Tschernobyl müsse daher eine Waffe sein, um mit einer völlig anderen Welt fertig zu werden.

**Prof. Dr. Edmund Lengfelder** berichtet über das humanitäre Engagement des privaten Otto-Hug-Strahleninstituts und des Deutschen Verbandes für Tschernobylhilfe in Weißrussland, deren Vorsitzender er ist. Seit 1991 seien er und seine Mitarbeiter in Weißrussland aktiv, um dort zu helfen, wo am meisten Hilfe nötig sei. 70 Prozent des Fall-outs, so **Lengfelder**, seien auf Weißrussland gefallen. In Gomel, einer Stadt in der am meisten belasteten Region Weißrusslands, hätten sie 1993 ein Schilddrüsenzentrums errichtet. Schilddrüsenerkrankungen seien als Ergebnis der hohen Konzentration von Radionukliden in den ersten Tagen nach dem Reaktorunglück die deutlichste und unumstrittenste Folge des Unfalls. Das Schilddrüsenzentrums habe bisher über 100 000 Menschen behandelt. 1997, als offensichtlich geworden sei, dass viele der Schilddrüsenkrebspatienten Metastasen aufwiesen, habe man an der onkologischen Klinik in Gomel damit begonnen, ein Behandlungszentrum für metastasierenden Schilddrüsenkrebs einzurichten.

**Lengfelder** betont, wie wichtig es sei, dass die Menschen dort wüssten, dass ihnen in der eigenen Region geholfen werden könne – kostenlos und auf dem Niveau einer westlichen Fachklinik. In diesem Zusammenhang dankt er allen Sponsoren und Spendern, die seine Arbeit in Gomel ermöglichen.

Inwiefern die politische Situation in Weißrussland – er habe ja bereits unter zwei diktatorischen Regimes dort gearbeitet – seine Arbeit beeinflusse, erkundigt sich die Moderatorin **Siegl**.

**Lengfelder** erwidert, dass sein Institut politisch neutral sei und es eher kritisch sehe, sich als humanitäre Organisation in irgendeiner Weise politisch zu engagieren. Dem Krebs, den er behandle, sei es egal, wie der Präsident hieße. Die Unterstellung einer besonderen Nähe zum Lukaschenko-Regime weist er kategorisch von sich. In den 15 Jahren ihrer Aktivität in Weißrussland, durch das Eingreifen in dortige Medizinstrukturen sei man nicht umhine gekommen, mit dem Gesundheitsministerium oder lokalen Behörden zu kooperieren.

Über die Anzahl der Opfer der Tschernobyl-Katastrophe werde kontrovers diskutiert, richtet **Siegl** nun das Wort an **Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller**, den Vorsitzenden der Strahlenschutz-Kommission. Was der Grund dafür sei, bittet sie ihn zu erklären.

Als Wissenschaftler habe er die Aufgabe, so **Müller**, wissenschaftlich einwandfreie Methoden zu verwenden, um die Todesfälle durch Tumorerkrankungen – darum gehe es ja im Wesentlichen in diesem Streit – zu erklären. Strahlung sei bei Tumoren nur eine mögliche Ursache und er müsse wissenschaftlich ausschließen können, dass nicht andere Risikofaktoren dieser sehr häufigen Erkrankung zugrunde lägen. Bei hohen Strahlendosen sei das relativ leicht – kritisch sei es bei niedrigen Strahlendosen unter 100 Millisievert. Hier wisse die Wissenschaft bisher nicht, wie sich die Strahlenexposition auf die Tumorfrequenz auswirke. Daher seien alle Opferzahlen – auch die von Bundesumweltminister **Gabriel** genannten 10 000 oder 100 000 Opfer – Abschätzungen und keine faktisch Toten. **Müller** argumentiert, dass sich diese Schätzwerte nach heutigem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis, d.h. auch mit den modernsten epidemiologischen Verfahren, nicht verifizieren ließen. Eine Ausnahme bildeten lediglich die Schilddrüsenkrebserkrankungen, die sich definitiv bei Menschen der Region, die vor 20 Jahren Kinder und Jugendliche waren, nachweisen ließen.

**Müller** fordert bessere strahlenbiologische Verfahren, um die Wirkungen niedriger Strahlendosen untersuchen zu können. Er dankt in diesem Zusammenhang Bundesumweltminister **Gabriel**, der kürzlich mehrere Millionen Euro für die Strahlenforschung zur Verfügung gestellt habe.

Er warnt an dieser Stelle vor einer übertriebenen Darstellung der Strahlenwirkung: Sie schüre Strahlenängste, die unrechtmäßig seien.

**Siegl** interveniert mit der Frage, ob es besser sei, die Bevölkerung im Unklaren zu lassen, wie das damals in der Sowjetunion geschah, oder sie über die Gefahren aufzuklären.

**Müller** plädiert für eine realistische Aufklärung der Bevölkerung. Es würden jedoch in der Diskussion um die Folgen von Tschernobyl eine Reihe von Wirkungen der Strahlung zu Unrecht zugeschrieben – wie beispielsweise Selbstmorde. Strahlung könne keinen Selbstmord auslösen, es sei die Strahlenangst. Diese rühre eben daher, dass Zahlen massiv – wenn auch in guter Absicht – übertrieben würden. Er fordert noch einmal eine klare Differenzierung der Ursachen für die verschiedenen gesundheitlichen Folgen von Tschernobyl.

**Prof. Dr. Martin Jänicke**, Leiter der Forschungsstelle für Umweltpolitik an der FU Berlin und Mitglied im Sachverständigenrat für Umweltfragen, reagiert mit der Bemerkung, es gehöre zu den Spezifika der Nuklearindustrie, dass über die Nachteile der Atomwirtschaft immer wenig bekannt sei.

**Jänicke** verweist auf das Beispiel Großbritannien, wo die Banken sich gefürchtet hätten, die Atomwirtschaft zu privatisieren, aufgrund der hohen Kosten, die sich hinter der vermeintlich billigen Kilowattstunde Atomstrom verbergen würden. Heute, unter den Bedingungen eines liberalisierten Strommarktes, müsse die britische Atomindustrie subventioniert werden, damit sie im Wettbewerb mithalten könne. Das sei, so **Jänicke**, typisch: Unter den Bedingungen liberalisierter Strommärkte und einer entwickelten Demokratie wüsste man am meisten über diese Kosten, und in Ländern, wo diese Bedingungen bestünden, hätte die Atomindustrie weniger Chancen als anderswo – z.B. in Osteuropa.

**Müller** betont an dieser Stelle, dass er nicht in die Ecke der glühenden Befürworter der Atomenergie gestellt werden möchte, er habe als Wissenschaftler argumentiert.

**Jänicke** antwortet, dies sei nicht seine Absicht gewesen – er habe das Problem etwas grundsätzlicher ansprechen wollen.

Auf die Frage der Moderatorin **Elfie Siegl**, was wir in Deutschland aus Tschernobyl gelernt hätten, führt **Jänicke** die Besonderheiten der Diskussion in Deutschland nach dem Unglück an: Sie sei in seiner Wahrnehmung sehr konstruktiv gewesen. Tschernobyl habe eine Art Lern- und Innovationsschock ausgelöst, der die Energiepolitik der Bundesrepublik weitgehend bestimme.

Er führt diesen Lernschock darauf zurück, dass sich in Deutschland bereits seit dem Unfall von Harrisburg 1979 ein Fachpublikum intensiv mit Alternativen zur Atomenergie auseinandergesetzt habe. Der Schock von Tschernobyl habe also konstruktiv verarbeitet werden können. Kennzeichen der Debatte sei die Herangehensweise gewesen, immer beide Seiten in die Diskussion über Kosten und Nutzen der Atomenergie einzubeziehen – die Atomindustrie und deren Gegner. So hätten bereits im August 1986 zwei vom Wirtschaftsministerium in Auftrag gegebene Gutachten zu den wirtschaftlichen und ökologischen Folgen eines Ausstiegs aus der Kernenergie vorgelegen. Nicht nur ein Konsortium aus dem Öko-Institut und dem IÖW Berlin habe einen Ausstieg für möglich gehalten. Auch das Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung habe einen mittelfristigen Ausstieg bis 1995 für machbar gehalten.

Die überregionale Presse und das Fernsehen hätten das Thema aufgenommen – ein bemerkenswertes Ereignis, so **Jänicke** –, und wenige Monate nach Tschernobyl seien bereits Alternativen zur Atomenergie öffentlich debattiert und ein Innovationsschub durch den Ausstieg prognostiziert worden. Stromeinsparungen durch neue Stromtarife, Kraft-Wärme-Kopplung und Einspeisevergütungen für Strom aus erneuerbaren Energien seien bereits im Jahre 1986 Themen der Debatte über die politischen Konsequenzen von Tschernobyl gewesen.

**Elfie Siegl** dankt **Prof. Jänicke** und wendet sich mit der Frage an Bundesumweltminister **Sigmar Gabriel**, inwiefern es eigentlich Sinn mache, einseitig aus der Atomenergie auszusteigen und auf alternative Energien zu setzen, wenn andere Länder nicht mitziehen würden. Ob dies nicht ein globales Problem sei?

**Sigmar Gabriel** erwidert auf dieses Argument – das ihm geläufig sei – er könne doch nicht auf einen Erkenntnisstand verzichten, nur weil andere den nicht hätten.

Er gibt **Siegl** jedoch insofern Recht, als es sich natürlich um ein politisches Problem handle, wenn andere Staaten – nicht gerade innerhalb der EU, aber um sie herum – beschließen würden, die Atomenergie auszubauen. Hinter dem scheinbar kleinen Anteil von vier Prozent des Strombedarfs, den China beispielsweise mit Atomstrom zu decken beabsichtige, stünden eben 40 Atomkraftwerke – mit allen Sicherheits-, Transport- und Endlagerproblemen. Das beeinflusse auch die deutsche Debatte.

**Gabriel** argumentiert, dass es keine Alternative gebe, als auch in der internationalen Politik die eigene Position deutlich zu machen, d.h. den eigenen Kenntnisstand zu verbreiten und insbesondere den ärmeren Ländern zu helfen, dezentrale und nachhaltige Energieversorgungssysteme aufzubauen. Erneuerbare Energien zu fördern, sei auch deswegen sinnvoll, weil sie an jedem Ort der Welt in unterschiedlicher Zusammensetzung verfügbar seien.

Wenn ein Hochtechnologieland wie Deutschland, so **Gabriel** weiter, demonstrieren könnte, dass es sich von der Atomenergie unabhängig macht – und das würde in den nächsten Jahren durch die Abschaltung der Kernkraftwerke ja sichtbar werden –, wäre dies das beste Beispiel für Länder, die ihre wirtschaftliche Entwicklung zu verbessern strebten, nicht dem Atompfad zu folgen, sondern auf erneuerbare Energien oder den klimaschonenden Einsatz von Kohle zu setzen.

**Gabriel** betont, dass es auch in der Bundesrepublik nicht ohne den Einsatz von Kohle möglich sein werde, den Energiebedarf zu vertretbaren Kosten zu decken. Selbst wenn Deutschland sein sehr ambitioniertes Ziel, bis 2020 20 bis 25 Prozent des Strombedarfs durch erneuerbare Energien zu decken, erreichte, blieben eben noch 75 bis 80 Prozent, die allein durch Erdgas nicht zu kompensieren seien.

Er warnt ausdrücklich davor, Energie so teuer zu machen, dass der Lebensstandard der Menschen mit niedrigen und mittleren Einkommen – der Mehrheit in Deutschland – sinken würde. So würden Atombefürwortern Tür und Tor geöffnet, die öffentliche Debatte durch das Angebot ihrer einfachen Lösung, die Kernenergie zu nutzen, zu beeinflussen. Diese verfügten auch über die entsprechend größeren finanziellen Mittel, öffentlichkeitswirksam zu agieren, als die Atomkraftgegner. In Demokratien sei jedoch keine Entscheidung auf Dauer gesichert, so Gabriel. Daher seien Anstrengungen, die Risiken der Kernkraft immer wieder – auch 20 Jahre nach Tschernobyl – ins Gedächtnis zu rufen, ebenso notwendig, wie die Suche nach mehrheitsfähigen Alternativen.

**Elfie Siegl** erteilt nun **Swetlana Alexijewitsch** das Wort.

**Alexijewitsch** erregt sich, sie fühle sich, als hörte sie Theoretiker über die Kriegskunst sprechen. Währenddessen stürben ihre Verwandten in Belarus und der Ukraine.

Sie bedankt sich bei **Prof. Lengfelder** für dessen Engagement, zugleich wirft sie ihm jedoch eine apolitische Haltung vor. Man dürfe nicht außerhalb der Politik stehen. Politik und Wissenschaft seien eng verzahnt – eine apolitische Haltung führe zu Desinformation.

Politik und Medizin täten nichts, um etwas auszurichten gegen das, was tatsächlich geschehe: In Weißrussland esse und trinke man die Strahlung heute. Trotz der Verbotsschilder werde auf verseuchtem Boden Landwirtschaft betrieben. Die Leute hätten aufgrund ihrer Armut keine Wahl. Man müsse etwas für die tun, die leben, und diesen kleinen Strahlendosen zu Leibe rücken, nicht erst aktiv werden, wenn die Menschen im Sterben lägen. Lediglich die Folgen der äußeren Bestrahlung zur Kenntnis zu nehmen, entspreche dem Denken der Vergangenheit. **Alexijewitsch** fordert, Leute in das „Labor Tschernobyl“ zu schicken, die offen seien, nach neuen Erkenntnissen zu suchen und insbesondere die Wirkung geringer Strahlendosen, die mit der Nahrung aufgenommen würden, zu erforschen.

**Sigmar Gabriel** ergreift das Wort und dankt **Swetlana Alexijewitsch** für diesen Einwand. Er habe auch den Eindruck, wir würden in Deutschland doch sehr dazu neigen, Tschernobyl für die eigene atompolitische Debatte zu instrumentalisieren. Natürlich seien Diskussionen über die energiepolitischen Folgen von Tschernobyl unerlässlich, aber auch die Erforschung der aktuellen Probleme in der Region aufgrund der weiter vorhandenen Strahlenbelastung dürfe nicht zu kurz kommen. Er glaube, es müsse wieder mehr – und das lehre ihn auch diese Diskussion – Augenmerk darauf gelegt werden, wie man den Menschen, die dort leben, beistehen könne. Der öffentliche Druck, so Gabriel, müsse erhöht werden, um die internationale Staatengemeinschaft, aber auch die örtliche Regierung dazu zu bewegen, hinzuschauen und zu helfen.

**Prof. Lengfelder** stimmt **Alexijewitsch** zu, dass der größte Teil der Strahlendosis heute über die Nahrung appliziert werde. Das sei ein ernstes Problem, das, so Lengfelder, nicht von den dortigen Medizinern heruntergespielt werde, sondern von der IAEA und zum Teil der WHO. Er empfiehlt, im Zweifelsfall auf die einheimischen Ärzte zu hören und nicht auf die politisch ausgerichteten Wünsche der IAEA, die eigentlich die Verbreitung der Atomenergie in der Welt beschleunigen wolle.

Abschließend wendet sich **Elfie Siegl** noch einmal an Bundesumweltminister **Gabriel** mit der Frage, wie man Ländern wie der Ukraine, Weißrussland oder Russland, in denen der Energieverbrauch u.a. aufgrund veralteter Wohnraumbeheizungsstandards extrem hoch sei, helfen oder sie animieren könne, aktiv etwas gegen den steigenden Energieverbrauch zu tun. Wie könne man darüber hinaus mit einem autoritären System, wie dem in Weißrussland unter Lukaschenko, kooperieren, wenn gleichzeitig Sanktionen seitens der EU gegenüber Weißrussland gefordert würden?

**Gabriel** führt aus, dass die zweite Frage ein grundsätzliches außenpolitisches Problem darstelle. Natürlich sei humanitäre Hilfe nach Katastrophen, wie auch der in Tschernobyl, selbstverständlich – unabhängig vom jeweiligen Regime. Bei allem, was darüber hinausgehe, befinde man sich außenpolitisch immer auf Messers Schneide. Man dürfe Lukaschenko nicht noch durch intensivere politische Beziehungen adeln, bevor dieser nicht die Menschenrechtssituation in seinem Land verbessere.

Auf die Frage, was Deutschland dazu beitragen könne, dass anderswo effizienter mit Energie umgegangen werde, antwortet **Gabriel**, man müsse zeigen, dass man es selber tue. Wäre die Bundesrepublik bereit, Energieeffizienz zu ihrem zentralen Thema zu machen, würden Technologien entwickelt werden, die Deutschland wettbewerbsfähiger machten. Denn bei steigenden Energiepreisen werde die Energieintensität pro Wertschöpfungseinheit zum Indikator der Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft.

Angesichts der beiden gigantischen Menschheitsprobleme – Energieversorgungssicherheit und drohender Klimawandel – dürfe das Wachstum der nächsten 50 Jahre nicht mit dem Energieeinsatz der letzten 50 Jahre erzeugt werden. Es gehe dabei allerdings nicht um Konsumverzicht und eine Strategie des „Gürtel-enger-Schnallens“, argumentiert **Gabriel**

weiter, sondern darum, als Hochtechnologieland technologische Alternativen sowohl zur Kernkraft als auch zum gegenwärtigen Energieverbrauch zu entwickeln. In der Integration von Technikfolgeabschätzung und in der marktwirtschaftlichen Durchsetzung alternativer Technologien sehe er die zentralen Herausforderungen für die Energiepolitik der Zukunft.

## Foren: Atompolitik im 21. Jahrhundert

### Forum: Die ungelösten Probleme der Atomkraft

#### Moderation:

Dr. Gerd Rosenkranz  
Deutsche Umwelthilfe

#### Disaster management: The current state of the sarcophagus and the ruined reactor in Chernobyl

Iouli Andreev  
Institut für Risikoforschung der Universität Wien

#### Rethinking the challenge of high-level nuclear waste in the United States

Robert Alvarez  
Direktor des Nuclear Policy Project, Institute for Policy Studies, Washington, DC

#### Nuclear waste: Last stop Siberia?

Prof. Dr. Lydia Popova  
Direktorin des Center for Nuclear Ecology & Energy Policy der Socio-Ecological Union, Moskau

#### Atomenergie - unverantwortliche Bedrohung, marginale Potenziale

Prof. Dr. Klaus Traube  
Energiewissenschaftler, energiepolitischer Berater des DNR und energiepolitischer Sprecher des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung



*Forum: „Die ungelösten Probleme der Atomkraft“  
mit Prof. Dr. Lydia Popova, Direktorin des Center for Nuclear Ecology & Energy Policy in Moskau,  
Robert Alvarez, Direktor des Nuclear Policy Project des Institute for Policy Studies, Washington,  
Dr. Gerd Rosenkranz, Deutsche Umwelthilfe und Moderator des Forums,  
Prof. Dr. Klaus Traube, Energiewissenschaftler und energiepolitischer Berater des Deutschen Naturschutzrings,  
MinDir Wolfgang Renneberg, Abteilungsleiter Reaktorsicherheit, BMU und  
Iouli Andreev, Institut für Risikoforschung der Universität Wien (v.l.n.r.)*



## Disaster management: The current state of the sarcophagus and the ruined reactor in Chernobyl

Iouli Andreev

Institut für Risikoforschung der Universität Wien

In the aftermath of the Chernobyl 1986 accident, the Soviet Government issued a statement that due to a hydrogen explosion, which had occurred after an operator's error, about 4 percent of the nuclear fuel was released from RBMK reactor number IV which led to the contamination of Soviet Union territory and other parts of the world. The IAEA agreed with the conclusions of the Soviet report.

The "four percent hypothesis" went some way to cooling the panic mood in the media, although it is debatable whether one can really maintain that the atmosphere cooled in the aftermath of the accident.

The roots of the "four per cent hypothesis" can be found in the first report submitted by the ChNPP management to the Moscow Ministry of Energy according to which the reactor had not been significantly damaged and had been cooled. At a later juncture, the State Committee on the Use of the Atomic Energy of the USSR issued a bulletin for the IAEA experts in which it stated that "fuel in the core (96 percent) is localized in the shaft of the reactor and steam-and-water areas and lower water communications"(GOSKOMATOM 1996).

Today, twenty years after the Chernobyl accident, it is still unclear to the public and even to some engineers what happened to reactor number four of ChNPP and what the current state of the sarcophagus and the shelter constructed to hide the exploded reactor is. One of the Kurchatov Institute engineers, Mr. Konstantin Checherov, recently stated that the Chernobyl reactor had been destroyed by a nuclear explosion and that the sarcophagus only contained a small portion of the radioactivity ejected by the explosion. Checherov, who has personally examined all the rooms inside Unit IV, disputes the official line that most of the fuel is still inside the reactor hall. "We have found less than ten percent, perhaps four to six percent," he says. "There was nothing inside; none of the core, just lots of concrete"(Checherov 1999: 27). Checherov's estimation of the nature of the explosion is not new, and other confirmations of nuclear nature of it exists which will be discussed later. A lesser known fact is that there has never been confirmation that a significant nuclear fuel mass was found inside the sarcophagus. With the ambitious plans of creating new sarcophagus close to becoming a reality, it is now more important than ever to rethink the necessity and effectiveness of these plans.

In 1986, I was responsible for the decontamination of the Chernobyl nuclear power plant as a head of a group of military specialists and between 1987-1989 I was responsible for finding a permanent technical solution for the sarcophagus ("Ukri-tie", as it was officially named later) problem as the scientific director of the Soviet nuclear emergency service "Spetsatom", created after the Chernobyl accident.

Figure 1: Reactor IV viewed from the north-west, August 1986



Source: Andreev (personal archive)

From the very beginning of the recovery work in Chernobyl, the main goal was to put back in operation all four units of NPP, to complete two additional Units V and VI which were being constructed on the Chernobyl NPP site and to enable the

return of the population of the Pripjat city where the personnel of ChNPP was living. This decision was taken by the Deputy Premier Minister of the USSR Boris Stcherbina in May 1986. Later in May 1986, a decision was taken not to recover the blown unit IV, while, in 1987, a decision was taken to delay temporarily the completion of Units V and VI and delay the return of the population to Pripjat. Units V and VI were mothballed and Units I, II and III were recovered and put in operation. The houses in Pripjat were locked and sealed, and special measures were taken to conserve the city's infrastructure. There is no doubt that, should B. Stcherbina remain in power, the five reactors in Chernobyl will be working and Pripjat will be populated by the plant personnel.

It was found that, despite the emissions from the ruined reactor being even below the emissions of a reactor running normally, it was completely impossible to operate Unit III in the vicinity of the ruin for psychological considerations. The problematic possibility of radioactive dust being released from the ruin due to an earthquake, hurricane or tornado could be easily eliminated by spraying resins to bind the dust. The relevant experience was accumulated during the recovery work. As for the contamination of the ground water, this simply went unnoticed, and basic experiments indicated that the velocity of radioactive materials infiltrating the ground could be compared with the rate of radioactive decay. It was clear that radioactivity in the ground water never would be serious safety factor. Additionally, all the compounds which included radioactive nuclides in Chernobyl were initially insoluble. Therefore, the reason behind constructing the sarcophagus was mainly psychological or socio-political.

One of the most complex problems in Chernobyl was the decontamination of the area around Unit IV, including the building itself, which was common for Units IV and III. It was covered by the remnants of the reactor – including fragmented parts of the reactor channels, fuel assemblies and graphite blocks. The dimensions of the fragments belong to the four major groups: the long pieces of the lower and upper parts of the channels, each of which are up to several meters in length; the large parts of graphite blocs; the small fragments of fuel rods and graphite up to several centimeters in size; and the dispersed fuel which was partially captured by the melted bitumen on the roofs. The parts of the fuel assemblies with pieces of reactor channels were rare.

In May 1986, engineering troops began collecting and storing the radioactive debris around Unit IV with the help of specially developed, so-called “1000-formula” (1000F) machines created during two weeks after the accident in one of the military nuclear institutes with the help of military and civil specialists from different institutions, including the tank design bureau.

*Figure 2: 1000-formula machine in the waste storage site*



*Source: Andreev (personal archive)*

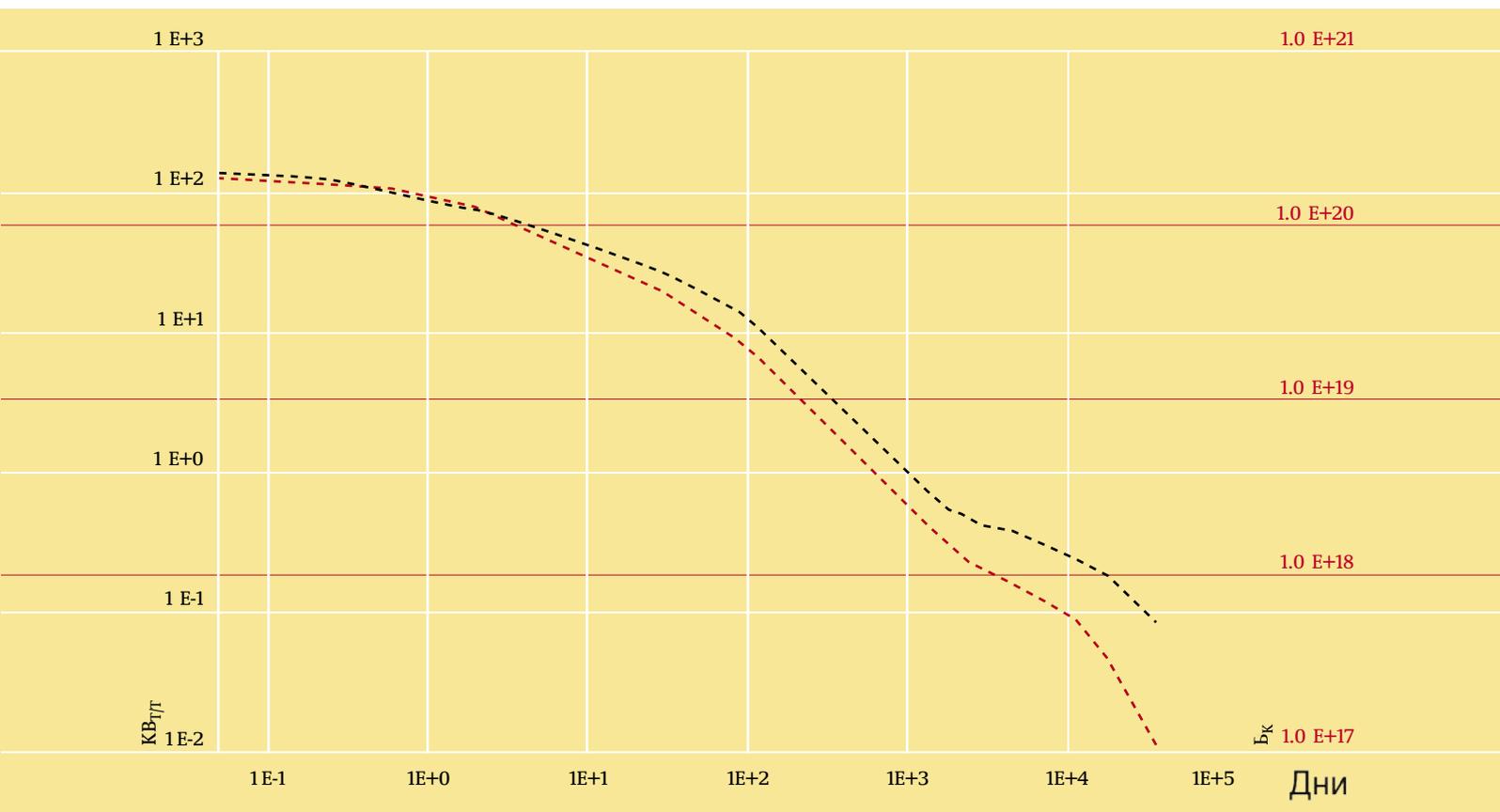
These machines played an important role in the Chernobyl decontamination process: They provided for a 1000-fold decrease in radiation for the crew and protection from radioactive dust for the engine. In spite of the high degree of shielding, the dose rate inside the vehicle sometimes reached one R/h, therefore making it necessary to change operators after one or two shifts. These machines removed the upper contaminated layer of soil around Unit IV and moved it close to the building walls. Later on, the manipulators with dippers were attached to the 1000F and the soil, together with the reactor debris, was deposited into containers made from four mm thick steel measuring 1x1x1 meter in size. The containers were moved to the

temporary waste storage facility on the territory of Units IV, V and VI and were, in part, installed close to the wall of the reactor IV building and covered by soil and concrete. I attempted to create a system of recording the removed and buried waste but this was barely feasible since the measurements of activity could not be taken onsite due to the fact that the radiation level here was over 500 R/h and the machine crews did not have enough time to make even simple records because every minute spent within the high radiation environment was precious. All of those involved in the work were under severe time constraints because the government had decided to put Units I, II and III in operation as soon as possible and not to take into account the existing problems. In turn, all of the resources of the USSR were made available to complete the task. I conducted only a rough calculation of the units of volume of removed waste and estimated the amount to be around 100,000 cubic meters. When it became clear that it was impossible to decontaminate the plant site fast, the government decided to cover the radioactive materials in the plant yard with concrete and soil. The first attempts at using liquid concrete were undertaken in June 1986 on the plant yard to the north of Unit IV. At the beginning of this work, numerous “geysers” appeared on the yard because the concrete mixture caused the water to boil as a result of the residual decay heat in the nuclear fuel.

Decontamination work on the roofs of the buildings for Units III and IV was, in part, performed with the help of remote-controlled mechanisms, although a large portion of the work was conducted manually by soldiers. The radioactive materials were thrown from the roof of the destroyed reactor premises.

All of the above-mentioned phenomena raise doubts as to the true amount of radioactivity located today under the roof of the sarcophagus. I personally took part in an investigation of the inner premises of the sarcophagus and I can only confirm the existence of several tons of nuclear fuel here. The report filed by S. Belyaev, a scientist from the Kurchatov Institute (Belyaev 1992), refers to the never published thermodynamic calculations which, according to the author, may confirm the existence of large volumes of nuclear fuel inside the masses of concrete and of unapproachable premises inside the sarcophagus.

Figure 3: Residual heat emission and activity of Chernobyl fuel



Source: Borovoy 1996

Assuming, according to figure 2, that, three years after the explosion, one metric ton of the nuclear fuel has a thermal power of 0.3 kW, the emission of heat from the sarcophagus – in the event that all of the fuel was contained inside its borders – will be around 60-100 kW. Taking roughly the area of the sarcophagus exposed to the sun as being 10,000 m<sup>2</sup> and the average level of sun radiation as being 0.2 kW/m<sup>2</sup>, the full level of sun radiation will be 2000 kW. It is clear that these conditions

fully exclude the possibility of distinguishing between different sources of heat inside the building and estimating the quantity of the fuel in the sarcophagus. Therefore the real quantity of fuel inside the sarcophagus remains unclear and it is wiser to believe the direct observations made by Checherov.

In June 1986 and later I used helicopters to look into the reactor and the surrounding areas to better understand where the fuel is located.

*Figure 4: After a reconnaissance flight above the Chernobyl reactor, June 1986. The author is the third from the right side (with identity card on the chest and a file in the right hand)*



*Source: Andreev (personal archive)*

The reactor was empty. In part, light was reflected by the reactor's cover which stands at a slight angle to the vertical line which created a 3D picture of the large cavity.

Where is the fuel? Finding an answer to this question was considered important in June 1986 because it was impossible at the time to develop any decontamination technology without understanding this problem.

It was also impossible to answer this question without knowing anything about the nature of the explosion which destroyed Unit IV.

The key elements for understanding the nature of the explosion were the fuel rod fragments. For reasons of secrecy, cameras were not allowed inside Chernobyl. Therefore no images of these fragments exist. Only the very few people involved in the reconnaissance work on the roofs of NPP have seen these fragments since the dose rate in the locations which contain these fragments was always above 100 R/h. The special qualifications required to visit these locations say nothing about the ability to make careful observations during the extremely dangerous inspections. A reconstruction of the author's view of a fuel rod fragment in June 1986 can be seen in figure 1.

The thousands of fuel rod fragments with a prevalent length of about 5 cm were found on the roof of Unit IV. As one can see here, the fuel rod is blown from the inside. Not a single fragment found on the roofs displayed the properties which could allow one to imagine that the fuel rods had been deformed by force being exerted from the external space to the axis of the rod. The short pieces of fuel rods which were found did not contain nuclear fuel, and no separate fuel pellets were found inside these short pieces. Because the nuclear fuel inside the fuel rods explodes it could not be found inside these rods.

These simple facts cast doubts on any scenarios suggesting an explosion inside the reactor except for the fast reactivity surge caused by the fast neutrons, or, put in elusive terms, a nuclear explosion. The speculations surrounding a Doppler effect that forbids the surge of power are called into question in an article written by J. M. Martinez-Val et al. (1990):

*"...reactivity trip ...could not be fully overcome by the Doppler effect because of the neutronic importance of hydrogen captures under the conditions before the accident."*

I have never met a specialist from the field of reactor physics who shared a different opinion when the subject was discussed in a close circle of top nuclear engineers. Less impressive scenarios were developed for the general public. These included “steam explosion”, “hydrogen explosion” and even “cavitation”. One of “the confirmed considerations” of multiple explosions took the two heavy explosions into account which occurred within an interval of several seconds of each other, but the second impact may be explained only by the 2,000 metric ton cover crashing down; the heavy reactor upper cover was tossed at least 15 meters into the air by the explosion. This “flight” requires about 3.5 seconds. These “non-nuclear” scenarios were invented exclusively with the purpose of calming the public attitude to the designers of the reactors because the term “nuclear explosion” sounds too evil to lay persons in this field.

Figure 5: Fragment of the deformed fuel rod (reconstruction)



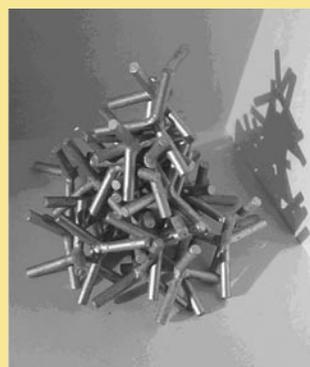
Source: Andreev (personal archive)

The considerations mentioned above must not be viewed as an attempt to create another scenario for the Chernobyl accident; this merely proves that no final explanation for the accident exists yet. By the same token, the extent of the dispersion of the exploded products is equally unclear. I believe that a major portion of the nuclear fuel has been scattered under the North Cascade Wall and around the sarcophagus with a radius of approximately 100 meters.

The sarcophagus was erected by the military construction unit US-605 from the Sredmash Ministry. The design and technology were developed in the Sredmash institutions VNIPIET, Hydrostroy and NIKIMT. The construction work was completed in November 1986. The design did not include the sealing of the destroyed reactor because it did not cause the release of radioactivity. Its primary function was an esthetic one in spite of the fact that the designers guaranteed that the building could operate for 30 years. As a consequence, in 1989, the issue of finding a final solution for Unit IV once more became topical in Chernobyl.

The final solution methods for the sarcophagus were developed in parallel in 1989 at several Soviet organizations. The VNIPIET Institute came up with the simplest solution to the problem. The approach developed by Dr. Kurnosov included pumping concrete into the sarcophagus and creating a monolithic construction which would remain stable over an extended time period. Another solution was presented by the director of the NIKIMT Institute, Mr. Yurchenko. This included pouring in concrete using a light concrete which, together with the metal parts, can be cut into regular cubes after 50-100 years using special saws. These cubes later would enable a better organized means of storage. The Design Bureau of the “Spetsatom”, an industrial amalgamation under my supervision, developed the method for fortifying the sarcophagus using special elements made from reinforced concrete. The shape of the element and the shape of the irregular structure from these elements can be seen in Figures 6 and 7 respectively.

Figure 6: The element for filling the inner space in the sarcophagus; Figure 7: A pile of special elements for filling the inner space of the sarcophagus and preventing the outer walls from collapsing



Source: Andreev (personal archive)

The length of the element rod was supposed to be around two meters with a rod diameter of 0.4 m. To decrease its weight, the core of the element was made of porous concrete. A pile of elements has specific properties. It behaves just like a solid body but does not convert the vertical load into the horizontal force which is common for piles made from many other types of objects – balls, for instance – and is extremely stable under dynamic loads. The pile can be assembled and disassembled using simple remote-controlled machines and does not require any manual adjustment during assembly and disassembly. Furthermore, it does not inhibit the air cooling of radioactive materials.

It was presumed that the pile would support the inner integrity of the sarcophagus during the time that was needed for the bulk of the radioactive materials inventory to decay and then be disassembled to permit access to the inner structures of the sarcophagus for the purposes of disassembly and regular storage. The cost of the work was estimated at 50 million euros (Ecu) in 1989.

It is unclear today whether the sarcophagus contains large volumes of nuclear fuel or if such volumes are located around the sarcophagus. The general strategy applied for decommissioning nuclear power plants today includes waiting for extended periods until the radionuclides have decayed. The decommissioning method adopted by the US NRC, for instance, involves three different alternatives: DECON, SAFSTOR, or ENTOMB (US NRC 2004).

- Under DECON (immediate dismantlement), soon after the nuclear facility closes, equipment, structures, and portions of the facility containing radioactive contaminants are removed or decontaminated to a level that permits release of the property and termination of the NRC license.
- Under SAFSTOR, often considered “delayed DECON”, a nuclear facility is maintained and monitored in a condition that allows the radioactivity to decay; afterwards, it is dismantled.
- Under ENTOMB, radioactive contaminants are encased in a structurally sound material, such as concrete, and appropriately maintained and monitored until the radioactivity decays to a level permitting the release of the property.

What does “a condition that allows the radioactivity to decay” mean? It is considered that radioactivity will practically disappear after a time which corresponds to the ten periods of half-decay. For the main contaminants such as cesium or strontium, this means approximately 300 years.

The Chernobyl NPP was contaminated by very high levels of radiation caused by the 1986 accident. Therefore, the only reasonable solution that may be considered for its decommissioning is the DECON method which permits a decrease in the integrated dose and overall expenditures.

Applying DECON would entail having to keep the Chernobyl NPP building and its sarcophagus stable and safe over a period of 300 years. Is it possible to keep the arch construction, which is proposed to be built on the Chernobyl site, stable for a period of 300 years?

The design of a so-called “soap-box” in Chernobyl cannot withstand the 300 years necessary for the nuclides to decay because the light and complex structures are not able to withstand such a long period of time due to corrosion. The idea of the building a second sarcophagus arose from the artificially exaggerated danger of radioactive dust being released in the event that the existing sarcophagus would collapse. However, it is clear that stabilizing the existing building requires fewer investments and less exposure of personnel. Finally, stabilizing the sarcophagus will enable a more reliable and longer lasting system to be established.

It is easy to predict the fate of the arch if indeed it is ever built. First of all, the construction costs will constantly increase because it will be found that multiple sources of radioactivity are buried underground. The stability of the foundation will be inadequate because it is the filled-up ground around the sarcophagus.

Once the construction work is completed, it will be necessary to start work immediately on dismantling and disposing of the existing sarcophagus because the life span of the arch will be very short otherwise it would make little sense to build the arch in the first place. In turn, this will require pumping in huge investments from Ukraine’s poor and devoid resources. It is highly unlikely that western taxpayers will be willing to spend their money on this project for a long enough time.

An independent research group must be formed in Chernobyl with the purpose of further studying the situation and finding a more ingenious and cheaper solution for the sarcophagus problem.

Many methods for solving the problem of decommissioning Chernobyl exist that do not involve huge expenditures and great uncertainty.

## References

Checherov, K. (1999): A different view on Chernobyl. In: Nuclear Engineering International 44 (534).

Belyaev, S.T. (1992): Diagnostic research on the site of ChNPP and inside the sarcophagus (1986-1991). Russian Kurchatov Institute.

Borovoy, A. A. (1996): Chernobyl sarcophagus: The results of work from 1986 until today. Laboratory of the Ecological Monitoring of the IBRAE Institute of the Russian Academy of Science.

GOSKOMATOM (State Committee on the Use of the Atomic Energy of the USSR) (1996): Chernobyl accident and its after effects. Part I: The generalized material. Information prepared for a meeting of IAEA experts (August, 25-29, 1986, Vienna).

Martinez-Val, J. M., Aragonés, J. M., Minguéz, E., Perlado, J. M. and G. Velarde (1990): An analysis of the physical causes of the Chernobyl accident. In: Nuclear Technology 90: 371-388.

US NRC (2004): Decommissioning nuclear power plants. Fact sheet. United States Nuclear Regulatory Commission, Office of Public Affairs, Washington DC.



## Rethinking the challenge of high-level nuclear waste in the United States

Robert Alvarez

Direktor des Nuclear Policy Project, Institute for Policy Studies, Washington, DC

### Summary and conclusions

The Department of Energy is in the midst of yet another contentious impasse over the disposal of commercial nuclear power spent fuel. Delays in deciding the scientific feasibility of permanent disposal at the Yucca Mountain site in Nevada continue. The current reality is very clear. The DOE will not be able to either physically accept custody of spent fuel by 2020. The pressures being felt by nuclear utilities from deregulation are further amplified by them having to pay additional costs for interim storage. Under these circumstances, the storage options for utilities are limited to building additional on-site capacity at the commercial reactors.

Obscured in this controversy are several major issues that need to be addressed before successful management and disposal of nuclear wastes can be achieved. The Nuclear Waste Policy Act was the product of a fragile and complicated consensus involving the nuclear industry, environmental, and non-proliferation groups, the nuclear weapons program, members of Congress, and the White House. This consensus that took shape in the late 1970's and early 1980's served as the foundation for the current framework for high-level nuclear waste disposal. How do these policy objectives that shaped the Act, hold-up in today's reality?

### Waste management and disposal objectives: then and now

#### *Need for early disposal*

- *Then* – Demonstration of spent fuel disposal was needed to resume U.S. orders for reactors.
- *Now* – No new reactors have been ordered since 1978.
- *Then* – Early disposal was supported by environmentalists so future generations would not be saddled with this legacy of protecting the human environment for hundreds of millennia.
- *Now* – Technical uncertainties associated with predicting long-term disposal risks combined with the large and growing inventory of nuclear weapons production materials, in the aftermath of the Cold War, requires that the safe storage of wastes must become a priority, while preserving disposal options for future generations to decide.

#### *Assure that spent fuel would not be reprocessed*

- *Then* – Spent fuel proliferation risks were considered to be high due to assumptions of significant worldwide nuclear power growth. Plutonium “breeder” reactors were soon to be deployed placing weapons-grade materials into commerce. Rapid disposal of unprocessed spent fuel would reduce this danger and convince other nations to follow the U.S. example.
- *Now* – There are more urgent proliferation risks with nuclear materials in the Former Soviet Union and North Korea and with foreign research reactor fuel. Worldwide nuclear power growth is much slower than assumed 15 years ago and prospects for plutonium “breeder reactors” are increasingly dim. The U.S. example to forego reprocessing is not persuasive to European and Japanese reprocessing programs that are continuing under growing financial difficulties. Despite the recent shift by the U.S. Government to reestablish a reprocessing capability, for waste management purposes, this effort is not achievable within the next 40-60 years.

#### *Spent fuel safety and security*

- *Then* – The nuclear Regulatory Commission's Waste Confidence proceedings resulted in a decision by reactor-owners to deploy the least cost option of dense compaction of spent fuel in existing pools. Without exception, spent reactor fuel pools are not protected by containment and were originally designed to hold approximately one fourth of their current inventories. NRC concluded that dense, compact storage in pools can be made safe with additional mitigation. Dry, onsite storage is also permitted by the NRC.
- *Now* – The terrorist attacks of September 11, 2001 underscore the vulnerability of spent fuel reactor fuel pools. Drainage of a pool from an act of malice could lead to a catastrophic radiological fire creating land contamination possibly greater than from the Chernobyl accident. The U.S. National Academy of Sciences (NAS) reported in 2005 that severe consequences from a terrorist attack against a commercial nuclear power spent fuel pool cannot be ruled

out. Noting that nations such as Germany, took action to address this problem 25 years ago, the NAS also reported that dry, hardened storage greatly reduced potential consequences. The NAS recommended that the Nuclear Regulatory Commission take prompt steps to protect vulnerable pools.

#### *Regional equity*

- *Then* – Since most of the nation’s nuclear power plants are in the east, there was an implicit understanding that there would be two repositories – one in the east and one in the west.
- *Now* – Only one repository is under consideration at the Yucca Mountain site in Nevada.

#### *Technical obstacles*

- *Then* – Technical obstacles for early disposal could be overcome within 20 years and the benefits of early disposal were assumed to outweigh the benefits of storage.
- *Now* – Major technical challenges remain – such as showing that a repository will perform as required by isolating wastes for 10,000 years or more. The scientific community urges that resolution of technical questions not be driven by unrealistic schedules. There is a scientific consensus that spent fuel can be safely stored above ground for 300 years.

#### *Waste disposal and nuclear arms production*

- *Then* – Disposal of weapons wastes was not a high priority and was not to interfere with the Cold War nuclear arms buildup.
- *Now* – The Cold War is over. Nuclear weapons sites are shutdown. Treatment and disposal of nuclear materials from the weapons program are now high priorities.

### **The emergence of major issues**

To a great extent, the changed circumstances affecting nuclear disposal policies mirror major changes in the world. The paradigm of nuclear growth that defined the past 50 years of civilian military nuclear energy has ended. In its place, a complex set of custodial responsibilities are emerging that affect U.S. energy, nuclear safety, environmental and national security policies for decades to come. A federal nuclear “receivership” function comes to mind. There are several emerging issues that reinforce this view.

#### *Utility deregulation*

The domestic electric utility industry is rapidly transitioning from a price-regulated environment to a price competitive environment. Reactor owners are in a growing financial bind as they face increasing capital costs associated with plant aging and spent fuel accumulation. Spent fuel storage policies are driven almost entirely by financial considerations, as more and more spent fuel gets compacted into pools not intended to hold this much material. The original policy objective of the NWPA to establish early spent fuel disposal to reinvigorate reactor orders is no longer relevant. Moreover, accelerated closure of nuclear power plants, and the large inventories of spent fuel in pools raises fundamental issues of the role of the federal government as the ultimate custodian of nuclear energy.

These responsibilities cover spent reactor fuel storage and disposal, disposal of “greater than Class C” waste, and quite possibly the decontamination and decommissioning (D&D) of power plants by default. D&D responsibilities are supposed to be covered by funds set aside by utilities. However, the costs of D&D may be seriously underestimated – possibly creating a national short-fall, suggested by one expert at \$23 billion. If this shortfall is not recovered from the electricity customers, bond or stockholders, it can become a default responsibility of the American taxpayer. The existing mechanisms to ensure the D&D of nuclear power plants may not be sufficient to ensure there are adequate funds for D&D when needed. This is particularly troublesome, as deregulation is leading to the purchase of nuclear plants from utilities by limited liability corporations, with little or no liquidity.

The issue of “greater than Class C” wastes also has important implications. These wastes are defined, under the Low-level Waste Policy Act of 1987, as having radioactive concentrations higher than allowed for disposal in commercial low-level waste landfills. Large amounts are expected to be generated during the reactor D&D process. The DOE is responsible for the ultimate disposal of these wastes, under this law. Because these wastes will be very expensive to dispose by diluting them

with low-level wastes, utilities may opt to have “greater than Class C” wastes remain in deactivated reactor vessels as a form of containment for disposal by the federal government. The DOE could then become financially responsible for a major aspect of D&D and reactor disposal.

At this time, in the absence of clearly defined financial responsibilities between the government and the industry, DOE should be hesitant to accept title for commercial spent fuel. Otherwise this could become the down payment on a potentially very large “balloon mortgage” for closed nuclear power plants.

#### *The end of the cold war*

There are several issues associated with the end of the nuclear arms race that are reshaping the dynamic of the nuclear material stewardship. The implementation of nuclear arms reductions initiatives are bringing about a large and rapid shrinkage of U.S. and Former Soviet Union weapons production capabilities. This, in turn, has created a much larger radioactive and nuclear material legacy than was ever planned for. The accumulation of excess nuclear explosives, in particular, has created the need for more permanent and stable programs to manage and dispose of these materials. Both nations lack adequate storage for excess nuclear materials never envisioned for indefinite management. These programs must be responsible not only for safety and health, but also international and bilateral verification and inspection. Most important, for the first time, U.S. national security interests are becoming directly linked to high-level nuclear waste storage and/or disposal.

In accordance with U.S. nuclear nonproliferation policy, excess weapons materials are to be rendered into a state where they meet a “spent fuel standard”, and disposed along with commercial spent reactor fuel. Related facilities are to be subject to transparent international safeguards and inspections. Excess weapons-usable material contained in foreign research reactor spent fuel, originally provided by the United States, is to be brought back for ultimate geological disposition.

#### *Lack of strategic disposition paths for high-level wastes*

The current framework has resulted in a set of costly and patchwork approaches. They include external regulatory requirements by the Nuclear Regulatory Commission, the Environmental Protection Agency and individual states and international treaty obligations with foreign governments. At least nine DOE offices, and several DOE field offices are responsible for various elements of nuclear materials stewardship. There are 256 types of spent fuel alone in the U.S. inventory, and only a few have been analyzed and approved for disposal in a repository. As a result, decisions involving individual policies, facilities, or materials are often made without full consideration of the “seismic effects” that these decisions trigger throughout the U.S. federal and civilian nuclear program, and the international arena.

#### *Nuclear waste disposal and U.S. national security objectives*

As the U.S. and Russia develop another agreement for even deeper cuts in the nuclear arsenals, the DOE lacks credible plans for disposal of the large amount of nuclear materials rendered excess. Most of these materials were not envisioned when the Nuclear Waste Policy Act was enacted. This includes materials of high importance to achieving U.S. nuclear arms reduction and nuclear nonproliferation objectives – such as spent fuel containing highly enriched uranium and plutonium disposition products. Moreover, there are several major safety vulnerabilities identified by the Energy Department, which underscore the need to stabilize and safely store nuclear weapons materials. It is likely that these materials may not be suitable for permanent disposal, without a significant and costly effort. The Yucca Mountain repository is not being designed for these materials that present unresolved safety and environmental and nuclear safety problems. Moreover, the planned capacity for Yucca Mountain is insufficient to handle projected inventory for civilian and defense wastes.

### **A path forward**

The structural issues discussed in this paper cannot be resolved overnight. They will require a patient and focused strategy based on some near-term objectives that can set the stage for structural issues to be taken on. They include:

#### *A national nuclear spent fuel storage strategy*

If geological disposal is to be seriously examined in an objective way, solutions for interim spent fuel storage should not be established by default, as is the case right now. There is a need for a national nuclear spent fuel storage strategy that deals with the current realities. Such a strategy should be based on the following elements:

- The acceptance of title by for commercial spent fuel is part of an overall agreement between the U.S. Government and utilities that clearly defines financial responsibilities for spent fuel storage and disposal, as well as reactor decontamination and decommissioning.

- Management for commercial and DOE spent fuel is consolidated.
- DOE and commercial spent fuel storage are in dry and hardened storage subject to NRC licensing.
- Spent fuel management is institutionally separate from geological disposal efforts.
- DOE initiates a Programmatic Environmental Impact Statement for spent commercial reactor spent fuel storage under National Environmental Policy Act.

*Establish a Department-wide effort to create and propose a strategic integrated plan for its high-level nuclear waste management and/or disposal*

This crosscutting effort should develop a strategic document that integrates the disposition paths for all spent fuel and high-level wastes for which the DOE is responsible. It should also recommend programmatic milestones that should be met by the DOE, as well as identify obstacles to achieving this goal. An effort of this kind has not been done before. The document should be completed in one year.

*Refocus the scientific community to address the issues of strategic integration of disposition paths for nuclear materials and an objective comparison of storage versus disposal*

The Department should request the National Academy of Sciences to:

- undertake a priority review of the management of spent fuel and all other materials subject to disposal as high-level wastes; and
- make recommendations as to how the DOE can achieve integrated strategic disposition paths, including interim storage for spent fuel and all other materials.

The United States should take stock of how nations like France are addressing high-level nuclear waste disposal. The French have chosen to not pursue a 10,000 year disposal strategy, at this time. Instead, they are focusing on ensuring safe and secure storage for 100 to 300 years. Of course the French strategy is not completely suitable for the United States, because of the world leadership role the U.S. is assuming for geological disposal. However, a focused effort on ensuring safe storage that is based on strong scientific support, could take the pressures off the DOE's disposal efforts for the time necessary to demonstrate the viability of a geological repository.

*Engage the stakeholders in a serious dialogue about storage solutions*

The Department of Energy should undertake a "National Dialogue" with stakeholders for the candid discussion of high-level nuclear waste storage and disposal. A dialogue with the public and affected stakeholders about nuclear waste disposal needs should cover a range of issues including the impacts of utility deregulation, the responsibilities of the government and the private sector, the U.S. Government's national security objectives, and the scientific questions.

*Reaffirm the U.S. Government's commitment to seeking disposal solutions while taking the pressure off Nevada as an interim storage site*

Interim storage should be completely decoupled from the process of determining the scientific viability of deep geological disposal at Yucca Mountain, if the site suitability determination is to have any scientific integrity.

## **Background**

To put the dilemma posed by the 1982 Nuclear Waste Policy Act (NWPA) in perspective, it is important to understand the full extent of the U.S. government's custodial responsibilities for what is only recently recognized as one of the world's largest inventories of nuclear materials. As the ultimate federal custodian, the Department of Energy (DOE) is responsible for a remarkable array of nuclear materials generated mostly over the past 50 years. Stewardship of these materials encompasses national and international security and nuclear nonproliferation objectives as well as extraordinary nuclear safety, environmental and health protection requirements. The amounts are expected to grow even larger in the near future. They include:

- about 84,000 metric tons of spent fuel projected for the operating lives of existing U.S. commercial nuclear power reactors under the NWPA;
- over 2 million cubic meters of radioactive wastes, generated by the federal nuclear complex, including high-level, low-level, mixed, transuranic and other types. Over 10,000 metric tons of defense high-level wastes in the form of glass logs and about 3,000 metric tons of DOE spent fuel are estimated for disposal under the NWPA;

- hundreds of radiation-contaminated structures, such as reactors, radio-chemical processing and storage facilities and laboratories;
- about 3.7 billion cubic meters of contaminated soil and groundwater at federal nuclear sites and other locations;
- over 700,000 tons of nuclear production materials accumulated to support the nation's civilian and military nuclear energy programs including hundreds of tons of weapons usable highly-enriched uranium and plutonium;
- well over 20,000 radioactive sources used for medicine, waste management, industrial and research purposes.

Given this context, this paper will explore past, present and near-term future issues – with a major focus on nuclear power plant spent fuel, and DOE spent fuel and high-level waste disposal.

### **The origins of the NWPA: policy objectives and consensus**

How did we get to this point? Some key answers can be found by revisiting events that shaped the nuclear policy debates of 1970's and early 1980's.

- In 1974, the Atomic Energy Commission (AEC) was abolished and replaced with the Energy Research and Development Administration (which later became the Department of Energy in 1977) and the Nuclear Regulatory Commission (NRC). This change established independent regulation and licensing of commercial nuclear waste storage and disposal. Most important, it helped change waste disposal from a low priority in the previous 30 years, to a more urgent high-priority.
- The detonation of a nuclear device by India in 1974 greatly increased U.S. Government concern over nuclear proliferation dangers, particularly the commercial use of plutonium as a reactor fuel and the fear this would spawn nuclear weapons states and sub-national nuclear terrorism. For over twenty years up to this time, commercial development of the plutonium fuel cycle was a primary objective of the federal nuclear program.
- The lack of public confidence in nuclear power was powerfully exemplified by the State of California which enacted a law in 1976 barring the construction of nuclear power plants until final disposal of spent reactor spent fuel could be demonstrated.
- Rekindling of the Cold War led to another major buildup of the U.S. nuclear arsenal in the 1980's. At the same time, public concerns over military nuclear wastes began to grow.

From these events, the policy objectives that formed the consensus for the 1982 Nuclear Waste Policy Act emerged.

- Environmental and arms control communities, members of the U.S. Congress, and the Carter Administration wanted to assure that U.S. spent fuel would not be reprocessed in order to discourage use of plutonium in commerce. Therefore, early disposal of spent fuel without reprocessing – known as the “once-through fuel cycle” – would avoid proliferation risks. This solution would allow the U.S. Government to extricate itself from the previous 20 years of promoting plutonium-fueled “breeder reactors” and the subsequent establishment of an international plutonium market.
- Utilities and reactor vendors wanted early demonstration of waste disposal to remove a major obstacle to expanded nuclear power use. The big increase in reactor orders that began in the late 1960's rapidly dried up by the late 1970's. Popular opposition to nuclear power was at its peak and confidence in nuclear power and waste disposal were directly linked by California law to successful demonstration of nuclear waste disposal.
- The 1970' gave rise to a philosophical position, articulated by the environmental community, that since society benefited from the activity that produced the wastes, we are obliged to deal with them now to protect future generations. Geological disposal could ensure protection of the human environment for millennia from radioactive wastes.
- The U.S. nuclear weapons program had to show a good faith gesture to solve its waste problems. However, because DOE's sprawling nuclear arms complex was in significant deterioration, it was believed by weapons planners that cleanup would delay production schedules and compete for production and testing funds.

### The 1982 Nuclear Waste Policy Act (NWPA)

The 1982 “Nuclear Waste Policy Act” provided the first comprehensive approach to high-level nuclear waste disposal. The Act was based on a Final Environmental Impact Statement prepared in 1980, which found that deep geological disposal was the safest solution. It established a process to select a permanent geological disposal site; and authorized the siting of an interim “Monitored Retrievable Storage” (MRS) facility for spent commercial reactor fuel. In general terms, the Act:

- established processes and schedules for siting of two geologic repositories – with an implicit understanding that if the first repository was sited in the west, then the second repository should be in the east. To reinforce this understanding, the first repository was only authorized to store up to 70,000 metric tons of wastes – about half of the total amount of wastes expected to be generated at that time. *The DOE was given a deadline of January 31, 1998 to begin accepting wastes for disposal;*
- created a “Nuclear Waste Fund” to pay for disposal. Under the fund, DOE entered into contracts with nuclear utilities who made payments at the rate of 1.0 mill-per-kilowatt-hour out of the consumer rate base. A onetime payment to the Fund was also required to be made by nuclear utilities based on electric generation prior to the law’s enactment<sup>1</sup>;
- authorized the disposal of DOE’s defense high-level wastes in the same repository for commercial spent fuel. DOE would pay its share of the costs out of annual budgets;
- did not commit the DOE to specific processes and schedules as was the case for commercial spent fuel;
- directed DOE to study the need and feasibility of a monitored retrievable storage facility (MRS) for centralized temporary storage of commercial reactor spent fuel at three alternative sites deploying two different designs. The MRS was implicitly intended by Congress as a backup or alternative to a repository;
- directed the NRC and the Environmental Protection Agency (EPA) to promulgate environmental and safety standards for disposal.

The law effectively “grand-fathered” nine candidate sites including salt deposits in the west, midwest and south and Department-operated nuclear reservations which were identified by the DOE beginning in 1976. Soon after passage of the Act, the selection process for the “first round” repository site by DOE in six western and southeastern states ignited a firestorm of controversies. Three “first round” sites were then approved in 1986 by President Reagan at Deaf Smith County, Texas, Hanford, Washington and Yucca Mountain in Nevada. A process to select “second-round” sites in the Northeast, Southeast and Midwestern regions, which were narrowed to seven locations, was indefinitely postponed by DOE Secretary Herrington in 1986. The MRS site selection process was equally controversial. Instead of selecting an MRS site as an alternative to a repository, DOE integrated the central temporary storage facility into an overall repository operation. Three prospective MRS sites in Tennessee were then chosen over the strenuous objections of the state.

Details and tangible steps concerning storage of defense high-level wastes under the Act, in terms of quantities, schedules, and other issues have yet to be even spelled out. As previously mentioned, an amount well over 10,000 metric tons of vitrified glass logs containing defense high-level wastes and 3,000 metric tons of DOE spent fuel are estimated for disposal.

### The 1987 amendments to the NWPA

By 1987, faced with upcoming Congressional and Presidential elections and major controversy throughout the country over potential disposal sites, the fragile consensus that served as the basis for the 1982 Act, unraveled. Adding to the political costs were burgeoning financial costs associated with a multi-site selection process. In December of that year, the Congress adopted sweeping changes in the Act, over the strong objections of the Nevada delegation and its allies:

- The DOE was directed to study only the Yucca Mountain site for suitability as a repository. All other “first” and “second-round” site development efforts were terminated. The 70,000 ton limit on storage in the repository remained – leaving the question of a second repository for a future time.
- Monitored Retrievable Storage (MRS) for commercial spent reactor fuel could only be sited and licensed in parallel with the licensing of the repository by the NRC. The amount of waste stored in an MRS was also limited so that it could not become a de facto repository.

<sup>1</sup> Since 1983, the Nuclear Waste Fund has collected over \$10.6 billion (as of the end of FY 1996). Additional, „onetime“ fees for nuclear-generated electricity prior to 1983 total over \$2 billion, which have yet to be fully paid. DOE spends about \$600 million from the Fund annually.

- A “Nuclear Waste Negotiator” position was created and charged to seek willing states and or Indian tribes willing to host a repository or an MRS facility.
- A “Nuclear Waste Technical Review Board” was created to provide scientific oversight of the DOE high-level waste program.

The amendments to the NWPA stressed, that at anytime Yucca Mountain was found unsuitable, studies would be stopped. The DOE then had to report to Congress within six months on a recommended course of action.

### **The regulatory framework**

The NRC issued revised licensing regulations for repositories in 1986, which established 10,000-year containment criteria. The NRC implementing regulations were based on EPA repository standards first issued in 1985. The EPA standards were subsequently struck down in the U.S. Court of Appeals (First Circuit), in part because of concern over adequacy of ground-water protection in conformance with the Safe Drinking Water Act. In response to the court decision, as part of the 1992 Energy Policy Act, the Congress established a three step process: (1) The National Academy of Sciences was directed to provide recommendations to the EPA as to the content of the new regulation; (2) EPA was to re-promulgate its regulation (40CFR191) consistent with the NAS recommendations; and (3) The NRC was to modify its existing regulations to conform to the new EPA standard. This process will take several more years before actual environmental and safety standards are promulgated.

### **The DOE's Office of Civilian Radioactive Waste**

The 1987 amendments to the NWPA required DOE's Office of Civilian Radioactive Waste (RW) to completely restructure its program. Site selection activities at other sites were quickly terminated and a focused program of research, testing, analysis and assessments necessary to achieve an NRC repository license at the Yucca Mountain site was set up. From this effort came a 6,000 page “Site Characterization Plan”.

In order for the program to begin fresh characterization activities at Yucca Mountain, new environmental permits were required – many that could only be granted by the state of Nevada.

The process of obtaining permit from Nevada turned into a protracted three-year battle where DOE and the state exchanged lawsuits. The net effect of this impasse was the inability of the DOE to perform tangible work to determine the scientific suitability of a repository at Yucca Mountain. Credibility in the RW program approach eroded commensurate with slipped schedules and the dramatic increases in cost estimates. Reports from the National Academy of Sciences, the Presidential appointed Nuclear Waste Technical Review Board, and others underscored an angry pronouncement by the then most influential member of Congress on this issue, Senator Bennet J. Johnston, who in March 1992 stated that “the program is broke”.

In the summer of 1992, after the courts ruled in favor of the DOE and after Congressional threats to curtail Nevada's legal authorities, DOE began new site investigations. Excavation was completed on a ramp, 25 feet in diameter and 1,000 feet deep below the top of Yucca Mountain to provide necessary scientific and engineering data to determine the suitability of the site. Next construction of a five-mile tunnel into the Mountain began, which is now completed. The tunnel will serve as an in situ test bed. Also, over 80 percent of the surface-based testing needed for licensing of the repository is complete.

A repository “Validation Assessment” report is to be completed next year. It will include a performance assessment and contain a cost estimate and a plan for completing the license application.

Major technical challenges remain – such as demonstrating that a repository will perform as required by isolating wastes for 10,000 years or more. The NAS “Board on Radioactive Waste Management” and the “Technical Review Board” emphasize that the Yucca Mountain program is a first-of-a-kind endeavor and urge that the DOE not be driven by unrealistic schedules. At this time, the NRC and the “Technical Review Board” agree that there is no reason to disqualify the Yucca Mountain site based on what has been learned to date.

Under current circumstance, the DOE finds that the earliest possible date for the opening of a repository to accept and emplace wastes is in the year 2010, versus the 1998 statutory date written into contracts between DOE and utilities. Recognizing this problem, DOE has pursued several avenues without success to provide a government capability to begin accepting waste by the 1998 deadline. The Office of Nuclear Waste Negotiator has been unsuccessful in securing agreements with states and Indian tribes to participate in a voluntary siting process.

The DOE has investigated the possibility of using siting a storage facility on an existing Federal site with all of the predictable difficulties that this entails. Also, DOE is exploring the possibility of providing “multipurpose” canisters, which would be used to store excess spent fuel at reactor sites and then serve as transportation and storage canisters at an MRS or a repository. Both options involve several outstanding technical and institutional issues that remain to be analyzed before any decisions are reached.

## **Nuclear power plants**

### **The concerns of utilities and public utility commissions**

To date utilities have paid, on behalf of rate payers over \$15 billion dollars into the Nuclear Waste Fund. They have successfully argued in Federal Court that the initial spent fuel acceptance date of January 1998 in the Nuclear Waste Policy Act must be honored. The Federal District Appeal Court of the District of Columbia ruled in October of 1996, which DOE must honor the 1998 deadline. DOE did not appeal the decision, and replied to the plaintiffs that the agency will be unable to receive spent fuel by January 1998, and disposal of spent fuel would not begin until at least 2020. Even then, the Energy department contends that large amounts of decay heat from spent fuel will require extraordinary spacing requirements, preventing the emplacement of 70,000 MTU.

In January of 1997, another lawsuit was filed, by the utilities and state Public Utility Commissions, this time seeking to suspend their obligation to pay on the grounds that DOE has defaulted on its statutory obligations. They are also requesting to place their contributions to the Nuclear Waste Fund in escrow, until such time that DOE begins to dispose of spent fuel. They further request that the Court issue an order directing the DOE to develop a program “with appropriate milestones, which will enable it to begin disposing [ Spent Nuclear Fuel] by January 31, 1998”.

Many utilities expect to run out of spent fuel storage space and will have to build additional extensive dry cask storage. In the near term, for a growing number of nuclear utilities, the incremental costs of additional spent fuel storage are negatively impacting profit margins. The 35 nuclear utilities, who are suing the DOE, estimate that under DOE’s current schedule of commencing disposal in the year 2010, the costs borne for interim storage will be in excess of \$8 billion. By this time, DOE estimates that additional nuclear fuel storage will be needed for 11,000 metric tons at about 55 sites.

### **Decontamination and decommissioning**

There are growing concerns about the full costs of nuclear power plant D&D. Experts report that D&D costs are being seriously underestimated, in some cases by as much as three to five times. D&D costs for the Fort St. Vrain reactor owned by Public Service Company of Colorado were estimated to cost less than \$100 million. The actual costs were more than \$300 million. The D&D costs for the Rancho Seco reactor owned by Sacramento Municipal Utility grew to \$300 million – five times higher than estimated.

The total costs for D&D of the nation’s nuclear power plants, are around \$62 billion. With only a total of \$39 billion in the industry’s D&D fund this could lead to a shortfall of \$23 billion. “What will utilities do if their present nuclear waste trust fund is not enough? Who is responsible?”, asked one expert. Whether or not utilities will be able to continue to recover D&D costs from the rate base, is being decided at this time, on a case by case basis. Also, there are no consistent mechanisms to ensure that funds set aside for D&D will be available, since requirements for “prudence” and “recoverability” of funds set aside are not consistent and subject to individual interpretations by state utility commissions. Accelerated shutdown of reactors that do not have sufficient funding not only delays D&D by several years, it also leaves the federal government vulnerable as the ultimate funder.

Then, there is the issue of “greater than Class C” wastes. These wastes are defined under the Low-Level Nuclear Waste Policy Act of 1987, as having radioactive concentrations greater than allowed for disposal in commercial landfills. Over 95 percent of the total radioactivity (90 million curies), and 70 percent of the total volume (2,054 cubic meters) from “greater than Class C” wastes is to come mostly from the deactivation and D&D of commercial nuclear power plant reactor vessels over the next 30 years. They are comprised of long-lived activation products and require extraordinary remote handling and processing. Currently, small amounts of this waste are generated by reactors and are diluted by mixing them with low-level wastes.

Because of the growing costs of low-level waste disposal and possible shortfalls in D&D funds, NRC staff indicate that utilities are opting to keep “greater and Class C” wastes in the reactor vessels, as de facto disposal container. Since the DOE is responsible under the 1987 Act for the disposal of these wastes, de facto containment of “greater than Class C” wastes in reactor vessels, could become a disposal method by default. In this case, the DOE may then find itself, responsible for disposal of reactor vessels and thus, a major element of D&D costs.

### **The Nuclear Waste Fund**

In 1987, with the enactment of the Gramm/Hollings/Rudman Budget Act, and the 1990 Budget Adjustment Act, the Nuclear Waste Fund ceased to be a stand-alone revolving fund that operated on a "user-fee" principal. Fees generated from the fund were placed in the General Fund Account of the U.S. Treasury with provisions that allowed for the accrual of interest to paid out, as if it were still a separate revolving account. However, if the funds were to be collected at once, there are serious concerns about the impacts this would have on federal programs that would be cut because of a draw down in the General Fund.

In its place the Department's Office of Civilian Radioactive Wastes (RW) receives annual funding from a combination of money from the Nuclear Waste Fund and from appropriations provided for through the federal government's defense spending (050) account. About two thirds of RW's annual budget is paid for from the 050 Account and the remainder from fees collected by utilities.

The rationale for this allocation is based on the argument that the DOE has been slow in providing for its contribution for disposal of defense wastes, and that RW is using funds to address disposal requirements for DOE defense wastes. Some members of Congress contend that this is a consumer tax on nuclear power, since only one third of the funds collected from utility fees actually go to the RW program.

### **The legacy of the cold war**

By the fall of 1989, when the Berlin wall toppled, the Department of Energy nuclear weapons complex had become the largest government-owned industrial enterprise in the nation. At the same time, many facilities were experiencing serious problems of age and deterioration. National attention was also focusing on the burgeoning radioactive material legacy of the nuclear arms race. Most important, for the first time, U.S. national security interests began to be directly linked to high-level nuclear waste disposal.

There are several issues associated with the end of the nuclear arms race that are reshaping the dynamic of the nuclear material stewardship. For instance, the implementation of nuclear arms reductions initiatives are bringing about a large and rapid shrinkage of U.S. and Former Soviet Union weapons production capabilities. This, in turn, has created a much larger radioactive and nuclear material legacy than was ever planned for. The accumulation of excess nuclear explosives, in particular, have created the need for more permanent and stable programs to manage and dispose of these materials. These programs must be responsible not only for safety and health, but also international and bilateral verification and inspection.

The implementation of a comprehensive test ban, has strong potential for establishing a common approach between nations to address the radioactive legacies and future uses of these sites.

One of the more important aspects of a fissile material cutoff is the question of reprocessing or the solvent extraction of plutonium and uranium from reactor spent fuel.

In accordance with U.S. nuclear nonproliferation policy, excess weapons materials are to be rendered into a state where they meet a "spent fuel standard", and disposed along with commercial spent reactor fuel. The "spent fuel standard" was recommended by a special panel of the NAS in January 1994. It means that separated plutonium should be either irradiated in a reactor or commingled with other radioactive wastes making the plutonium very difficult extract and use in weapons. These plutonium "disposition products" would have the same radioactive characteristics of commercial spent fuel.

Related facilities are to be subject to transparent international safeguards and inspections. Excess weapons-usable material contained in foreign research reactor spent fuel, originally provided by the United States, is to be brought back for ultimate geological disposition. In the wake of the recent Summit Meeting between President Clinton and Russian President Yeltsin, the possibilities are growing that there will be another deep cut in nuclear arms that may include fissile material controls.

### **Lack of strategic integrated disposition paths**

A less visible, but very important legacy of the Cold War is its impact on technical and management issues. Secrecy, isolation and the production imperative have all left their mark in distinct ways. As a result, few materials have actual integrated disposition paths at this time. Strategic level disposition planning faces cumbersome administrative rules, overwhelming material quantities, institutional barriers to the siting of treatment, storage and disposal facilities, and outdated inventory management principals. Large volumes of wastes are not characterized and a significant portion of DOE's radioactive materials is not subject to external regulation.

The current framework for management and disposal of high-level nuclear wastes reflects the scattered and compartmentalized nature of the situation. For instance, the regulation of high-level wastes involves the Nuclear Regulatory Commission, the Environmental Protection Agency, DOE, and states with delegated authority under the Resource Conservation and Recovery Act (RCRA). In terms of radiation protection and nuclear safety all of DOE's high-level wastes and DOE-owned reactor spent fuel is subject to self-regulation on a site-by-site basis – with DOE contractors responsible for day-to-day compliance.

Within the Department there are at least nine DOE offices and several DOE field offices with policy and program responsibilities for high-level wastes and spent fuel.<sup>2</sup>

To meet its commitments with foreign governments, DOE will accept about 23,000 spent fuel elements from foreign research reactors. Also, because of international treaty obligations such as the Nuclear Non-Proliferation Treaty and Presidential Policy requirements, DOE's nuclear materials and related facilities are to be opened up to international inspections and safeguards. These wastes from the nuclear weapons program, not envisioned for disposal when the 1982 Act was passed. There are 256 types of spent fuel alone in the U.S. inventory, and only a few have been analyzed.

Excess plutonium and highly-enriched uranium no longer needed for defense purposes are to put on a path of “irreversibility” to ensure that these materials will never be used in weapons. According to a Presidential requirement issued last year, 200 tons of excess plutonium and highly enriched uranium are to undergo international “transparency”.

This complicated web underscores a lack of credible plans for disposal of large amounts of nuclear materials not approved for disposal in a repository. They include materials that are now of high importance to U.S. nonproliferation and nuclear arms reduction objectives – such as spent fuel from naval and foreign research reactors (that contain large amounts of highly-enriched uranium) and plutonium disposition products. The disposal of these materials is not yet addressed in terms of geological disposal. The Yucca Mountain repository is not being designed for these materials, which present unresolved safety and environmental problems in terms of criticality and long-term toxicity.

### Coming to terms with storage

The current reality is very clear. The DOE will not be able to either physically accept custody of spent fuel by January 1998 and will not begin to emplace spent fuel in a repository until the year 2020, at the earliest, if at all. Given the profound uncertainties associated with predicting what will happen in a repository for more than 10,000 years, this assumption is tenuous at best. Under these circumstances, the storage options for utilities are limited to building additional on-site capacity at the commercial reactors, mostly in pools not designed to hold their current inventories. The pressures being felt by nuclear utilities from deregulation are further amplified by having to pay additional costs for interim storage. While the deadline in the Nuclear Waste Policy Act provides a rationale to utilities to get out from this obligation, it does not provide a real solution for the growing problem of spent fuel storage.

In terms of DOE spent fuel, efforts to stabilize and treat deteriorated rods and replace leaking storage facilities are still at an early stage. Although commercial spent fuel quantities are substantially larger, DOE's spent fuel poses more significant stabilization and storage challenges. This is because commercial spent fuel is highly durable because of its zirconium cladding and ceramic fuel composition. Spent fuel storage facilities at commercial reactors are designed to meet current safety standards and subject to NRC regulation. Over 80 percent of DOE spent fuel, on the other hand is at the Hanford site. It is clad in degradable aluminum, with a highly corrodible metal fuel composition. Most of DOE's spent fuel storage facilities are decades-old, were poorly maintained, and designed only for short-term storage.

The retirement of nuclear powered naval vessels (which may accelerate if a new nuclear arms cut is agreed to with Russia) and acceptance of foreign research reactor spent fuel will add to DOE's responsibilities.

The technical basis for storage needs greater focused attention by the scientific community. The a priori scientific assumption that drives nuclear waste policies, is that the benefits of disposal outweighed the benefits of storage. Some experts like Dr. Chris Whipple, a member of the National Academy of Sciences Board of Radioactive Waste Management, stress that the benefits of a repository versus disposal are implied without the necessary analysis to support this view.

The United States should take stock of how nations like France are addressing high-level nuclear waste disposal. The French have chosen to not pursue a 10,000 year disposal strategy, at this time. Instead, they are focusing on ensuring safe and se-

2 The Office of Defense Programs, the Office of Environmental Management, the Office of Nuclear Energy, the Office of National Security and Non-Proliferation, the Office of Environment, Safety and Health, the Office of Energy Research, the Office of Civilian Radioactive Waste Management, the Office of Naval Reactors, the Office of Fissile Material Disposition.

cure storage for 100 to 300 years. Of course the French strategy is not completely suitable for the United States, because of the world leadership role the U.S. is assuming for geological disposal. However, a focused effort on ensuring safe storage that is based on strong scientific support, could take the pressures off the DOE's disposal efforts for the time necessary to demonstrate the viability of a geological repository.

The time period of comparison (100 years for storage versus 10,000 years for disposal) is problematic. The comparison of benefits and technologies are dissimilar in terms of disposal versus storage. In order to establish a meaningful strategy for spent fuel storage, the scientific community should be called upon to provide a serious and objective comparison of the near-term and long-term benefits of storage versus disposal. While there remain significant technical questions to be answered about geologic disposal, one thing is certain: there is a scientific consensus that spent fuel can be safely stored for 100 years, at least.

### **A national nuclear spent fuel storage strategy**

If geological disposal is to be objectively examined, solutions for interim spent fuel storage should not be established by default, as is now the case. There is a need for a national nuclear spent fuel storage strategy that is part of a comprehensive "receivership" function for the growing number of nuclear power plants expected to be closed over the coming decades.

The financial responsibilities for the life-cycle management and disposal responsibilities for closed nuclear power plants are not well defined. At this time, if the DOE were to accept title for commercial spent fuel, this could become the down payment on a potential "balloon mortgage" for decontamination, decommissioning, waste and major reactor component disposal. There needs to be mechanisms under federal law that ensure that utilities can meet "prudence" and "recoverability" requirements for D&D funds. A possible venue could be the Securities Exchange Commission which would be given the authority to enforce these requirements.

Given these issues, a national spent fuel storage strategy should be based on the following elements:

- the acceptance of title by for commercial spent fuel is part of an overall agreement between the U.S. Government and utilities that clearly defines financial responsibilities for spent fuel storage and disposal, as well as reactor decontamination and decommissioning;
- management responsibilities for commercial and DOE spent fuel are consolidated;
- DOE and commercial spent fuel storage should consist primarily of dry durable storage facilities subject to NRC licensing;
- spent fuel management is institutionally separate from geological disposal efforts;
- DOE initiates a site suitability process for a mix of site-specific and consolidated dry cask spent fuel storage facilities under National Environmental Policy Act.

There are other elements of a national strategy that are beyond the scope of this paper that require a careful and thorough review. Funding mechanisms are among the most important. In particular, the implications of utility deregulation on the Nuclear Waste Fund are not fully understood. For instance, the accelerated closure of reactors will mean that fee contributions to the Fund drawn from the utility rate base will be reduced. Use of the Fund to pay for interim storage has to take into account the individual competitive advantages and disadvantages of nuclear utilities in the marketplace.

Also, there may not be a single solution for storage, as is proposed by the legislation. Spent fuel generated from commercial reactors will vary based on the number of units owned by a utility, and reactor age. In some cases, onsite dry storage may make sense, in terms of safety and costs; and in other cases, it may not.



## Nuclear waste: Last stop Siberia?

Prof. Dr. Lydia Popova

Direktorin des Center for Nuclear Ecology & Energy Policy der Socio-Ecological Union, Moskau

The safe and environmentally sound management of nuclear waste and spent fuel is an unresolved problem surrounding nuclear power. However, unlike other nuclear nations, Russia is encountering many more problems with nuclear waste. Russia inherited these problems from the military programs and decades of nuclear fuel cycle development. Nuclear waste continues to mount up, while the government is not paying serious enough attention to the solving the waste problem and is, in fact, considering increasing the capacity of its nuclear power plants (NPPs). There are more than 1,000 nuclear waste storage depots in Russia (Beigul 2005). By the year 2005, over 70 million tons of solid waste had accumulated, including 14 million tons of tails from the decommissioned uranium mine in the North Caucasus.<sup>1</sup> President Putin said that “the waste processing infrastructure is far from sufficient”. In addition to solid waste, almost half a billion cubic meters of liquid waste with a total activity of 1.2 billion Ci have accumulated, mainly due to the reprocessing activities in Russia. Of these, about 54 million cubic meters have been injected underground, while 420 million cubic meters have been stored in surface reservoirs and ponds.<sup>2</sup>

The major sources of nuclear waste are:

- plutonium production facilities in the South Urals and in Siberia;
- the nuclear submarine fleet;
- nuclear fuel cycle facilities;
- medical and industrial operations using ionizing radiation sources.

### Plutonium production facilities in the South Urals and in Siberia

#### Industrial Association Mayak

Built in the late 1940s in the South Urals, 70 km to the north of the regional city of Chelyabinsk, this was the first plutonium production facility to emerge in the former Soviet Union. It had 5 uranium-graphite production reactors – all of which have since been shut down – a reprocessing plant to separate plutonium for nuclear warheads, and a number of other plants. A reprocessing plant known as the RT-1, which was built to recover plutonium and <sup>235</sup>U from the spent fuel of WWER-440, BN-350, BN-600, submarine and research reactors, commenced operations in 1977.

In order to accelerate the production of weapons plutonium and to compete with the United States in the arms race, the Soviet government made a decision to dump liquid radioactive waste into the local river, before the high-level waste management system was built. Between 1949-1956, liquid radioactive waste (including high-level waste) from the production reactor’s cooling system, reprocessing and chemical-metallurgical plants was disposed of directly into the river Techa. The amount of discharged radioactive waste – containing cesium, strontium and plutonium – totaled 76 million m<sup>3</sup> with a total activity of 2.8 Million Ci (in  $\beta$ -activity). The river Techa was contaminated along its course (240 km), while the river Iset, for which Techa is a tributary, was also partly contaminated. 124 thousand people, mostly residents of the villages located on the banks of the river Techa, were exposed to radiation. Many of them developed acute and chronic radiation disease. By the year 1960, more than 7,500 people had been relocated from the villages, where the effective dose for the population comprised between 560 mZv and 1,400 mZv (56-140 rem).<sup>3</sup>

To prevent radioactivity from migrating into the Iset-Tobol-Ob’ river system, and then into the Kara sea in the Arctic, a cascade of reservoirs was built on the Techa river.

After 1951, the discharge of high and medium level waste into the Techa river was stopped, and the waste was then discharged into the small swamp lake Karachay (about 0.45 km<sup>2</sup>). This practice of discharging high-level waste continued until the end of 1953. Eventually, Karachay was transformed into a storage facility for liquid radioactive waste and accumulated about 120 million Ci of cesium and strontium. During a period of extreme drought in May 1967, strong gusty winds (small tornadoes) distributed radioactive dust from the stripped lake-side over an area of about 1,800 km<sup>2</sup>. In total, an area spanning some 2,700 km<sup>2</sup> was contaminated. In 63 villages and towns, 41,500 people were affected by radiation. Yet, in

1 Rosatom data.

2 Ibid.

3 Materials of the Commission (1991) (Decree of the President of the USSR N RP-1283 on January 1991). Vol. II. Ecological Characteristics of the Chelyabinsk Region (in Russian).

1962, measures were taken to reduce the surface of the lake by adding an embankment around the lake. The work on reducing the size of lake Karachay still continues today, and, after 1984, it consisted of filling the lake with hollow concrete blocks, followed by a layer of rocks and soil (Bradley 1997). Mayak continues to discharge its waste from the reprocessing plant RT-1 into lake Karachay.

The high-level waste tank storage facility was opened in 1953, and this type of waste was accumulated in stainless steel tanks. In September 1957, a tank containing high-level waste from the reprocessing plant exploded due to the failure of the cooling system and the explosive salts on the bottom of the tank self-heating. This explosion is known as the Kyshtym accident. 20 million Curie spewed out into the atmosphere. 90 percent of the radioactivity fell on the "Mayak" site. The rest of radioactivity (2 Million Ci) was dispersed across the Chelyabinsk, Sverdlovsk and Tumen regions and formed the so-called East-Urals Radioactive Trace (or VURS for short). An area of 23,000 km<sup>2</sup> was contaminated by <sup>90</sup>Sr at a level of 0.1 Ci/km<sup>2</sup>. This territory was home to 217 villages and towns and a total population of almost 300,000 people. During a 2-year period, 10,200 people were relocated. After the explosion, a decision was made to immediately empty the other tanks into lake Karachay. This operation accounted for a significant fraction of the total radioactivity discharged into the lake (Ibid.).

In addition to the liquid waste, half a million tons of solid radioactive waste have accumulated and been stored in 231 storage facilities. Its activity is estimated to be more than 200 million Ci. Of this, 25,000 tons are high-level waste which is stored in large concrete storage facilities. Mayak managers claim that these facilities are strong enough to prevent radioactivity from migrating into the environment (Bellona Report 4-2004).

A major source of the nuclear waste in Mayak is the reprocessing plant RT-1. As reported by the Russian State Committee for Nuclear and Radiation Control (GAN – now a Department of the State Committee for Ecological, Technical and Atomic Oversight (Gostekhnadzor)), the reprocessing of 1 ton of the spent fuel from the WWER-440 reactors results in the production of 45 m<sup>3</sup> of high-level waste, 150 m<sup>3</sup> of intermediate level waste, and 2,000 m<sup>3</sup> of low-level waste. High-level waste is vitrified in a special furnace. The first vitrification furnace was commissioned in 1987, only to be shut down after 13 months. The second furnace vitrified high-level waste over 2 periods of time – from 1991 through 1997. These days, both furnaces are solid high-level waste themselves. The third furnace was to be put into operation in 2000, but its start was delayed due to some technical complications. Currently, this furnace vitrifies 350 l/hour, while the design capacity is 500 l/hour. The intermediate level waste is partly discharged into lake Karachay, and partly vitrified along with the high-level waste. Low-level waste is discharged into another natural lake, the Kyzyltyash, and into the reservoirs in the Techa river cascade (Ibid.).

Although the design capacity of the RT-1 plant is 400 tons per year, the regional Legislative Assembly only permitted it to operate at a capacity of no more than 230 tons per year due to the disastrous environmental situation in the South Urals and the continuing practice of discharging liquid waste into the environment. The dynamic development of spent fuel reprocessing at Mayak between 2001-2004 is shown in Table 1.

Table 1: Reprocessing of spent fuel at Mayak between 2001-2004 (in tons)

	2001	2002	2003	2004
	130	171.2	121	165.8

Source: Rosatom (Agency for Atomic Energy)

### Siberian Chemical Combine

Siberian Chemical Combine went into operation in 1953. It is located about 15 km from the regional city of Tomsk which is home to half a million people. It is currently Russia's largest nuclear complex for plutonium production and uranium enrichment. Out of a total of 5 production reactors, only two are still in operation. They produce weapons plutonium while, at the same time, supplying heat to the city of Tomsk. Nuclear waste from the once-through reactors has been discharged into the river Tom' and its tributary, the Romashka, for decades. Solid radioactive waste is buried onsite, and liquid waste is discharged into the surface ponds and reservoirs and injected underground to depths of approximately 350–400 m. The total amount of injected waste has exceeded 40 million m<sup>3</sup>, with the radioactivity more than 1.1 billion Ci. There are 50 storage facilities for liquid and solid radioactive waste on the territory owned by the combine. A total of 8 million m<sup>3</sup> of liquid waste, reportedly containing 130 million Ci of radioactivity, was transferred into the open reservoirs for storage (Bradley 1997).

4 The underground injection of liquid radioactive waste has been also practiced by the Research Institute of Atomic Reactors in Dimitrovgrad.

### Krasnoyarsk Mining Chemical Combine

This is the third large facility for the production of weapons plutonium which went into operation in 1958. It is located on the eastern side of the Enisey river, approximately 50 km from the city of Krasnoyarsk. Of the 3 production reactors which went into operation in 1958, 1961 and 1964 respectively, 2 were shut down in the early 1990s, and one – a dual purpose reactor – is still in operation. It produces heat for Zheleznogorsk (formerly Krasnotarsk-26), a city that is home to the combine's labor force. In order to separate weapons plutonium for nuclear warheads, a reprocessing plant has been built. In much the same way as Siberian Chemical Combine, the radioactive coolant from once-through production reactors has been discharged directly into the river Enisey. The river floodlands have been contaminated by the man-made radionuclides, including  $^{239}\text{Pu}$ , for the entire course of the river as far as its mouth in the Kara Sea. This facility has also injected liquid radioactive waste from the reprocessing plant into the underground layers of sand to depths of 350-450m.<sup>4</sup> The total amount of injected waste comprises 4 million m<sup>3</sup>, with the activity 700 million Ci. Solid waste is stored onsite in dedicated storage facilities. There are 4 open reservoirs containing liquid radioactive waste with long-life isotopes, such as  $^{239}\text{Pu}$ . The total amount of radioactivity in these reservoirs amounts to 19,000 Ci. There is also a system of 18 stainless steel tanks for high-level waste located underground, and 8 smaller tanks located on the surface. Of these, 4 made of carbon steel have been decommissioned, while 4 made of stainless steel are still in use. Two underground tanks were pumped clean following the discovery of leaks in 1964 and the tanks have not been used since then (Ibid.).

The late 1970s saw the beginning of the construction of the commercial reprocessing plant RT-2 on the combine site with the aim of reprocessing the spent fuel from WWER-1000 reactors. The construction work was halted in the 1980s during perestroika due to public opposition and the lack of funds, and, since then, only a wet storage facility for spent fuel with the capacity 6,000 tons has been built. A tunnel under the river Enisey for transporting liquid radioactive waste from the reprocessing plant to the new injection site has also been built. The Russian Energy Strategy still stipulates that the RT-2 would be constructed "if possible". The design capacity of the plant is 1,500 tons of spent fuel per annum and capital investments in the construction work have been estimated at a preliminary value of \$3 billion.

### Management of spent fuel from commercial nuclear reactors

Each year, about 600 tons of spent fuel are produced by 30 reactors in 10 Russian nuclear power plants. Less than 200 tons is reprocessed at the Mayak reprocessing plant RT-1. The dynamic development of the amount of spent fuel generated and accumulated by the Rosatom reactors in the last 4 years is shown in Table 2. The total amount of accumulated spent fuel is now more than 16 thousand tons, with the activity more than 10 billion Ci. Furthermore, 14 tons of the spent fuel is located on sites other than the Rosatom reactors.

Table 2: Production and accumulation of the spent fuel from Rosatom reactors in 2001-2004

Spent fuel (tons)	2001	2002	2003	2004
Generated annually	537.0	601.0	654.0	616.0
Reprocessed annually	130.0	171.2	121.0	165.8
Accumulated by the end of the year	13,480.0	14,196.0	14,768.0	15,537.0

Source: Rosatom (Agency for Atomic Energy)

Spent fuel is accumulated in the densely populated European part of Russia, where the majority of the NPPs have been built. The spent fuel of the RBMK reactors is stored onsite in cooling pools, as reprocessing this kind of spent fuel is not considered economically viable. Minatom (now Rosatom) made a decision to reduce the space between the assemblies with the spent fuel in cooling pools of RBMK reactors, but this might be considered only a temporary solution for the spent fuel problem for these types of reactors. In Leningradskaya NPP near St. Petersburg a dry storage facility for the spent fuel is under construction. As the fuel assemblies are too long (7 m), they must be cut in-situ to be able to fit into the containers for spent fuel. The project was not subject to Environmental Impact Assessment despite the legal requirements. Approximately 120 tons of the spent fuel from the WWER-440 reactors are shipped to Mayak annually, while about 150 tons of the spent fuel from the WWER-1000 reactors are shipped annually to Krasnoyarsk Mining Chemical Combine in Zheleznogorsk for storage in a wet-storage facility which has a capacity of 6 thousand tons. The 20-year-old storage facility is now more than 60 percent full (Bellona Report 4-2004).

### **In search of a solution for spent fuel and the nuclear waste management problem**

Recognizing the scale of the spent fuel and nuclear waste problem, the Russian government adopted a Federal Program entitled “Radioactive waste and spent nuclear materials management, utilization and disposal in 1996-2005” which is funded through the federal budget. In 2001, auditors of the Government Accounting Chamber came to the conclusion that, in 1996-2000, the program received only 10.7 percent of the funding promised by the government. At the same time, they noted that the situation in the field of spent fuel and nuclear waste management in Russia could be considered as critical. More than 6 billion Ci of nuclear waste and spent fuel have been accumulated by different organizations and agencies without the capacities for their safe storage and processing having been created (Ibid.).

The “Russian Energy Strategy” has proposed a solution to the spent fuel problem: increase the capacity of the storage facility in Zheleznogorsk for the spent fuel from the WWER-1000 reactors to 9,000 tons; build a dry storage facility there for the spent fuel from the WWER-1000 and RBMK-1000 with a capacity of 33,000 tons; complete the construction of the storage facilities for the spent fuel from submarine reactors and the WWER-1000 reactors at “Mayak”; and “possibly” build an RT-2 reprocessing plant with an annual capacity of 1,500 tons in Zheleznogorsk (RF Ministry of Energy 2001). Setting aside the RT-2 plant is an expensive but necessary solution. The issue is not money – Russia has accumulated substantial funds in the Stabilization Fund from oil sales. The problem is a serious concern for the environment, people’s health, and political will. However, it is very likely that the domestic plans will come up against competition from the plans of the Russian nuclear industry (supported by the government) to use the storage and disposal capacities for spent fuel and nuclear waste imported from other countries.

### **International cooperation in spent fuel management**

Recently appointed head of Rosatom, Sergey Kirienko, suggested raising the price of reprocessing and storing spent fuel in Russia and converting Zheleznogorsk in the Krasnoyarsk region (“Krasnoyarskij Kray”) into an international center for storing spent nuclear fuel. Currently, Rosatom pays Krasnoyarsk Mining Chemical Combine \$50 per ton of spent fuel stored in the storage facility. According to Sergey Kirienko, in 2009, the new storage facility with a capacity of 38 thousand tons would go into operation there. Nuclear workers and engineers are not opposed to such plans. For many years, Russia has been aggressively pursuing a policy of providing nuclear services in the international markets, namely the construction of the new nuclear power plants and fuel production for both existing and new power plants. An addendum made to the Environmental Law in 2001 allowed the importation of spent nuclear fuel to Russia. Over the past 4 years, Rosatom has increased its export of nuclear materials 1.5 fold in exchange for managing the nuclear waste of importing countries. Thus far, however, no country has shipped its spent fuel to Russia, and Rosatom has not received the money it had expected from the new deals (Kilichev 2006).

The United States long ago expressed an interest in using the dry storage facility in Krasnoyarsk for the purpose of storing US-origin spent fuel, particularly from the reactors in Taiwan. This interest and the more general objectives are described in Lawrence Livermore National Laboratory’s paper sponsored by the Department of Energy (Jardine et al. 2000). The authors claim that a “Technical and Management Support Program” is needed to help Russia build a storage facility and geological repository near Krasnoyarsk to store spent fuel from commercial reactors in Taiwan. The U.S. interests in this program also include the final disposition of spent US-origin fuel and future energy safety for Taiwan. It has been emphasized in the paper that the program should focus on the geological disposal of spent fuel from Taiwan, but not on financing the disposal of RBMK spent fuel and vitrified high-level waste. The funding for this could be provided by foreign resources and not through the disposition of spent fuel from reactors in Taiwan.

Since 1992, scientists from the Khlopin Radium Institute in St. Petersburg have been coordinating R&D studies on the search for and selection of a site for the geological repository of the high-level waste. They found one in the Krasnoyarsk region and conducted preliminary studies on 2 places considered potentially appropriate as burial sites. The Institute is now projecting an underground laboratory for the investigation of the potential channels of migration for radionuclides. However, Krasnoyarsk is not the only region which has been proposed as an international nuclear dumping site. Russian scientists have made different proposals for the final disposition of spent fuel. For this purpose, academician Laverov has proposed using a decommissioned uranium mine in Krasnokamensk, to the East of lake Baikal, or creating a final repository on the Kola peninsula (Laverov 2005). Another suggestion has been made to use rock salt deposits for the final disposition of spent fuel and all kinds of nuclear waste. About 19 rock salt deposits exist in Russia. The Big Azgir deposit in Kazakhstan was proposed for the pilot project on the final disposition of spent fuel. While the Kazakh government supported the idea, the Kazakh parliament did not approve it and refused to pass a law which would allow the importation of spent fuel and nuclear waste to Kazakhstan for final disposal.

Currently, Russian law prohibits the importation of spent fuel and nuclear waste for permanent storage and final disposal on Russian territory. It requires that, after temporary storage and reprocessing, the high-level waste and spent fuel that has not been reprocessed must be returned to the customer country. Potential customers are suggesting that Russia should go

beyond the current legislation and adopt a law that would allow not only the storage but also the final disposal of imported spent fuel. This is considered as a precondition for international support of the Krasnoyarsk storage facility and repository (Chapman and McCombie 2005). Another precondition is that the scheme of shipping spent fuel into the storage facility on Russian territory must receive public support in the customer countries and in the countries producing nuclear fuel. Public opinion in Russia to the scheme is not taken into account. At the same time, it is worthwhile mentioning that, in Russia, the very idea of creating an international storage facility for spent fuel from worldwide reactors has met with strong public opposition and provoked a public outcry. In addition, not all Russian scientists and nuclear experts support the importation of spent fuel to Russia for storage or final disposal.

To conclude, let me quote Alexander Nechaev, Professor of the St. Petersburg State Technological Institute and radiochemist: "With the present-day level of science and technology, safe radioactive waste disposal is quite feasible. This is a problem that requires immediate attention, but in the first place we should find a solution for OUR OWN WASTE. Only after having accumulated the relevant experience and proved that the final radioactive waste disposal is environmentally safe can we return to the discussion (and I mean discussion only) of the issue of hosting a multinational repository. As for exporting services that the supplier has not developed yet – this is a shady enterprise, especially taking into account the nature of such services. It also is unethical with respect to our fellow citizens" (Nechaev 2005).

## References

- Beigul, V. (2005): Does Russia need an international storage facility for spent fuel? In: Safety Barrier, No. 3-4, (in Russian and in English).
- Bellona Report (4-2004): Russian nuclear industry: Need for reforms.
- Bradley, D. J. (1997): Behind the nuclear curtain: Radioactive waste management in the former Soviet Union. Edited by David R. Payson. Battelle Memorial Institute. Battelle Press, Columbus\*Richland.
- Chapman, N. and C. McCombie (2005): What will it take to develop an international repository in Russia? In: Safety Barrier, No. 3-4, (in Russian and in English).
- Jardine, L. J., Halsey, W. G., and S.F. Smith (2000): Technical framework to facilitate foreign spent fuel storage and geologic disposal in Russia. Paper submitted to "HLW, LLW, mixed wastes and environmental restoration – working towards a cleaner environment", Tuscon, AZ, February 27 – March 2, 2000.
- Kilichev, A. (2006): The bargain. In: *Noviye Izvestiya*, 2 February 2006.
- Laverov, N. P. (2005): Geological repository for spent nuclear fuel. In: Safety Barrier, No. 3-4, (in Russian and in English).
- Nechaev, A. (2005): Does Russia need international storage facility for the spent fuel? In: Safety Barrier, No. 3-4, (in Russian and in English).
- RF Ministry of Energy (2001): Russian energy strategy for the period through 2020. Moscow.



## Atomenergie – unverantwortliche Bedrohung, marginale Potenziale\*

Prof. Dr. Klaus Traube

Energiepolitischer Berater des Deutschen Naturschutzbundes und energiepolitischer Sprecher des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung

Die Nutzung der Atomenergie wurde anfangs als Substitut für die begrenzten fossilen Energieträger und als billige Energiequelle propagiert. Als Versuch, die Bedenken der Umweltbewegung aufzufangen, wurde später der Klimaschutz als weiterer Grund für den Ausbau der Atomenergie hinzugenommen. Vor dem Hintergrund einer aus Sicht der Atombefürworter enttäuschenden globalen Entwicklung sowie zu geringer Fortschritte beim Klimaschutz, aber auch angeregt durch erhebliche Ölpreissteigerungen und die politische Diskussion um den Atomausstieg in Deutschland werden in letzter Zeit neue Hoffnungen auf eine Renaissance der Atomenergie gesetzt. Auftrieb bekam das Gerede von der Atomrenaissance durch die finnische und französische Entscheidung zum Bau je eines neuen Kernkraftwerks und durch Verlautbarungen der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO), die Atomenergie werde wieder Auftrieb bekommen.

Welche Rolle spielt die Atomenergie für den Klimaschutz und die energiewirtschaftliche Entwicklung derzeit, und welche Rolle könnte sie auf längere Sicht spielen?

### Die Atomenergie wird weitaus überschätzt

Atomstrom trug im Jahr 2002 16,6 Prozent zur weltweiten Elektrizitätserzeugung bei. Der Anteil der Elektrizität an der Deckung des Energiebedarfs betrug 16,1 Prozent, Atomstrom deckte somit nur 2,7 Prozent des weltweiten (End-)Energiebedarfs. Derzeit (2005) dürfte der Anteil noch geringfügig niedriger liegen. Allein die Wasserkraft erzeugt weltweit eben so viel Strom wie die Atomenergie. Die erneuerbaren Energien, v.a. Biomasse, decken anders als die Atomenergie auch einen erheblichen Anteil des Wärmebedarfs. Daher tragen die Erneuerbaren insgesamt erheblich mehr als die Atomenergie zur Deckung des weltweiten Energiebedarfs bei (IEA Statistics 2004).

Atomstrom ist nicht per se klimaschonend. Vielmehr hängt der Beitrag des Atomstroms zum Klimaschutz davon ab, welche Art der Stromerzeugung durch den Atomstrom substituiert wurde bzw. wird. Wären etwa Wasser- und Windkraft anstelle der Atomkraft ausgebaut worden, so hätte der Atomstrom keine Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bewirkt, trüge also zum Klimaschutz nichts bei. Substituiert der Atomstrom dagegen die Stromerzeugung aus alten Kohlekondensationskraftwerken, so würde dies die CO<sub>2</sub>-Emissionen vermindern, und zwar prozentual um das Zwei- bis Dreifache des Anteils dieses Atomstroms am Endenergieverbrauch. Bei Substitution effizienterer Stromerzeugung, so in modernen Gaskraftwerken oder in Kraft-Wärme-Kopplung, liegt der atomare Klimaschutzeffekt zwischen diesen Extremen. Es gibt keine allgemein gültige Antwort auf die Frage, wie viel Treibhausgasemissionen durch Atomstrom substituiert werden.

Zur Orientierung verwenden wir im Folgenden den statistischen Ansatz der IAEO: Sie errechnet den Primärenergieeinsatz zur Atomstromerzeugung auf der Basis eines durchschnittlichen Wirkungsgrades der existierenden Kraftwerke, aktuell 37,5 Prozent. Auf dieser Basis beziffert die IAEO den derzeitigen Beitrag des Atomstroms zur Primärenergieversorgung auf 5,5 Prozent, also rund doppelt so hoch wie den o.g. Beitrag von 2,7 Prozent zur Endenergieversorgung (IAEO 2004).

Der Beitrag der Atomenergie zur weltweiten Energieversorgung und zum Klimaschutz ist also bescheiden, wenn auch regional sehr unterschiedlich.

Im Juli 2005 werden weltweit 440 Atomkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von netto 367 Gigawatt betrieben. Sie befinden sich in nur 31 der weltweit 236 Staaten. Auch die Hälfte der EU-Länder ist „atomfrei“. Knapp zwei Drittel der AKW-Kapazität (228 GW) entfallen auf nur vier Staaten: die USA, Frankreich, Japan und Deutschland. In den Entwicklungsländern, die rund 80 Prozent der Weltbevölkerung beherbergen, sind lediglich vier Prozent der AKW-Kapazität installiert, überwiegend in China und Indien, wo Atomstrom freilich weniger als drei Prozent des Stromverbrauchs deckt (IAEO-PRIS 6/2005). Fünf Staaten, allen voran Frankreich, erzeugen mehr als 50 Prozent ihres Strombedarfs in Atomkraftwerken, zehn weitere Länder 25 Prozent bis 40 Prozent.

In Deutschland beträgt der Anteil des Atomstroms an der Stromerzeugung derzeit 28 Prozent. Strom deckt aber nur 19,4 Prozent des Endenergieverbrauchs, Atomstrom mithin nur 5,4 Prozent des Endenergiebedarfs (BMWA Energiedaten 2/05). Das ist zwar doppelt so viel wie im weltweiten Durchschnitt, aber doch wenig gegenüber der öffentlichen Einschätzung der Bedeutung der Atomenergie. So hielten die Deutschen in Umfragen 1994 und 1999 Kernkraftwerke für die Sicherung der Energieversorgung in den nächsten 20 bis 30 Jahren für bedeutender als Kohle und Erdöl, obwohl nur wenige

---

\* Zuerst veröffentlicht in: SPD-Bundestagsfraktion [Hrsg.] (2005): Atomausstieg – innovativ, nachhaltig, sicher, sozial, zukunftsweisend. Reihe Argumente, 12-23, Berlin.

diese Rolle der Kernkraft für wünschenswert hielten (Allensbach Archiv 1994, 1999). Es bedarf eines Rückblicks auf die Geschichte der Atomenergie, um zu verstehen, wie derart krasse Fehleinschätzungen, die heute noch nachwirken, entstehen konnten.

### Die Atomenergie wurde ein Flop

Als der amerikanische Präsident 1953 der Welt ein Programm zur friedlichen Nutzung der Atomenergie verkündete, wurde das schreckliche Bild von Hiroshima mit Prophezeiungen schier unerschöpflicher Segnungen der friedlichen Nutzung übermalt. Die damit geweckten euphorischen Erwartungen, die beispielsweise in der Bundesrepublik zur Bildung eines Atomministeriums und zu Kernforschungszentren mit über 10.000 Mitarbeitern führten, waren schon erheblich gedämpft, als Mitte der 60er Jahre schließlich eine kommerzielle Nutzung der Atomenergie mit dem Bau großer Atomkraftwerke begann. Tatsächlich gab es ein Jahrzehnt lang einen Boom an kommerziellen Aufträgen zum Bau von (Leichtwasser-)AKWs in einigen westlichen Industrieländern, vor allem in den USA. Dies gab Anlass zu Erwartungen, die sich spiegeln in der – heute absurd anmutenden – Prognose der IAEA von 1974, im Jahr 2000 würden weltweit AKWs mit einer Gesamtleistung von 4.500 GW installiert sein (IAEA 1974) – gut zwölffmal mehr als die tatsächlich derzeit installierten 367 GW.

Mitte der 70er Jahre brach der Auftragsboom abrupt ab. Ende 1974 waren in den USA insgesamt 237 AKWs mit 228 GW Gesamtkapazität in Betrieb, im Bau oder bestellt (Jahrbuch ATW 1976). Tatsächlich sind heute in den USA nur 104 AKWs mit 99 GW installiert. Im Bau oder bestellt ist keins. Mehr als die Hälfte der seinerzeit bestellten oder schon im Bau befindlichen AKWs wurden, teils unter großen Verlusten, aufgegeben.

Die primäre Ursache für diesen Zusammenbruch der Atomkonjunktur waren dramatische Kostensteigerungen. Sie fanden nicht nur in den USA statt. 1969 bestellte RWE das erste 1.200 MW-AKW Biblis A für einen Festpreis von 750 Millionen DM. Dagegen kostete das letzte in Deutschland (1982 bis 1988) errichtete AKW Neckarwestheim 2 (1.270 MW) fünf Milliarden DM. Die extremen Kostensteigerungen lagen teils an anfangs marktstrategisch motivierten „Einführungspreisen“, überwiegend aber an Fehleinschätzungen der Hersteller: Die Kombination von Komplexität, Sicherheitsproblemen und Größe der AKWs lag jenseits aller damaliger industrieller Erfahrung. Hinzu kam die Aussicht auf Überkapazitäten wegen weit überhöhter Erwartungen an das Wachstum des Stromverbrauchs, das angesichts der Aussicht auf „billigen Atomstrom“ durch massive Expansion des Stromeinsatzes im Wärmemarkt erzielt werden sollte. Der Widerstand gegen die Atomenergie spielte für den Zusammenbruch der Atomkonjunktur Mitte der 70er Jahre noch kaum eine Rolle; er gewann erst ab der zweiten Hälfte der 70er Jahre an Einfluss, insbesondere nach der Reaktorkatastrophe in Three Mile Island 1979. Nach 1986, dem Jahr der Tschernobyl-Katastrophe, wurden Aufträge zum Bau neuer AKWs nur noch in Ostasien erteilt.

Ein Vergleich der weltweiten Statistik der Kernkraftwerke von heute mit der vor 25 Jahren veranschaulicht den Niedergang der Atomenergie. Für Mitte 2005 verzeichnet die aktuelle Statistik der IAEA 466 AKWs mit der Gesamtleistung von 386 GW – davon 24 mit 19 GW als im Bau befindlich. Für Mitte 1980 verzeichnete das Jahrbuch der Atomwirtschaft (Jg. 1981) 570 AKWs mit 450 GW – davon 233 mit 133 GW als in Betrieb, 240 mit 222 GW als im Bau und 97 mit 95 GW als bestellt. In den meisten der 31 Länder, die Atomkraftwerke betreiben, darunter auch Deutschland, wurden AKWs aufgegeben, die 1985 bereits im Bau oder bestellt waren. Nach 1985 wurden nur in sechs ostasiatischen Ländern noch AKWs bestellt und ausgeführt.

Angesichts des enormen Entwicklungsaufwands und der einstigen Erwartungen war die Atomenergie bisher also ein Flop. Wie aber sieht die absehbare Zukunft aus?

### Die mittelfristigen Aussichten – dürrtig

In Finnland und Frankreich wird nun erstmals seit 1986 außerhalb von Ostasien wieder je ein neues Atomkraftwerk errichtet. Unter den derzeit als weltweit im Bau befindlich registrierten 24 AKWs sind neun AKWs in fünf Ländern<sup>1</sup> mit insgesamt acht GW, deren Bau bereits Mitte der 70er bis Mitte der 80er Jahre begonnen und danach abgebrochen wurde. Einige davon werden möglicherweise noch fertig gestellt. Die 13 tatsächlich im Bau befindlichen AKWs mit insgesamt elf GW befinden sich in Japan, Taiwan, Indien und China. Diese vier Länder sowie Südkorea und Taiwan sind die sechs asiatischen Länder, in denen nach 1985 – überwiegend vor Mitte der 90er Jahre – noch AKWs mit knapp 40 GW bestellt wurden. In drei dieser Länder – in Japan, Südkorea und Taiwan – spielt die Atomenergie mit Anteilen an der Stromerzeugung zwischen 25 Prozent und 40 Prozent energiewirtschaftlich eine ähnliche Rolle wie in Deutschland. In den anderen drei Ländern ist ihr Beitrag zur Stromerzeugung nahezu belanglos (China 2,2 Prozent, Indien 2,8 Prozent und Pakistan 2,4 Prozent (IAEA-PRIS 6/2005)).

1 In Russland vier AKWs, in der Ukraine zwei AKWs, je ein AKW in Iran, Rumänien und Argentinien.

Der Blick auf die Atomstatistik spricht also nicht für eine Renaissance der Atomenergie. Die seit 1985 noch bestellten 40 GW AKW-Leistung sind für die weltweite Energieversorgung eine Marginalie. Zum Vergleich: Allein in den USA wurden im ersten Boom-Jahrzehnt bis 1974 über 200 AKWs mit über 200 GW elektrischer Leistung bestellt.

Wie sehen die Planungen für zukünftige AKWs aus?

Die – gewiss nicht atomfeindliche – Internationale Energieagentur (IEA) der OECD publiziert periodisch den renommierten World Energy Outlook. Sie erwartet bis 2030 eine Erhöhung des weltweiten Energiebedarfs um jährlich 1,7 Prozent, also gegenüber 2002 einen Zuwachs um 60 Prozent und zudem eine Verdoppelung des Strombedarfs (IEA 2004). In diesem Zeitraum soll die Atomkapazität weltweit nur marginal anwachsen. Der Anteil des Atomstroms an der wachsenden Stromerzeugung soll um mehr als ein Drittel abnehmen (IEA Statistics 2004: 6, 46). Neue Kapazitäten sollen überwiegend alte Anlagen ersetzen.

Die aktuelle Projektion der Internationalen Atomenergiebehörde IAEA sieht bis zum Jahr 2030 in einer niedrigen und in einer hohen Variante (N und H) einen Anstieg des Primärenergiebedarfs jährlich um 1,5 Prozent (N) bzw. 2,6 Prozent (H) vor (IAEA 2004). Dies entspricht einem Zuwachs des globalen PEV zwischen 2003 und 2030 von 46 Prozent bzw. 99 Prozent.

Tabelle 1: Erwartungen der IAEA zur Entwicklung der Atomenergie

Jahr		2003	2020		2030	
			N	H	N	H
Variante						
Weltstromerzeugung	10 <sup>3</sup> TWh	15,7	20,0	26,4	23,6	37,1
Atomstromerzeugung	10 <sup>3</sup> TWh	2,52	3,38	4,03	3,38	4,70
Nuklear-Anteil an Stromerzeugung	%	16,1	17,0	15,0	14,0	13,0
Nuklear-Anteil am PEV	%	5,5	5,8	5,7	5,0	5,2
AKW-Kapazität	GW	362,0	427,0	512,0	423,0	592,0

Quelle: IAEA 2004

Anders als die IEA der OECD setzt die IAEA, Zentralinstanz der Atomgemeinde, einen erheblichen Zuwachs an weltweiter atomarer Stromerzeugung an. Gleichwohl bleibt der Anteil der Atomenergie an der weltweiten Energieversorgung bescheiden und liegt 2030 niedriger als derzeit.

### Ankündigungen zum Ausbau der Atomkraft sind Zweckoptimismus

Der Generaldirektor der IAEA, El Baradei, stellte am 21. März dieses Jahres die Projektion der niedrigen Variante mit 427 GW Atomkapazität im Jahr 2020 heraus. Sie basiere auf spezifischen Plänen einer Anzahl von Ländern zum Ausbau der Atomkraft, die er für China, Russland und Indien benannte. China plane einen Ausbau von derzeit 6,5 GW auf 36 GW in 2020, Russland von derzeit 22 GW auf 40 bis 45 GW bis 2020 sowie Indien von derzeit drei GW bis 2022 auf das Zehnfache und bis Mitte des Jahrhunderts auf das Hundertfache. In anderen Ländern seien die Planungen moderater. Die Geschichte der Atomenergie ist voll von unerfüllten Ankündigungen, die zumeist aus den für die Promotion der Atomenergie geschaffenen Instanzen stammen, ihr Motiv ist häufig Zweckoptimismus. Am ehesten mag die chinesische Ankündigung als seriös anzusehen sein. Aber wenn sie realisiert würde, so trüge Atomstrom auch 2020 nur wenige Prozent (derzeit 2,2 Prozent) zur stark wachsenden chinesischen Stromerzeugung bei. Die regenerative Stromerzeugung soll demgegenüber erheblich stärker ausgebaut werden und bis 2020 auf 20 Prozent der chinesischen Stromerzeugung gesteigert werden.

Die indische Verhundertfachung gehört offensichtlich ins Reich der Phantasie. Die russische Ankündigung einer Verdoppelung der AKW-Leistung bis 2020 wurde schon im Jahr 2000 lanciert; die neuen AKWs sollten durch Einlagerung ausländischen Atommülls in Russland finanziert werden. Sie setzt eine lange Reihe unerfüllter russischer Ankündigungen zum Ausbau der Atomkraft fort. Tatsächlich wurde in Russland seit 1986 kein AKW-Bau mehr begonnen; lediglich wenige der zuvor schon in Angriff genommenen AKWs wurden fertig gestellt.

Diese speziellen Ankündigungen umfangreichen Atomausbaus erscheinen nicht gerade als solide Basis der IAEA-Projektionen. Auch die als „moderater“ eingestuften Ausbaupläne anderer Staaten stützen keineswegs Erwartungen an eine Renaissance der Kernenergie. Nach einer Befragung der OECD-Staaten zu ihren Erwartungen an die mittelfristige Entwicklung der Atomenergie durch die Nuclear Energy Agency (NEA) betreiben 17 der 30 OECD-Staaten Atomkraftwerke und erzeugen 85 Prozent des weltweiten Atomstroms. Nur drei dieser Staaten erwarten bis 2020 eine leichte Zunahme ihrer

AKW-Kapazität, vier eine Abnahme und fünf keine Veränderung. Fünf Staaten antworteten nicht. Keins der 13 übrigen OECD-Länder meldete, dass es 2020 Atomkraftwerke betreiben werde (NEA 2005).

### Berichte zur Renaissance der Atomkraft sind unrealistisch

Vor diesem Hintergrund erscheint der Ausbau der Atomkraft, wie ihn die IAEO projiziert, als schlichter Zweckoptimismus – selbst schon in der niedrigen Variante. Trotzdem erwecken Medienberichte über Planungen zum Atomausbau hier, da und dort den Eindruck, eine massive „Atomrenaissance“ stehe bevor. Die Struktur solcher Berichterstattung sei an einem Beispiel beleuchtet (von Randow 2004). Der Autor berichtet, was er auf einer IAEO-Konferenz im russischen Obninsk erfuhr:

- Die IAEO komme „zu dem Schluss, dass die nukleare Kapazität nach mittlerer Schätzung weltweit bis 2030 um das Zweieinhalbfache anwachsen dürfte“. Die publizierten Projektionen der IAEO (siehe oben) liegen zwischen 17 und 64 Prozent, also mitnichten bei 250 Prozent.
- Die Russen wollten „ihre nukleare Produktion binnen fünf Jahren verdreifachen, zu ihren 30 Reaktoren müssten also noch etliche hinzukommen“. Tatsächlich registriert die IAEO-Statistik nur vier russische AKWs als im Bau befindlich. Deren Bau begann freilich schon vor 20 Jahren (IAEO-PRIS 6/2005). Höchstens diese, keinesfalls weitere AKWs könnten in den nächsten fünf Jahren fertig gestellt werden und damit die russische AKW-Kapazität um höchstens ein Sechstel (statt um das Dreifache) steigern.
- In den USA „bemüht sich die Industrie um Standortgenehmigungen für neue Meiler“. Tatsächlich bemüht sich die Bush-Administration mittels Vergünstigungen schon seit einigen Jahren darum, dass die Industrie wenigstens unverbindliche „early site permits“ beantragt, möglichst aber auch – erstmalig nach drei Jahrzehnten – wieder den Bau neuer AKWs in Angriff nimmt. Bisher hat kein einziges Unternehmen den Bau eines Reaktors zugesagt oder einen Bauantrag gestellt.
- „Auch Kanada baut aus.“ Tatsächlich wurde der letzte Auftrag zum Bau eines AKW 1977 erteilt. Es befindet sich seit Anfang der 90er Jahre kein AKW mehr im Bau. Aber fünf AKWs sind wegen Sicherheitsdefiziten seit 1997 abgeschaltet. Sie sollen saniert werden und in den nächsten Jahren wieder in Betrieb gehen.

Der Untertitel dieses Strahlkraft-Artikels bündelt die Aufzählung solch freudiger Verheißungen der Atomgemeinde zur frohen Botschaft: „Die Kernenergie erlebt weltweit eine Renaissance. Überall sind neue Reaktoren in Planung.“ Das Geräune um die Atomrenaissance ist nicht so neu. Im Dezember 1990 berichtete die Wirtschaftswoche unter dem Titel „Nukleare Renaissance“: „Ausstiegsbeschlüsse werden revidiert und Neubaupläne aufgelegt. Nur in Deutschland gibt es ein letztes Aufbäumen der Atomgegner.“

### Atomkraft ist zu teuer

Zwar dürfte es in der absehbaren Zukunft auch außerhalb der asiatischen Atomstaaten etliche neue AKW-Projekte geben, aber im Wesentlichen als Ersatz für die aus Altersgründen stillzulegenden Anlagen. Ein Ausbau, der einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz erbringen könnte, ist jedoch nicht in Sicht. Wenn die Elektrizitätswirtschaft weltweit seit Jahrzehnten nahezu keine neuen AKWs mehr in Auftrag gab, dann ja nicht, weil das weltweit verboten gewesen wäre<sup>2</sup>, sondern weil sie nicht wollte. Denn für die Elektrizitätswirtschaft ist die Errichtung von Atomkraftwerken wegen der sehr hohen Investitionskosten ein großes wirtschaftliches Risiko. Je Kilowatt installierter Leistung kostet ein AKW an die fünfmal so viel wie ein modernes Gaskraftwerk, das zudem in weit kleineren Einheiten wirtschaftlich betrieben werden kann. Liefere das AKW dann über 30 Jahre einigermaßen störungsfrei, so könnte es sich wegen niedrigerer Brennstoffkosten dennoch rentieren. Privatwirtschaftliche Investoren erwarten kurzfristige Renditen. Langfristige Zeiträume schrecken sie ab. Ein bedeutender Ausbau der Atomenergie wäre nur bei einem staatlichen Engagement – z.B. über Bürgschaften – möglich. Dem wiederum stehen die Forderungen nach freiem Welthandel und liberalisierten Strommärkten entgegen.

Doch selbst wenn die eher unwahrscheinlichen IEA-Projektionen für das Jahr 2030 einträfen, bliebe die Wirkung der Atomenergie für den Klimaschutz marginal. Die IAEO-Projektion beziffert den Anteil der Atomenergie an der Deckung des weltweiten Primärenergieverbrauchs im Jahr 2030 auf fünf bis 5,2 Prozent. Zum Vergleich: Allein im Jahr 2004 stieg der weltweite Primärenergieverbrauch um 4,3 Prozent (BP 2005).

2 Verbote gibt es in einigen Ländern als Folge von Volksabstimmungen (Beispiele Österreich, Italien) oder von nationalen Beschlüssen gegen die Nutzung der Atomenergie (Beispiel Dänemark) bzw. zum Ausstieg aus der Atomenergie (Beispiel Niederlande).

### Atomenergie schützt das Klima – ein Szenario

Die Verminderung des Verbrauchs fossiler Energieträger und damit der Emission von Klimagasen ist das einzige tragfähig erscheinende Argument für den Ausbau der Atomenergie. Das einstige Argument „billiger Atomstrom“ gilt zwar noch für den Weiterbetrieb bestehender AKWs, deren Investitionskosten ja versunken sind, aber nicht mehr für den Zubau von AKW-Kapazität – außer wenn der Atomstrom speziell durch politisch gesetzte Rahmenbedingungen (offen oder versteckt) gefördert würde. Atomenergie hat zwar in den wenigen Ländern mit hohem Atomstromanteil – allen voran Frankreich – erhebliche Bedeutung für die nationale Klimagasbilanz. Aber wenn ihr Beitrag zur Energieversorgung weltweit so bescheiden ist und bleibt wie er es ist, dann ist die stete Rede von der „unverzichtbaren Atomenergie“ offenbar Schaum-schlägerei.

Aber ließe sich ein wirksamer Beitrag zum Klimaschutz nicht doch durch einen Ausbau der Atomenergie erreichen?

Dieser Frage kann man mit folgendem Szenario nachgehen. Wir wollen einmal eine weltweite Energiezukunft skizzieren, in der der weltweite Energiebedarf bis zum Jahr 2030 entsprechend der oben beschriebenen IEA-Projektion um 60 Prozent gegenüber dem des Jahres 2002 steigt und der Strombedarf um 100 Prozent, und in der unterstellt wird, die Atomkapazität könne bis 2030 so stark ausgebaut werden, dass Atomstrom dann 50 Prozent (statt 16,6 Prozent in 2002) zur globalen Stromerzeugung beitrüge. Atomstrom würde dann im Verein mit der existierenden Wasserkraft nahezu den weltweiten Bedarf an Grundlaststrom decken und damit eine praktische Grenze erreichen. Die Atomstromerzeugung wäre 2030 um den Faktor 6 höher als 2002. Damit würde sich der Beitrag des Atomstroms zur Deckung des Endenergiebedarfs von 2,7 Prozent auf zehn Prozent erhöhen. Hinsichtlich des korrespondierenden Beitrags zur Deckung des Primärenergiebedarfs unterstellen wir wie die IAEO, dass Atomstrom Strom aus existierenden fossilen Kraftwerken mittleren Wirkungsgrades verdrängt. Wir berücksichtigen, dass der Wirkungsgrad des fossilen Kraftwerksparks im Jahr 2030 wesentlich höher sein wird als derzeit. Damit würde sich der Anteil des Atomstroms am Primärenergieverbrauch von derzeit 5,5 Prozent bis 2030 auf 15 Prozent erhöhen. Atomstrom würde bei diesem Szenario einen merklichen, wenn auch keineswegs einen entscheidenden Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Aber was wären die Konsequenzen eines solchen atomaren Klimaschutz-Szenarios?

Während seit Beginn des Atombooms vor 40 Jahren insgesamt rund 400 GW an AKW-Kapazität installiert wurden, müssten in den kommenden 25 Jahren 2.100 GW neu installiert werden.<sup>3</sup> Dies entspräche 2.100 AKWs à 1.000 MW. Angesichts des unterstellten 50-prozentigen Anteils des Atomstroms an der Stromerzeugung müssten die neuen AKWs in nahezu allen Regionen installiert werden, also auch in den meisten der 205 Staaten, in denen es heute noch keine AKWs gibt. Der größte Teil dieser AKWs und der damit verbundenen Investitionskosten müsste auf die Entwicklungsländer entfallen. Insgesamt müssten für den Bau der 2.100 GW AKW-Kapazität etwa fünf Billionen Euro aufgebracht werden.<sup>4</sup> Zum Vergleich: Die IEA rechnet mit vier Billionen Euro Investitionsbedarf für den Zubau von 4.700 GW an insgesamt bis 2030 benötigter Kraftwerksleistung. Sie warnt, dass dieser Finanzierungsbedarf, insbesondere in den Entwicklungsländern, gravierende Probleme bereiten wird (IEA 2003). Wenn in unserem Szenario die Grundlastkapazität durch Atomkraftwerke, den mit Abstand teuersten Kraftwerkstyp, bereitgestellt werden sollte, dann ergäbe sich für den gesamten Kraftwerkspark anstelle der von der IAEO bezifferten vier Billionen ein Finanzbedarf von über sieben Billionen Euro.

Angesichts der Gefahren der Atomenergie erscheint unser Atomszenario als eine Horrorvision. Man denke nur an die Bedrohung durch Terrorismus, wenn Tausende von Atomkraftwerken in allen Regionen der Welt stehen, und daran, dass die zur Nutzung der Atomenergie dienende Infrastruktur auch zur Herstellung von Atomwaffen nutzbar ist. Diese Infrastruktur war die Basis für die Herstellung der Atomwaffen Indiens und Pakistans. Nordkorea und Iran werden derzeit verdächtigt, sich auf dieser Basis Atomwaffen zu beschaffen.

Es ist evident, dass unser Atomszenario weder finanzierbar noch politisch realisierbar ist. Die Atommächte, allen voran die USA, würden kaum tatenlos zusehen, wenn Atominfrastrukturen in Weltregionen entstünden, die sie als instabil ansehen.

3 Die 400 GW enthalten die bereits stillgelegte Kapazität (35 GW). Die 2.100 GW ergeben sich, wenn die mittlere Auslastung (Lastfaktor) der AKW-Kapazität auch 2030 noch 84 Prozent wie 2002 beträgt und die existierenden AKWs, die derzeit jünger als 15 Jahre sind (60 GW), auch 2030 noch betrieben werden.

4 Ansatz spez. Investitionskosten 2.400 Euro/kW. Zum Vergleich: Der Lieferpreis für das neue finnische AKW wird mit 2.000 Euro/kW angegeben. Das ist mit Sicherheit ein Einführungspreis für den EPR-Reaktor, zudem enthält er keine Bauherrenkosten und Bauzinsen. Die obere Bandbreite ergibt sich durch Einbeziehung der notwendigen Infrastruktur, die in den meisten Ländern erst noch aufgebaut werden muss.

### Uranressourcen sind knapp

Die Atomenergie kann also offenbar auch in Zukunft keinen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz erbringen. Dafür gibt es einen weiteren Grund: die Uransituation. Die IAEA und die Nuclear Energy Agency der OECD (NEA) publizieren periodisch in einem „Red Book“ eine weltweite Übersicht über Verbrauch, Gewinnung und Ressourcen von Uran. Die Ressourcen werden in Kategorien eingeteilt. Als „bekannte konventionelle Ressourcen“ gelten entdeckte Uranvorkommen der Kategorien „hinreichend sicher“ (sie gelten als „Reserven“) und „zusätzlich geschätzt“, die zu Kosten bis 130 US-Dollar je Kilogramm Uran gefördert werden könnten. Außerdem werden Angaben gemacht über nicht entdeckte Ressourcen der Kategorien „geschätzt“ und „spekulativ“.

Laut der Ausgabe 2004 des Rotbuchs werden die bekannten Uranressourcen mit 4,6 Millionen Tonnen (Mt) angegeben, die nicht entdeckten mit 7,5 Mt. Im Jahr 2002 wurden 2.573 TWh Atomstrom weltweit erzeugt. Der dafür erforderliche Uranbedarf wird auf 66.800 Tonnen beziffert (IAEO/NEA 2004). Bei diesem Verbrauchsniveau beträgt die rechnerische Reichweite der bekannten Ressourcen mithin 70 Jahre.

In unserem Atomszenario soll im Jahr 2030 sechsmal so viel Atomstrom erzeugt werden wie 2002. Die je Kilogramm Uranbedarf erzeugte Strommenge dürfte wegen erhöhtem Abbrand der Brennelemente und verbessertem Wirkungsgrad der AKWs bis 2030 erheblich höher sein als im Jahr 2002 (38.000 kWh/kgU). Wir setzen 60.000 kWh/kgU an, entsprechend den für die künftigen AKWs mit Europäischem Druckwasserreaktor (EPR) in Aussicht gestellten Daten. Damit läge der Uranbedarf unseres Szenarios im Jahr 2030 bei 0,26 Mt. Bei diesem Verbrauchsniveau läge die Reichweite der derzeit bekannten Uranressourcen (4,6 Mt) bei nur noch 18 Jahren.

Nun könnte bei derartigem Uranbedarf auch die Menge der bekannten Uranressourcen zunehmen. Derzeit als nicht entdeckte, spekulative Ressourcen geschätzte Uranvorkommen könnten durch Exploration entdeckt und erschlossen werden. Aber selbst die Summe der entdeckten und nicht entdeckten Uranressourcen könnte den wegen des wachsenden Energieverbrauchs der Entwicklungsländer ebenfalls wachsenden Uranbedarf nur etwa drei, höchstens vier Jahrzehnte decken, wenn der Atomstrom den in der IEA-Projektion für 2030 aus Gründen des Klimaschutzes angestrebten Anteil von 15 Prozent an der Deckung des Primärenergiebedarfs in der Zeit danach beibehalten soll.

### Ökologische Schäden durch Uranabbau untragbar

Doch schon zuvor dürften aus Umweltgründen Grenzen der Uranförderung erreicht werden. Derzeit werden Vorkommen abgebaut, die ca. ein Prozent Uran enthalten. Das geförderte Gestein endet fast vollständig als Abraum. Die Abtrennung des Urans erfolgt chemisch, die eingesetzten Chemikalien verbleiben teilweise in den Schlammassen. Was das für die Umwelt bedeutet, war im sächsischen Schlema, dem Standort des ehemaligen Uranabbaus der DDR, zu besichtigen: über 300 Millionen Kubikmeter Abraumhalden, 160 Millionen Kubikmeter giftiger und radioaktiver Schlammseen, kontaminierte Aufbereitungsanlagen. Seit vierzehn Jahren arbeiten 2.200 Mitarbeiter der Wismuth GmbH mit einem Etat von 13 Milliarden Euro an der Sanierung dieser wohl schlimmsten deutschen Landschaftszerstörung. Unter westeuropäischen Verhältnissen wäre ein derartiger Uranabbau kaum denkbar.

Etwa die Hälfte der Uranförderung findet derzeit in sehr dünn besiedelten Gebieten Kanadas und Australiens statt. Dort sind hauptsächlich Ureinwohner betroffen, die stetig gegen die angerichteten Schäden protestieren. Ein weiteres Drittel der Uranförderung geschieht in Kasachstan, Niger, Namibia und Russland. Anfangs gab es Uranabbau auch in fünf westeuropäischen Ländern. Dort wurde er komplett eingestellt.

Wenn künftig ein höherer Uranbedarf entstünde, dann müssten Vorkommen mit noch geringerer Urankonzentration abgebaut werden. Gegenüber heute würde nicht nur das Niveau der Uranförderung erhöht, sondern vor allem auch die Menge an Abraum und Schlamm je Tonne geförderten Urans. Es ist schwer vorstellbar, dass die damit einhergehenden Umweltschäden langfristig politisch tragbar blieben, zumal die Uranförderung dann nicht mehr nur auf entlegene Gebiete beschränkt werden könnte.

### Die Vision Brüter

Den Vordenkern der Atomgemeinde ist bewusst, dass die Uransituation prekär werden wird. Daher streuen sie, es werde eine Wiederkehr des Brüters geben. Das Konzept „Plutoniumwirtschaft“, ein System von Brutreaktoren und Wiederaufarbeitungsanlagen, war die Basis der Verheißung unerschöpflicher Atomenergie. Mit diesem System ließe sich aus dem Uran bis zu 60-mal mehr Energie gewinnen als in den heutigen Reaktoren. Deshalb begann die Entwicklung der Brüter parallel zur Entwicklung der heute existierenden AKW-Typen, die nur als Übergangslösung betrachtet wurden. Noch bevor Mitte der 60er Jahre der Bestellboom für Atomkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren begann, arbeiteten in den USA, Frankreich, Großbritannien und der Sowjetunion bereits kleinere Prototyp-Brüterkraftwerke. Zudem waren mittelgroße Demonstrationskraftwerke mit an die 300 MW elektrischer Leistung in Frankreich, Großbritannien und der Sowjetunion

schon im Bau, in den USA, Deutschland und Japan in Planung. Frankreich und Großbritannien kündigten den Bau je eines 1.200 MW-Brütergroßkraftwerks für Mitte der 70er Jahre an.

Bis um die Mitte der 70er Jahre schien die kommerzielle Nutzung der Brüter bald erreichbar. Die bis zum Jahr 2000 zu installierende Brüterkapazität bezifferten die Atombehörden

- 1974 für die USA auf 450 GW,
- 1975 für Großbritannien auf 33 GW,
- 1978 für Frankreich auf 16 bis 23 GW.

Tatsächlich war im Jahr 2000 und ist heute weltweit nur noch ein einziges Brüterkraftwerk (in Russland) in Betrieb. Der 1972 in Kalkar begonnene deutsche 300-MW-Brüter wurde 1991 aufgegeben – nach 19 Baujahren, die sieben Milliarden DM (das 25fache des ursprünglichen Anschlags) kosteten. Das analoge US-Projekt wurde nie ausgeführt. Demonstrationsbrüter mittlerer Leistung um 300 MW wurden Mitte der 70er Jahre in Frankreich (Phenix), Großbritannien (PFR) und der Sowjetunion (BN 350) in Betrieb genommen. Sie wurden alle im Verlauf der 90er Jahre stillgelegt. Der Betrieb des Phenix als Kraftwerk wurde nach gravierenden Reaktivitäts-Störfällen 1991 eingestellt.<sup>5</sup> Der britische PFR wurde von 1978 bis 1991 betrieben, erreichte aber wegen zahlreicher Störfälle nur einen Lastfaktor von 24 Prozent, d.h. die in 13 Jahren erzeugte Strommenge entsprach einer nur 24-prozentigen Ausnutzung seiner Kapazität. Während der Inbetriebnahme des japanischen Parallelprojekts (Monju) kam es 1995 zu einem schweren Unfall. Seitdem liegt dieses Brüterkraftwerk still; es ist unklar, ob es noch in Betrieb gehen wird. Das weltweit einzige Brütergroßkraftwerk, der französische 1.200-MW-Superphenix, ging 1986 in Betrieb und wurde 1997 stillgelegt. Er hatte in zehn Betriebsjahren den trostlosen Lastfaktor von sieben Prozent erreicht.

Übrig geblieben ist nur ein russisches 600-MW-Brüterkraftwerk. Mitte der 80er Jahre kündigte die Sowjetunion den Bau von zwei kommerziellen 800-MW-Brütern im Ural an, die im Jahr 2000 in Betrieb gehen sollten, tatsächlich aber aufgegeben wurden. Seitdem hat nur Indien noch den Bau eines Brüterkraftwerks angekündigt, aber kein Datum für die Inbetriebnahme in Aussicht gestellt. In China befindet sich mit russischer Unterstützung ein Versuchsbrüter im Bau (Chinese Experimental Fast Reactor CEFR, 65 MW). Er soll 2008 zum ersten Mal Kritikalität erreichen. Mit Blick auf diese Arbeiten geriet der geplante Export der abgebauten Hanauer MOX-Anlage nach China im Jahr 2004 in die politische Diskussion und wurde schließlich storniert, da der Einsatz für militärische Zwecke nicht ausgeschlossen werden konnte. Der russische Atommonopolist RosEnergoAtom meldete 2004 Planungen für einen japanisch-chinesisch-russisch-amerikanischen Gemeinschafts-Brüterreaktor in Belojarsk im Ural. Auch diese Meldung ist in die Kategorie Zweckoptimismus einzuordnen.

Dieses klägliche Ende des mit enormen Mitteln veranstalteten internationalen Brüterwettlaufs ist letztlich der hochgradigen technischen Komplexität und den sicherheitstechnischen Mängeln des Brüterkonzepts zuzuschreiben. Diese Eigenschaften führten einerseits zu enormen Kosten und andererseits zu katastrophalen Betriebsergebnissen infolge andauernder Pannen. Vier Jahrzehnte Entwicklung in allen großen Industriestaaten haben das Brüterkonzept ad absurdum geführt. Eine Wiederbelebung zur kommerziellen Nutzung ist kaum mehr vorstellbar.

Doch die Atomgemeinde streut, „die Wiederkehr des Brüters“ gelte als ausgemacht. Die IAEO und einige Staaten beschäftigen sich im Rahmen eines Forschungsprogramms für Zukunftsreaktoren auch weiter auf kleiner Flamme mit dem Brüter. Die Atomwirtschaft benötigt diese Botschaft, weil es ohne Brüter mangels Uran keine energiewirtschaftlich und klimapolitisch relevante „Renaissance“ der Atomenergie geben kann. Ohne diese fleißig verbreitete Vision aber wäre die Öffentlichkeit wohl kaum wieder für den Bau von Atomkraftwerken zu gewinnen.

### **Risiken der Atomenergie nicht zu verantworten**

Sollte die Atomenergie in Zukunft einen energie- und klimapolitisch nicht nur marginalen Beitrag leisten, so müssten bald weit über tausend Atomkraftwerke, auch in den Entwicklungsländern, zugebaut werden – sicherheitspolitisch ein Alptraum. Es gehört zum Repertoire der Atomgemeinde, das Sicherheitsrisiko herunterzuspielen. Das geschieht nicht zuletzt mit Hinweisen auf wundersame Eigenschaften zukünftiger Reaktoren, bei denen katastrophale Unfälle mit Kernschmelzen ausgeschlossen sein sollen.

Doch bei jedem Reaktor, gleich welcher Bauart, sind Unfallverläufe möglich, die zu Kernschmelzen mit nachfolgendem katastrophalem Freisetzen von Radioaktivität führen. Das bestreiten auch seriöse, sachkundige Atombefürworter nicht. Die Katastrophe in Tschernobyl hat das Ausmaß der damit verbundenen Folgen vor Augen geführt. Sie war die folgen-

5 Phenix ist nach offizieller Sprachregelung nicht stillgelegt; er wurde nach einem Umbau als Forschungsreaktor ohne Stromerzeugung betrieben.

schwerste in der Geschichte des katastrophalen Versagens technischer Systeme. Doch die Atomgemeinde besteht darauf, es habe nur 32 oder 45 Todesopfer gegeben und zudem 2.000 Fälle von Schilddrüsenkrebs, die durch Vergabe von Jodtabletten hätten vermieden werden können. Das ist ein zynisches Spiel damit, dass Krebs als Spätfolge im Einzelfall auch andere Ursachen haben könnte.

Doch es geht nicht nur um mögliche unbeabsichtigt eintretende Reaktorkatastrophen, es geht auch um die mögliche Zerstörung von AKWs durch terroristische Aktionen und durch kriegerischen Beschuss, auch um die ungelöste und nicht wirklich mögliche sichere Verbringung des Atommülls. Es geht weiter darum, dass die so genannte friedliche Nutzung der Atomenergie stets eine für militärische Zwecke nutzbare Infrastruktur schafft. Wegen all dieser enormen Risiken ist und bleibt die Nutzung der Atomenergie nicht zu verantworten.

### Zusammenfassung

Die existierenden 440 Atomkraftwerke tragen nur marginal zur weltweiten Energieversorgung bei. Die Atomenergie leistet daher auch keinen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz. Nur in wenigen Industrieländern spielt die Atomenergie eine erhebliche Rolle, keine nennenswerte dagegen in den Entwicklungsländern, die 80 Prozent der Weltbevölkerung beherbergen. Ihr derzeitiger Beitrag ist im Wesentlichen das Ergebnis von Entscheidungen zum Bau von Atomkraftwerken, die bis zur Mitte der 70er Jahre getroffen wurden und auf damals noch sehr mangelhaften Kenntnissen über die Kosten und Gefahren der Atomenergie beruhten. Seit fast zwei Jahrzehnten wurde nur noch eine im Weltmaßstab sehr geringe Anzahl an Aufträgen zum Bau neuer Kernkraftwerke erteilt. Es gibt keinerlei handfeste Indizien für eine „energiewirtschaftlich und klimapolitisch relevante Renaissance“ der Atomenergie.

Ein klimapolitisch relevanter Beitrag der Atomenergie würde den Zubau von einigen tausend Atomkraftwerken, vor allem in Entwicklungsländern, erfordern. Ein derartiger Ausbau der Atomenergie wäre kaum finanzierbar und sicherheitspolitisch nicht durchsetzbar. Zudem würde er sehr bald zur Erschöpfung der in der Praxis abbaubaren Uranvorkommen führen, sofern nicht die heutigen Atomreaktoren durch Brutreaktoren ersetzt würden. Aber vier Jahrzehnte weltweiter enormer Anstrengungen zur Entwicklung der Brutreaktoren haben das Brüterkonzept ad absurdum geführt.

Die Atomenergie wird daher energie- und klimapolitisch eine Marginalie bleiben, die wegen der ihr innewohnenden immensen Gefahren beendet werden muss und die auch ohne bedeutende Verwerfungen beendet werden kann.

Die Atomenergie leistet keinen Beitrag für ein zukünftiges nachhaltiges Energiesystem, das nur durch konsequentes Ausschöpfen der Effizienzpotenziale und entschlossenen Ausbau der erneuerbaren Energien geschaffen werden kann.

### Literatur

- Allensbach Archiv (1994): IfD Umfrage 5090, Februar.
- Allensbach Archiv (1999): IfD Umfrage 6072, Januar.
- BMWA (2005): Energiedaten 2/05: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Energiedaten, Stand 22.5.2005.
- BP (2005): BP Statistical World Review 2005.
- IAEO (1974): Annual Report 1974.
- IAEO (2004): Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2030. July 2004 Edition. Wien.
- IAEO/NEA (2004): Uranium 2003 resources, production and demand. OECD. Paris.
- IAEO-PRIS (2005): Power Reactor Information System (PRIS). Stand 30.6.2005.
- IEA (2003): World Energy Investment Outlook 2003. OECD. Paris.
- IEA (2004): World Energy Outlook 2004. OECD. Paris.
- IEA Statistics (2004): Key World Energy Statistics 2004.
- Jahrbuch ATW (1976): Jahrbuch der Atomwirtschaft 1976.
- NEA (2005): Nuclear Energy Data 2005. OECD. Paris.
- von Randow, G. (2004): Mit neuer Strahlkraft, in: DIE ZEIT vom 22.7.2004.

Die Angaben zur Geschichte des Brüters sind weitgehend dokumentiert in:

- Traube, K. (1984): Plutoniumwirtschaft – das Finanzdebakel von Brutreaktor und Wiederaufarbeitung. Reinbek.

## Forum: Atom- und Energiepolitik weltweit

### Moderation:

PD Dr. Lutz Mez

Geschäftsführer der Forschungsstelle für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin

### Nuclear power in the world 2006

Mycele Schneider

Internationaler Energieberater und Publizist

### History of nuclear power in Brazil

Prof. Dr. Luiz Pinguelli Rosa

Vize-Direktor der Graduate School of Engineering (COPPE) der Federal University of Rio de Janeiro

### Chernobyl plus 20 - the Swedish case

Dr. Måns Lönnroth

Geschäftsführer der Foundation for Strategic Environmental Research (MISTRA), Stockholm

### Unchanging vision of nuclear energy:

#### Nuclear power policy of the South Korean government and citizens' challenge

Prof. Dr. Sung-Jin Leem

Direktor des Institute for Environmental and Energy Policy der Jeonju University



*Forum „Atom- und Energiepolitik weltweit“  
mit Mycele Schneider, Energieberater und Publizist,*

*Prof. Dr. Luiz Pinguelli Rosa, Vize-Direktor der Graduate School of Engineering der Federal University of Rio de Janeiro,  
PD Dr. Lutz Mez, Geschäftsführer der Forschungsstelle für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin und Moderator des Forums,  
Dr. Måns Lönnroth, Geschäftsführer der Foundation for Strategic Environmental Research (MISTRA), Stockholm und  
Prof. Dr. Sung-Jin Leem, Direktor des Institute for Environmental and Energy Policy der Jeonju University (v.l.n.r.)*



## Nuclear power in the world 2006<sup>1</sup>

Mykle Schneider

Internationaler Berater im Bereich Energie- und Atompolitik, Paris

On 26 April 1986 block 4 of the Ukrainian nuclear power station Chernobyl went out of control and exploded. The nuclear fall out – 200 times more than the release of the Hiroshima and Nagasaki bombs combined – was distributed as a radioactive cloud throughout the Northern hemisphere. Today Chernobyl stands not only for the gigantic nuclear accident but also for a political and moral catastrophe. The ecological and economical disaster concentrated in Ukraine and Belarus – these countries had to invest up to a quarter of their GDP for reconstruction, compensation and handling of problems deriving from the nuclear disaster – but also severely hit regions in Russia and Northern and Middle Europe where weather conditions like rain created hot spots. Of six reactors planned on the Chernobyl site, two were never finished, the disaster block was covered by a 300,000 tons sarcophagus, and the last working unit was shut down in 2000. The fuel of units 1 and 3 has not even been discharged from the reactor cores and represent a significant risk that receives practically no attention. More than 9 million people have to live with increased radiation, in the vicinity of Chernobyl around 400,000 people were evacuated and hundreds of thousands have severe health problems. The total economic damage was calculated to be in the range of several hundred billion Euros. Nuclear power became unpopular at one fell swoop, nuclear programs were halted or finished, some countries even decided to phase-out nuclear power, and the perspectives for the nuclear building industry vanished.

Twenty years later nuclear power is back on the agenda. The media coverage of nuclear energy, in numbers of articles, in key countries like the US, the UK, France and Germany has increased several times since year 2000. Heads of State talk about it, the upcoming G8 Summit put it on the agenda. The international nuclear industry boasts: “Our industry is not in the defensive mindset that it was in before. On the contrary, we must now make the most of the nuclear revival and go on the offensive.”<sup>2</sup>

So what is behind the “nuclear revival”? What is the result of the industry “offensive”? Surprisingly little, so far, as this article reveals.

As of 1 May 06, there are 442 nuclear reactor operating in the world, only 19 more than in 1989, representing an installed capacity of about 370,000 MW. Nuclear power plants provide 16 percent of the world’s commercial<sup>3</sup> electricity – the same as hydropower – 6 percent of the commercial primary energy and 2-3 percent of final energy (see table 1).

The total installed capacity has increased faster than the number of operating reactors because units that are being shut down are usually smaller than new ones coming on-line and because of uprating of capacity in existing plants in many countries. In the USA for example, according to the World Nuclear Association, the Nuclear Regulatory Commission has approved 96 uprates since 1977, a few of them “extended uprates” of up to 20 percent.<sup>4</sup>

In the EU-25, nuclear power has declined steadily since 1989, when the number of operating units reached a historic high with 172 units. Currently there are 147 reactors operating in the EU-25, which is 25 units or 14 percent less than 17 years ago. The same year construction started on one unit in Finland (2005), two reactors were shut down, one in Germany and one in Sweden.

There are 31 countries that operate nuclear power plants, but the big six alone, USA, France, Japan, Germany, Russia and South Korea, produce three quarters of the nuclear electricity in the world. The role of nuclear power in the overall energy sector remains very limited even in these countries. In France, the “most nuclear” country in the world that generates 78 percent of its electricity with nuclear power plants, nuclear only provides 17.5 percent of its final energy. Like most of the other countries, France remains highly dependent on fossil fuels that cover over 70 percent of its final energy consumption of which oil holds the lion share with 45 percent. None of the other five largest nuclear countries cover more than 7 percent of their final energy by nuclear power, the US and Russia less than 4 percent.

1 This article is a revised version of the editorial of „Energy policy and nuclear power – 20 years after the Chernobyl disaster“ by Mykle Schneider, Lutz Mez and Steve Thomas. Special issue of Energy & Environment 17(3): v-xxi.

2 Frank Deconinck, Chairman of the European Nuclear Society, 13 February 2006.

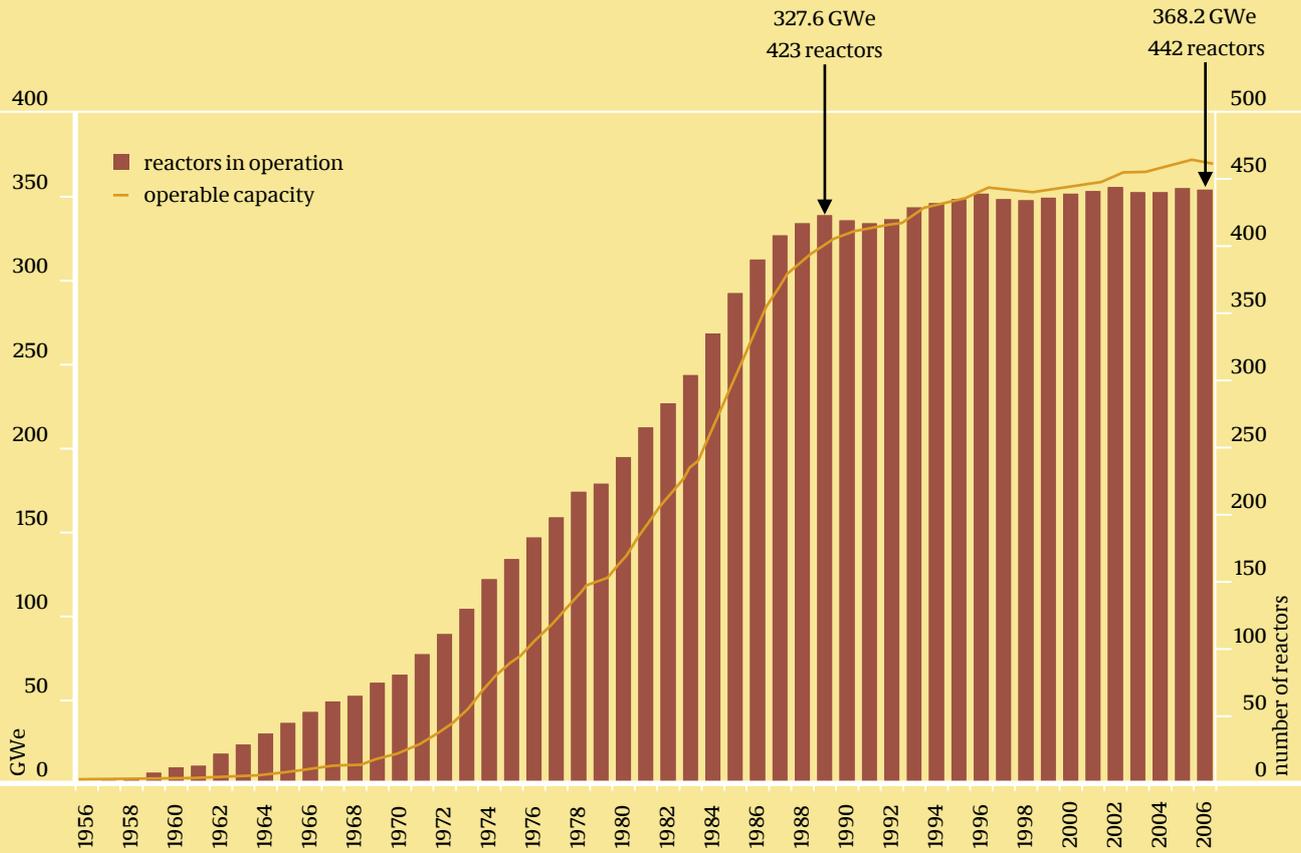
3 The term commercial designates all the energy/electricity that is being traded. Unfortunately, the statistics do not capture energy provided by non-commercial sources such as non grid connected photovoltaic panels, and in particular non commercial biomass use that plays a very significant role in countries like India, China and the entire African continent.

4 <http://www.world-nuclear.org/info/inf17.htm>.

Table 1: Nuclear power in the world

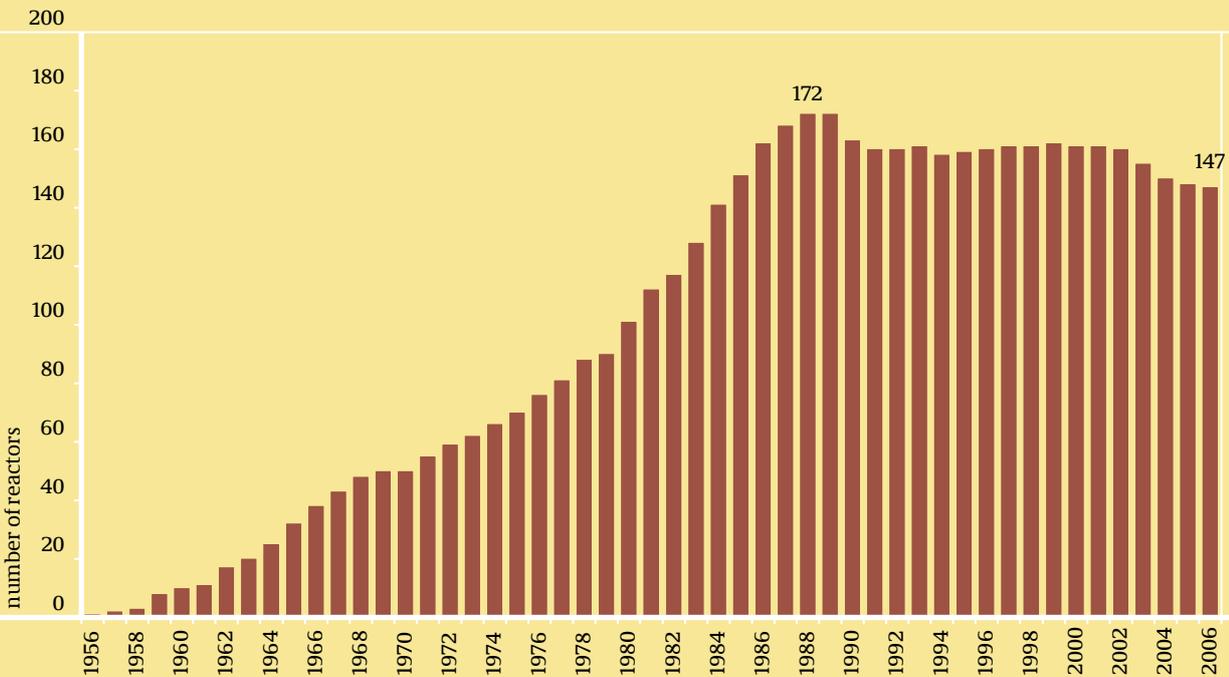
Countries	Nuclear power plants (as of 1 May 06)			Nuclear energy (as of 1 Jan 05)	
	Operate	Average age	Under construction	Share of electricity (in %)	Share of com. primary energy (in %)
USA	104	25	0	20	8
France	59	20	0	78	38
Japan	56	20	1	25	10
Russia	31	23	4	17	5
United Kingdom	23	26	0	24	9
Korea RO (South)	20	12	0	40	14
Canada	18	20	0	2	13
Germany	17	23	0	28	11
Ukraine	15	17	2	46	14
India	15	17	8	3	1
Sweden	10	26	0	50	33
China	9	4	3	2	1
Spain	8	23	0	24	10
Belgium	7	24	0	56	19
Slovakia	6	17	0	57	21
Czech Republic	6	13	0	31	13
Taiwan	6	23	2	22	9
Switzerland	5	29	0	40	21
Bulgaria	4	19	2	38	20
Hungary	4	19	0	33	10
Finland	4	25	1	27	19
Argentina	2	26	1	9	3
South Africa	2	20	0	6	2
Mexico	2	13	0	5	2
Brazil	2	13	0	4	2
Pakistan	2	19	1	2	1
Lithuania	1	19	0	80	38
Slovenia	1	23	0	40	21
Armenia	1	24	0	36	23
Romania	1	8	1	9	3
Netherlands	1	31	0	5	1
Iran	0	0	1	0	0
Korea DPR (North)	0	0	0	0	0
<b>EU-25</b>	<b>147</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>31</b>	<b>15</b>
<b>Total</b>	<b>442</b>	<b>22</b>	<b>27</b>	<b>16</b>	<b>6</b>

Figure 1: Nuclear reactors and net operating capacity in the world (in GWe, from 1956 to May 2006)



Source: IAEA-PRIS 2006 © Mycle Schneider Consulting

Figure 2: Nuclear reactors in operation in the EU-25 (from 1956 to May 2006)



Source: IAEA-PRIS 2006 © Mycle Schneider Consulting

Table 2: Nuclear power in the energy supply of the principal producers of nuclear electricity

Country	Primary energy <sup>1</sup> in Mtoe	Final energy <sup>2</sup> in Mtoe	Nuclear final energy <sup>3</sup> in Mtoe	Nuclear share in final energy in %
France <sup>4</sup>	276	161	28	17.5
Japan	515	359	23	6.4
South Korea	217	138 <sup>5</sup>	9	6.7
Germany	330	241 <sup>5</sup>	15 <sup>6</sup>	6.4
USA	2,332	1,557 <sup>5</sup>	61	3.9
Russia	671	418	13	3.1

Source: 1 BP Statistical Review of World Energy 2004, June 2005; 2 For year 2002, except for France; 3 Calculated by the authors on the basis of IEA World Energy Statistics 2004, except for France; 4 Figures 2004, from Ministère de l'Industrie, except for primary energy, from BP Statistical Review of World Energy 2004, June 2005; 5 IEA World Energy Statistics 2004; 6 Calculated on the basis of IEA, Energy Policies of IEA Countries, 2004 Review, and AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland, 1990 bis 2003.

There are an additional 27 reactors listed as “under construction” by the International Atomic Energy Agency (IAEA). However, eleven building sites have been listed there for between 18 to 30 years. The record holder is the Bushehr-1 plant, one of two units originally to be supplied by the German reactor builder Siemens and now to be completed by the Russian industry. 15 of the remaining 17 reactors are being built in Asia, half of them in India, one in Finland and two in Bulgaria that just entered the statistics (again). The Indian expansion program is essentially limited to small domestic type reactors under 500 MW each. Only two units under construction, to be supplied by Russia, reach 1,000 MW each. The operating performance of the Indian nuclear program is extremely poor by international standards. While the attempts to re-launch the international nuclear cooperation, in particular with the US and France, remain highly controversial, there is little prospect that nuclear power will provide significantly more than the current 2 percent of its electricity any time in the near future.

### Chinese fantasies

There have been many newspaper stories about fabulous plans by the Chinese nuclear industry. Reality looks a bit different. In 1985 China ordered its first foreign reactors, provided by a British-French General Electric Company (GEC) led consortium with participation of Electricité de France (EDF). Asked at the time during a press conference if EDF was not losing its shirt in the deal, EDF's President stated: “Not the shirt, but the cuff-links”. And the Director General added: “...and golden ones”. The consortium lost a never revealed large sum of money in the deal but it was considered justified because it was seen as the door opener to a vast nuclear market. The Chinese had announced “plans” for 20,000 MW to be built until year 2000. At the turn of the century, one tenth of that plan had materialized. In the mean time, in 1996, it was announced that the 20,000 MW would be achieved by 2010. Ten years later, as of March 2006, there are 7,000 MW installed that provide, like in India, about two percent of the country's electricity. Together with another 3,000 MW that are currently under construction, the country will have a maximum of 10,000 MW installed by 2010, half of the “plan”. The Chinese go for technology shopping. Besides the two British-French units they ordered two Franco-French, two Canadian and two Russian plants. The latest international call for tender is expected to favour US Westinghouse technology – subject to a political embargo, US companies were not allowed to provide nuclear equipment to China until 2004 – over the Franco-German so-called Generation III European Pressurized Water Reactor (EPR). The Toshiba owned US Company<sup>5</sup> is willing to sell the blueprint of its AP1000 Generation III design, while AREVA, the French lead consortium, has not agreed to transfer EPR technology and equip a potential future competitor. In the meantime the first two 600 MW units developed by the Chinese industry were connected to the grid.

As to figures of up to 40,000 MW to be installed in China by 2020, they are nothing more but wild speculation with little industrial credibility. Lead times for nuclear plants, the time from final investment decision to grid connection are about 10 years. This is rather a minimum, considering the extreme delays in many of the nuclear programs around the world, not only in Eastern Europe and South America. The last unit to be built in the US, Watts Bar, had been under construction for over 23 years before it was finally connected to the grid in 1996. In fact the entire currently operating US reactor fleet has been ordered between 1963 and 1973. Even in France, because of massive technical problems, it took nine years from

5 Toshiba acquired Westinghouse from the UK Company BNFL in February 2006 for US \$5.4 billion but the deal needs to get approval yet by the US Committee on Foreign Investments. Many analysts consider that Toshiba has overpaid for Westinghouse. BNFL had bought the company in 1999 for US \$1 billion.

construction start before the last two units of the programme, Civaux-1 and -2, produced any electricity and respectively 13 and 11 years before they finally entered into commercial operation.

### French fears about competence loss

France has decided in principle to build a 1,600 MW EPR at its Flamanville site that already hosts two 1,300 MW reactors. However, as of March 2006, the reactor order is not officially placed yet. The main reason for the project is the fear of a huge competence gap. It is 15 years ago that the French nuclear industry launched its last reactor construction in the country. Interest in nuclear related technical and higher education options are decreasing. The effect is not as dramatic as in a country like Germany, where in five years only two students took a full nuclear option, but it is there. Maintaining competence has become a very major issue. Only a very small number of people that have participated in the building of the first generation of units, starting in 1971, will be there when and if they were to be replaced beginning around 2020. The Flamanville EPR, even if not needed in terms of generating capacity, is seen as a tool to boost motivation. "One cannot attract young people into a technology without a project and one would have to do without a transfer of competence and experience".<sup>6</sup> Whether this strategy will work remains to be seen. EDF does not maintain national statistics of candidatures, but states that "like many other companies, EDF notes a relative disaffection of young people for technical professions, which is even more sensitive in the case of the appeal for candidatures in apprenticeships."<sup>7</sup> There are fewer students and higher education in a nuclear option is still no guarantee that young people will feel attracted by the technology. Over the last years a significant portion of the graduates that chose nuclear engineering at the Ecole des Mines in Nantes<sup>8</sup> either did not even start working in the area or quit the nuclear sector within the first year. Of the remaining nine students that will get their diploma in 2006 in the option Nuclear Technology, Safety and Environment, at least three wish to join the medical sector rather than the nuclear industry.

France has pushed nuclear power, a typical base load technology, far into the middle load, and has not set up any effective corrective mechanism. The overcapacity in the country has been structural for many years. An installed capacity of 116,000 MW, of which 63,000 MW nuclear, has to be compared with a historic peak load of 86,000 MW. Even with a comfortable reserve capacity, the available additional capacity remains significant. France is the only country in the world that actually shut down reactors over the weekend because nobody would buy the power, not even at dumping prices. No wonder that France exports vast amounts of electricity, some 91TWh in 2005 (equivalent to the output of about 12 nuclear power plants). However, France also imports increasing amounts of electricity, over 32TWh in 2005, because it has managed to push peak load in disproportion, mainly through the equipment of a quarter of French housing with electrical space heating. Peak load power is, of course, a lot more expensive than nuclear powered base load. The French system is imbalanced; it needs more peak load generating capacity and has an overcapacity of base load capacity. Therefore mothballed old coal fired power stations are being reactivated and gas turbines are being built. In addition, the EU renewable energy targets put France under pressure to finally get serious about its commitments.

### The Finnish case

Finland is building the only new reactor in the EU, the first one to be ordered outside France, since the 1980s. The case is truly unique. Finland has had by far the highest electricity consumption growth rate in the EU, mainly due to pricing policy and the large-scale introduction of space heating. About 30 percent of the dwellings in Finland are heated by electricity. The country doubled per capita consumption over the last twenty years to reach a level of over 15,000kWh per year, which is two and a half times EU average and even 20 percent higher than the US. If Finland had contained consumption to the level of Germany, still slightly higher than EU average, it would save about three times the amount of electricity that the EPR under construction is expected to generate or about twice the current production of the existing four nuclear power plants. In 2005 Finland imported 18TWh of power<sup>9</sup>, including from Russia, where four Chernobyl-type RBMK-1000 reactors (Leningrad-1 to -4) at Soznovy-Bor, close to St. Petersburg, operate in particular for export.

The EPR, future third unit of the Olkiluoto plant, should replace some of the electricity imports from Russia. The project has been put together in a quite unusual manner. Rather than one utility ordering the facility, about 60 future clients, municipalities and utilities became shareholders of the project. The AREVA-Siemens consortium granted a fixed price of €3 billion.

6 Joël Dogué, Director of the Flamanville-3 EPR project, EDF, EPR Public Debate, « Tête de série » Bordeaux, 5 January 2006.

7 EDF, written response to a question by Mycle Schneider, transmitted by CPDP, letter dated 2 March 06.

8 Mycle Schneider is lecturing at the Ecole des Mines de Nantes.

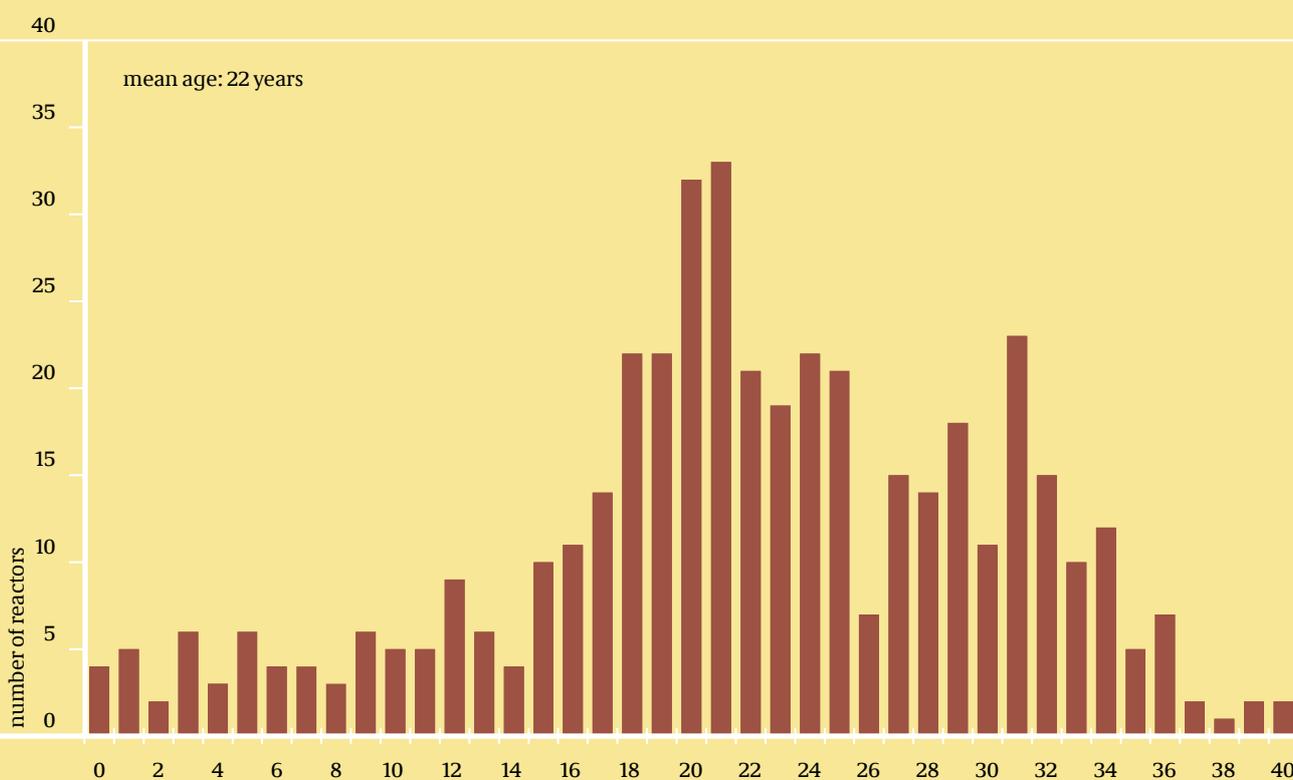
9 Net imports, which covered 20 percent of the consumption, were particularly high in 2005 because of a large seven week long labour dispute in the paper industry that led to a sharp drop of power generation in the sector.

The German public bank Bayerische Landesbank<sup>10</sup>, provided a syndicated loan to the Finnish lead utility TVO of €1.95 billion, over 60 percent of the contract value, at a particularly preferential interest rate of 2.6 percent. The French public COFACE export credit agency covered an additional €720 million loan. In December 2004 the European Renewable Energy Federation filed a complaint before the EU Commission for “possible infraction of EU State aid, export credit, procurement, safety and other regulations”.<sup>11</sup> Less than a year after the construction start, the project is already nine months behind schedule. Soaring world steel prices put an additional question mark on the profitability of the project.

### Rapid aging

In the absence of any significant new build, the nuclear power plants are aging rapidly. The current average age of operating units is roughly 22 years (see figure 3). Currently there are only two small operating units that have operated for 41 years. In fact the seven units that have reached 38+ years have an average size of 200 MW, not comparable with the bulk of the large operating units that have 900 MW or more. The average age of 109 shut-down nuclear reactors<sup>12</sup> is about 21 years and the experience with long operating times is very limited.

Figure 3: Age of the reactors in operation in the world as of January 2006



Source: IAEA-PRIS

Only 17 units, half of them small military plutonium production reactors have operated beyond 30 years. However, the international nuclear industry is currently planning on reactor lifetimes of 40 years and sometimes up to 60 years. Even 40 years on average seems highly optimistic considering the lack of industrial experience with long lifetimes. The current age structure of the operating reactors (see figure 4) shows that about 80 units will reach age 40 or over<sup>13</sup> until 2015 and an additional 200 reactors will operate for four decades or more by 2025. Even if it was possible to practically double current operating age of all reactors, their replacement at age 40 would mean a need to connect a unit to the grid every month and a half until 2015 and one every 18 days between 2015 and 2025. Considering the long lead times of nuclear power plants of

10 The Bavarian State, seat of Siemens, holds 50 percent of the Bayerische Landesbank and the Sparkassenverband, controlled by local authorities, holds the other 50 percent.

11 EREF, Press Statement, 13 December 2004.

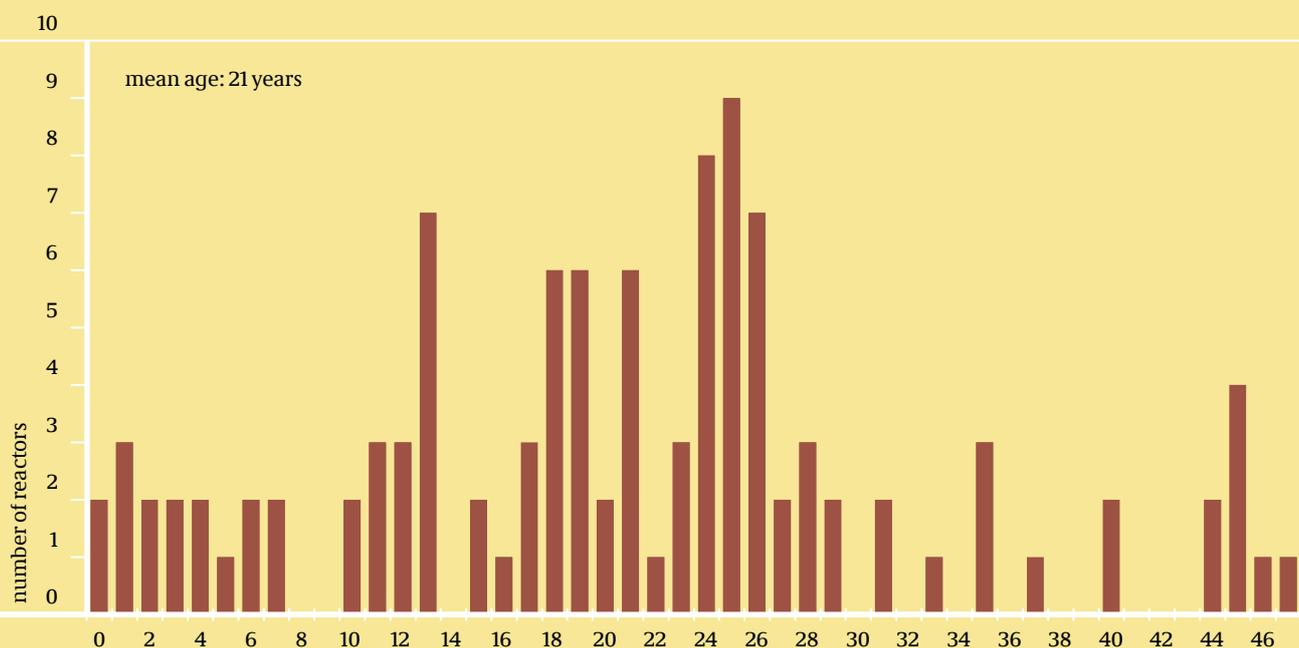
12 Not taking into account 8 small units of less than 100 MW.

13 The German plants are calculated with an average maximum age of 32 years, as stipulated by the German phase out law, which has not been put into question by the new grand coalition government. (for details see Mycle Schneider, Antony Froggatt, The World Nuclear Industry Status Report 2004, [www.greens-efa.org/webloc](http://www.greens-efa.org/webloc)).

at least ten years, such a scheme is impossible. In other words, either the average age of currently operating plants must be significantly extended beyond 40 years – this is highly unlikely given the industrial experience so far and would lead to a whole range of specific new problems related to aging materials and therefore to safety – or the number of operating units will decline. The editors expect the latter, a slow but steady decline, where new units don't make up for the ones that are shut down. This is also the result of the analysis provided by the 2005 edition of the World Energy Outlook of the OECD's International Energy Agency:

*“The share of nuclear power in global primary energy demand will decline over the projection period [2030]. Few new reactors are expected to be built and several will be retired. Nuclear power will struggle to compete with other technologies and many countries have restrictions on new construction or policies to phase out nuclear power. As a result, nuclear production is projected to peak around 2015 and then decline gradually. Its share of world primary demand will remain flat, at about 6 percent, through 2010 and then fall to less than 5 percent by 2030.”*

Figure 4: Age of the shutdown reactors in the world as of 1 January 2006



Source: IAEA-PRIS

### Nuclear power's economics and climate change

Amory B. Lovins, CEO of Rocky Mountain Institute and long time energy analyst, has looked at nuclear energy's competitors and concludes that the strongest growth patterns are with small scale non- and low carbon technologies that have already outpaced nuclear energy<sup>14</sup>:

*“These data shows that micropower has already eclipsed nuclear power in the global marketplace. About 65 percent of micropower's capacity and 77 of its output in 2004 was fossil-fuelled CHP, which was about two-thirds gas-fired, and emitted 30 to 80 percent less carbon (averaging at least 50 percent) than as the separate power plants and boilers or furnaces it replaced. The rest of the micropower was diverse renewables, whose operation, like nuclear power's (neglecting enrichment), releases no fossil-fuel carbon. (...) Worldwide, these low- and no-carbon decentralised generators surpassed nuclear power's total installed capacity in 2002 and its annual output in 2005. In 2004 they added 5.9 times as much net capacity and 2.9 times as much annual output as nuclear power”. (Lovins 2005)*

According to Lovins, nuclear energy remains the most expensive option to supply or save a specific amount of energy. Even with a US\$100/t carbon tax it needs subsidies to make nuclear power competitive with coal, combined cycle gas plants or

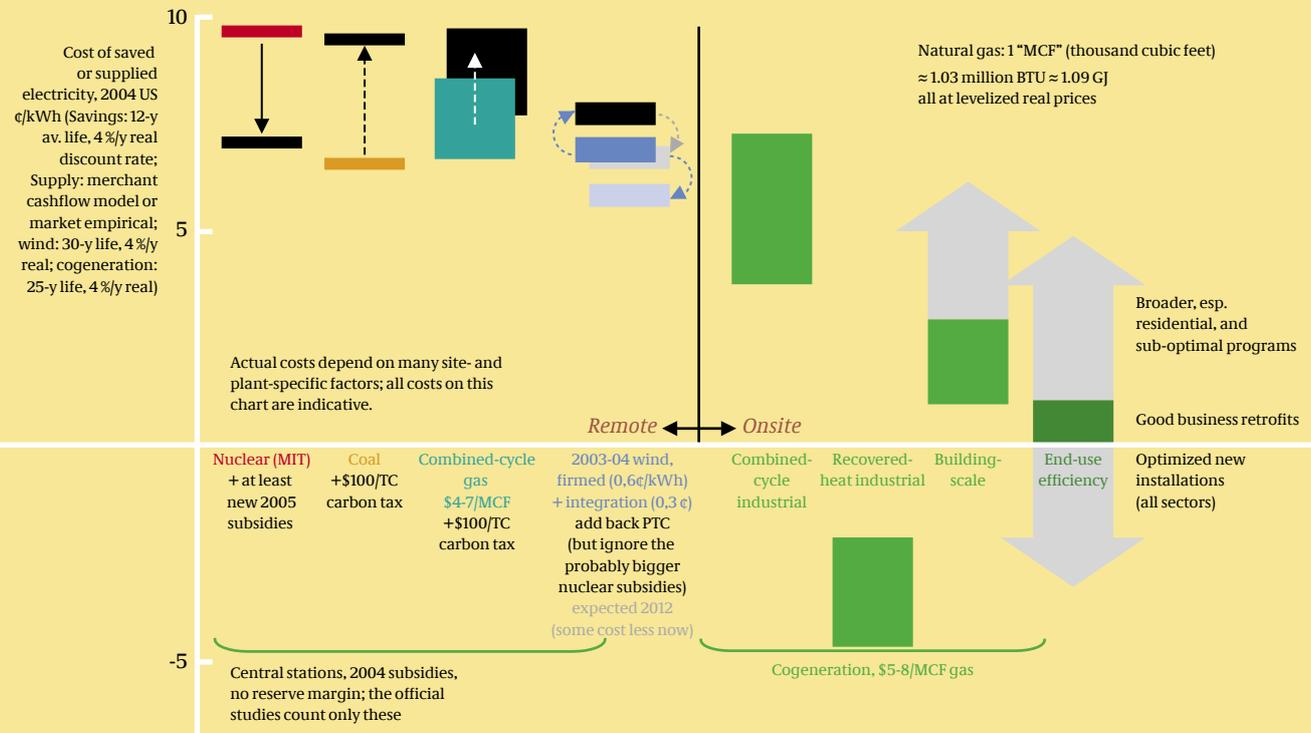
14 Lovins takes hydro into account only up to 10 MW.

even wind turbines. In any case, energy savings and small-scale non- and low carbon options as well as conservation measures turn out much less costly than nuclear power (see figure 5).

Figure 5: Comparative cost estimates coal, gas, nuclear, CHP, conservation

Nuclear power's fatal competitors

Levelized cost of *delivered* electricity or end-use efficiency (zero distributed benefits)  
 (at 2.75 ¢/kW 1996 embedded IOU average delivery cost, including grid losses, for remote sources)



Source: Lovins 2005

Another recent comparative delivered electricity cost estimate carried out by the World Alliance for Decentralized Energy (WADE) clearly identifies nuclear power as the most expensive option (see figure 6).

The Lovins and WADE assessments are in line with the literature study carried out by one of the authors:

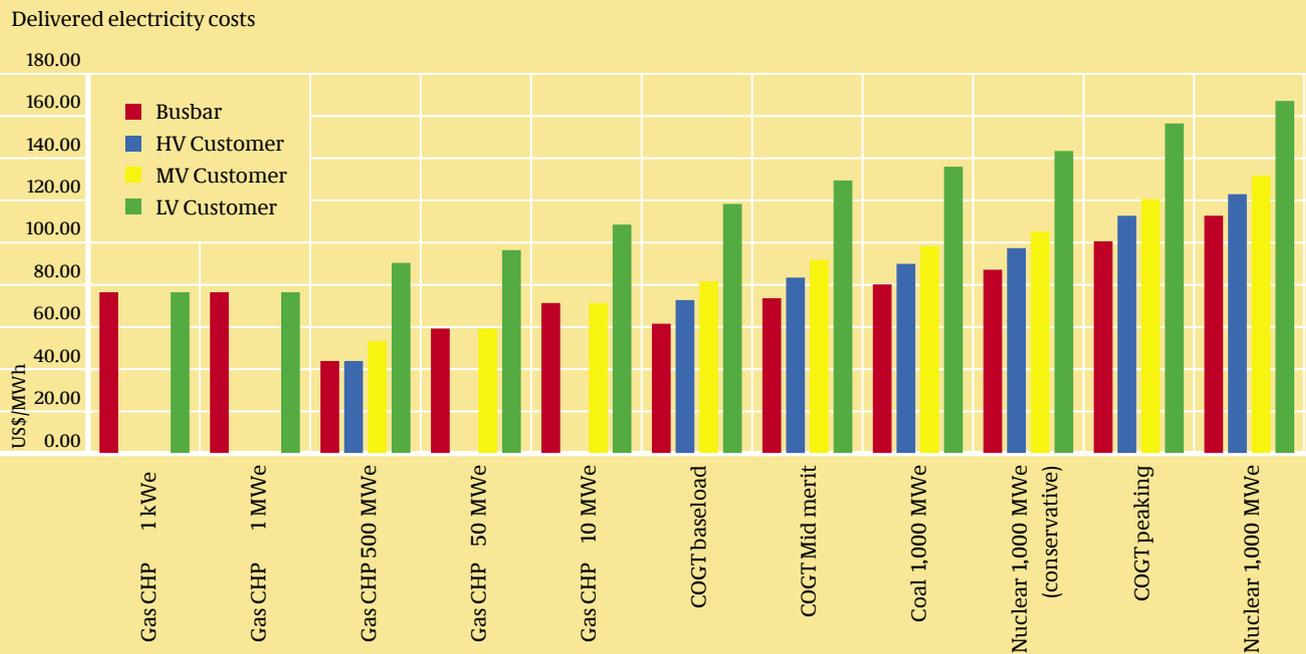
*“Amongst the forecasts examined in this report, the typical construction cost projected is about £1100/kW. The one forecast that appears to be based on an actual contract cost, the Lappeenranta study, uses a significantly higher construction cost forecast. It should be noted that the Olkiluoto bid, which is the basis for the Lappeenranta study, is often seen as being below the economic price. Another area where large improvements in performance are expected is in the non-fuel O&M costs, where forecasts are often only about 40 per cent of current UK costs and about 70 per cent of current US costs. Operating performance forecasts typically suggest load factors of 90 per cent, far above the level achieved in Britain so far and in line with the performance achieved by only the most reliable plants worldwide.*

*However, the most difficult and important assumption, is arguably on the cost of capital. In some cases, such as the RAE and the IEA/NEA forecasts, the assumptions chosen would only be credible if the owners of the plant were allowed full cost recovery. The US forecasts use more sophisticated methods of determining the cost of capital, but given the lack of progress in most of the USA with introducing competition into electricity, it is not clear that these studies fully reflect the impact of opening electricity generation to competition. Unless there was a return to a monopoly electricity industry structure, a measure that in current circumstances seems almost inconceivable, this would mean the owners would effectively being subsidised by taxpayers (if there was government underwriting) or electricity consumers (if a consumer subsidy was re-introduced).*

*It is questionable whether such arrangements would be politically viable or whether they would be acceptable under European Union law which proscribes (except in a specific cases) state aids. If the owner of the plant is going to be required to bear significant economic risk, a real discount of at least 15 per cent, as used by the PIU, is likely to be imposed and even*

with very optimistic assumptions of construction and O&M costs (e.g., the PIU or Chicago University forecasts) this would result in generation costs probably in excess of about 4p/kWh” (Thomas 2005).

Figure 6: Comparative cost estimates gas, coal, nuclear

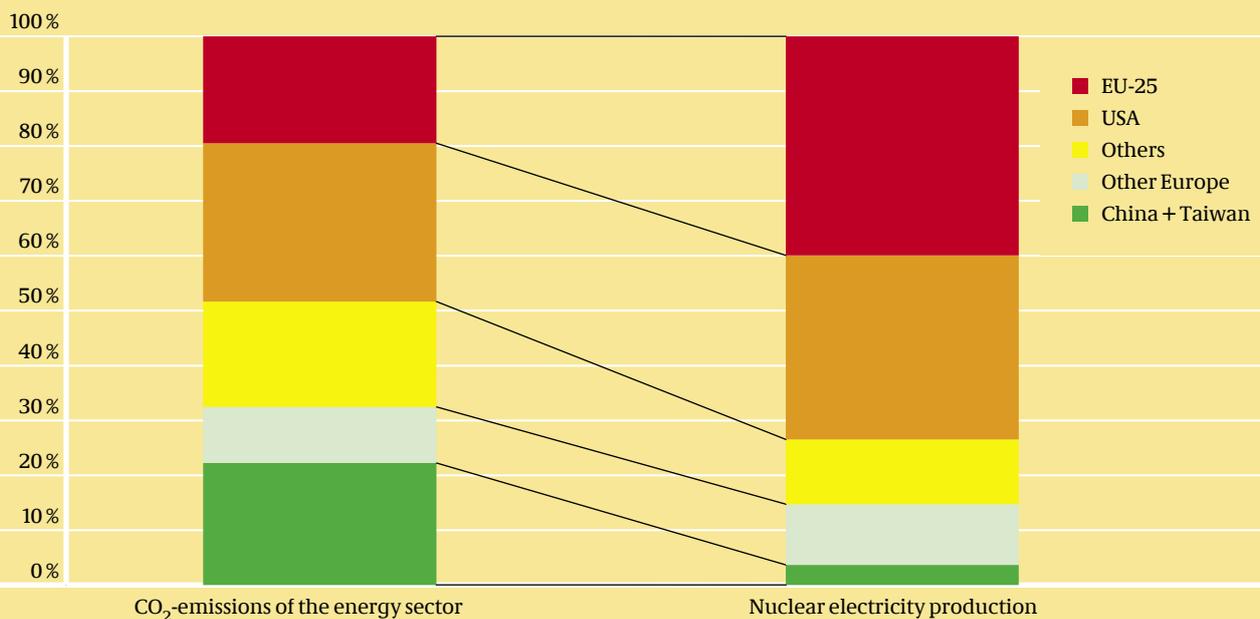


Source: WADE 2005

The question of economic performance per delivered energy service is fundamental in the debate about options to greenhouse gas abatement. However, other systemic parameters are also of major concern. It is striking that the economies that are the largest greenhouse gas emitters are at the same time the largest producers of nuclear electricity (see figure 7).

Figure 7: CO<sub>2</sub>-emitters and nuclear power producers

Share of world nuclear electricity generation (2004) versus CO<sub>2</sub>-emissions in the energy sector (2004)



Source: IAEA 2005; DIW 2005

Even France that has been the exception to the rule is now back on track: CO<sub>2</sub>-emissions have continued to rise over the last years. The main reason lies within the systemic dynamic. Nuclear power is provided by large production units. The larger the unit, the larger the capital investment and the financial risks. At the same time the investing utility loses flexibility compared to smaller scale decentralised units that can be built in two years and less. Investment into a large power generation source means a long term bet on electricity demand development. Investments into large units tend to lead to overcapacity. A situation that currently prevails in the EU and in most industrialised countries. Current “forecasting” by utilities and their lobby organisation that “predict” imminent lack of generating capacity are reminiscent of the 1970s when high forecasts led to the current huge structural overcapacities. As if there was no option to influence future demand... In that sense, one can argue that nuclear power actually hinders effective greenhouse gas abatement through large-scale investment into energy conservation and efficiency programs.

The UK Government’s Sustainable Development Commission recently issued its report on nuclear energy and came up with the following conclusion:

*“The majority of members of the Commission believe that, given sufficient drive and support, a nonnuclear strategy could and should be sufficient to deliver all the carbon savings we shall need up to 2050 and beyond, and to ensure secure access to reliable sources of energy.*

*The relatively small contribution that a new nuclear power programme would make to addressing these challenges (even if we were to double our existing nuclear capacity, this would give an 8 percent cut on total emissions from 1990 levels by 2035, and would contribute next to nothing before 2020) simply doesn’t justify the substantial disbenefits and costs that would be entailed in such a programme.”<sup>15</sup>*

Nuclear power’s contribution to greenhouse gas abatement is modest for existing plants and would remain less efficient, non-sustainable, more expensive and less accepted than alternative options.

### Public opinion

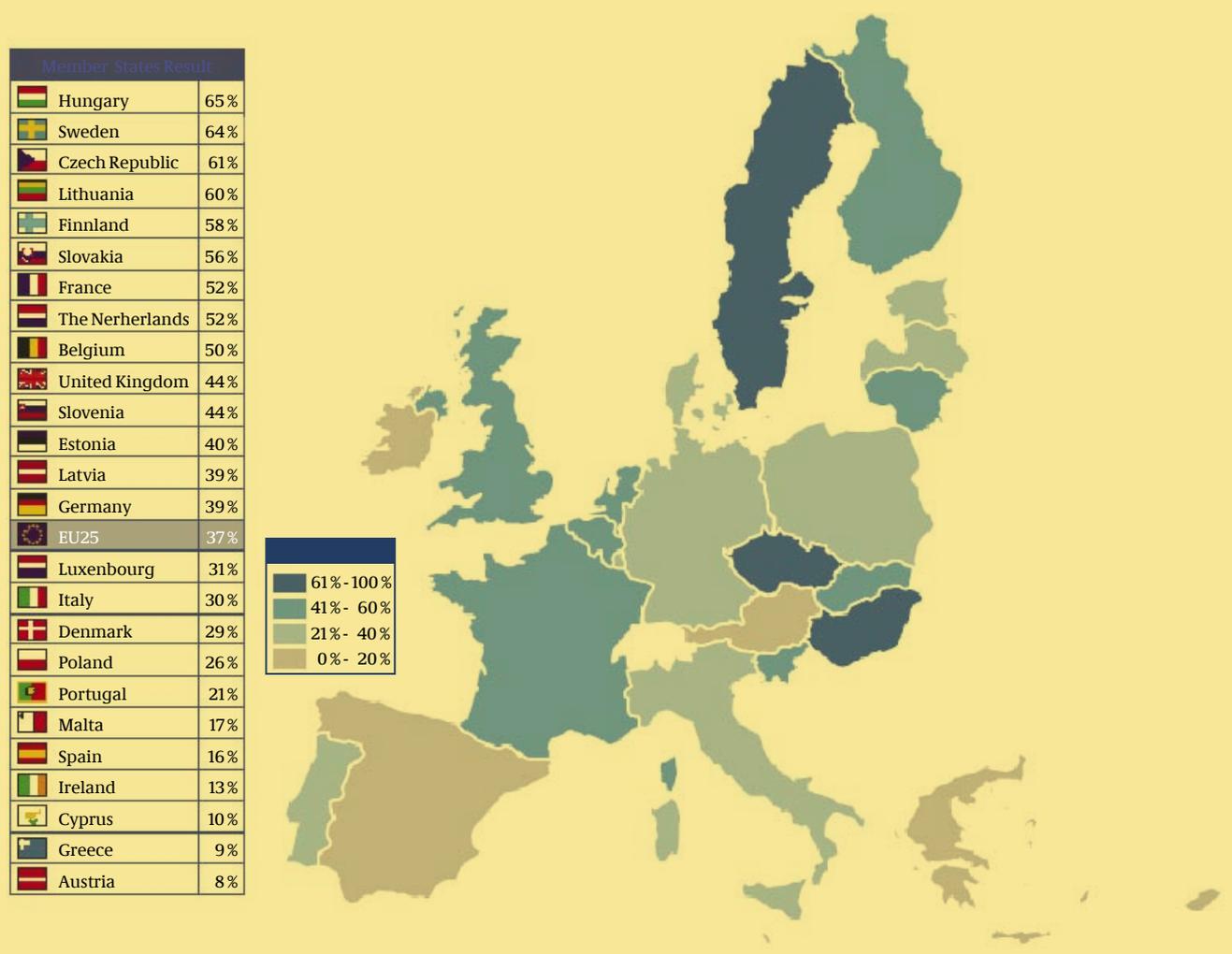
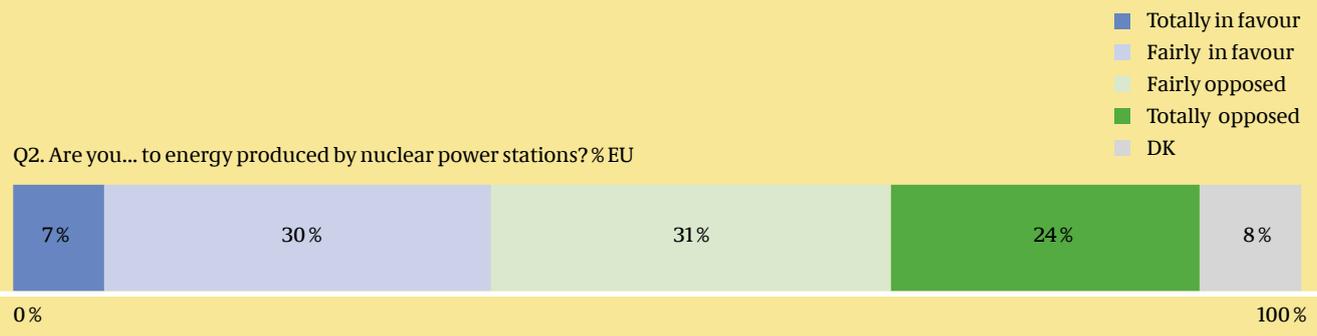
The public attitude to nuclear energy has had a major influence on nuclear power programs in most of the nuclear countries and, in some cases, has prevented utilities to go nuclear or to phase out nuclear power. Public opposition banned nuclear power in Denmark and Ireland, prevented an already built unit from starting up in Austria, led to a short-term phase out in Italy and to long-term phase out in Belgium, Germany and Sweden. According to opinion polls acceptance has grown in some countries like Finland, Sweden and US. However, the vast majority rejects nuclear power. More so, there is only a very small minority – 7 percent in the EU-25, according to the latest poll carried out on behalf of the European Commission (Eurobarometer 2006) – that is “totally in favour” of nuclear power. Opinions vary widely amongst countries. It is remarkable that the highest acceptance seems to be in the Nordic and Eastern European nuclear countries, while the lowest is in the non-nuclear and Southern countries. Spain is a noteworthy exception in that it has an operating nuclear power program with a very low acceptance. The current government’s programme to embark on a phase out strategy seems to be based on broad public support.

The results of the European Commission poll support the idea that people reject nuclear power once they get the impression that there is actually a choice. Whenever asked what would be the preferred technological option, people tend to answer “renewable energy”. The International Atomic Energy Agency (IAEA) recently published the results of an 18-country opinion survey that made an appropriate distinction between existing nuclear power plants and units to be built (see GlobalScan Inc. 2005). While 62 percent favour the use of existing units, 59 percent were against the building of new plants and 25 percent say that nuclear power is dangerous and all existing plants should be shut down. It is remarkable how similar the results of the survey are for countries like France and Germany despite them pursuing radically different nuclear policies: 25 percent and 22 percent respectively support new build, while 50 percent and 47 percent support existing but oppose new build. Only the opposition to all operating units is more pronounced, while 16 percent of the French are in favour of shutting down operating plants, the figure reaches 26 percent in the German case.

### Conclusion

Nuclear power plays a modest role in the international energy situation and does not provide more than 2-3 percent of final energy on the planet. Even in France, the most nuclear country, this technology does not cover more than 17.5 percent of the final energy consumption. The present survey of nuclear power programs in the world indicates that, in sharp contradiction to numerous reports, the number of nuclear power plants in the world is very likely to decline rather than to in-

Figure 8: Public opinion on nuclear power in the EU-25



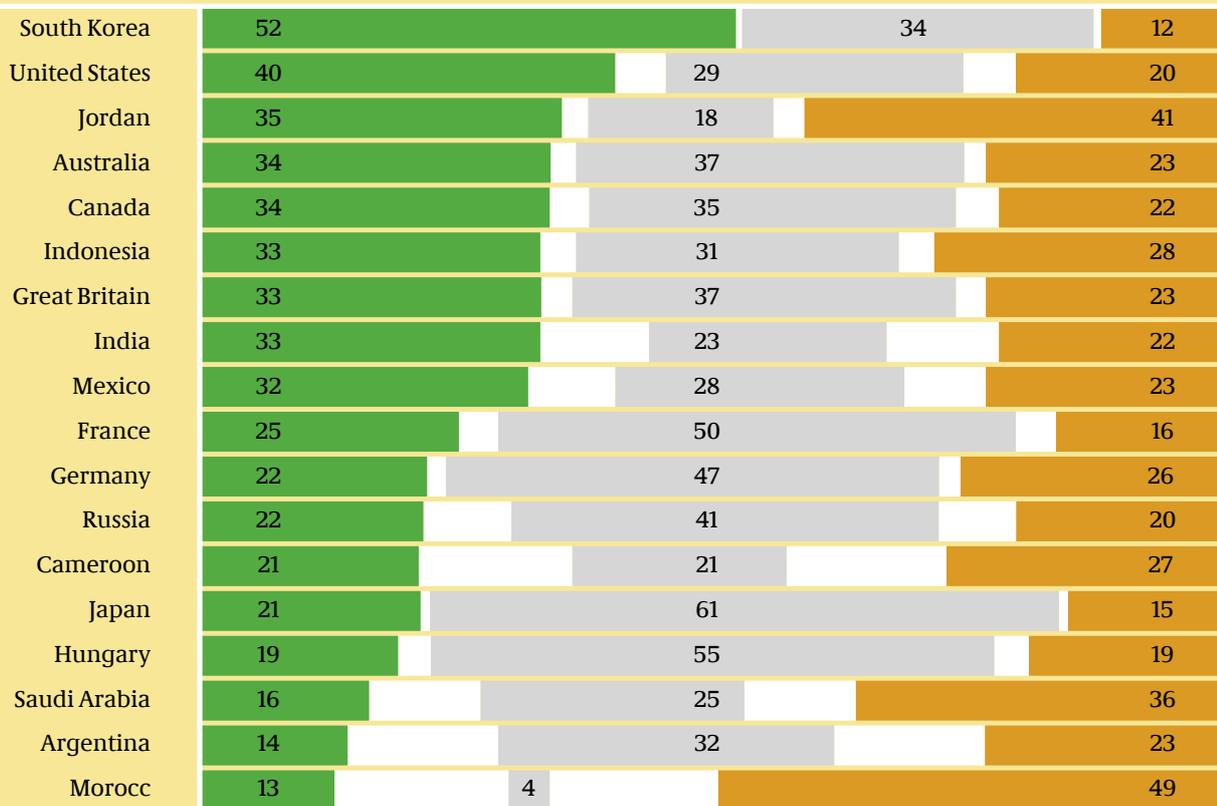
Source: Eurobarometer 2006

crease unless the average lifetime of the facilities would be extended on average far beyond 40 years, the double of the current average age. It is obvious that such a major increase in operating lifetimes, far beyond past industrial experience, would entail a number of specific, in particular safety related problems. The decline of nuclear power will not be prevented even if some major plans, like up to highly unlikely 30,000 MW of additional capacity in China, became reality. Nuclear power remains expensive and has to face increasing competition from decentralised small-scale electricity generating sources including combined heat and power and renewables. If high capital expenditure, supported by State subsidies, into nuclear energy lead to a remake of large structural overcapacities with its inherent energy wasting and prevent societies from investing into energy conservation and efficiency, the nuclear path might actually constitute a significant barrier to the implementation of necessary and urgent greenhouse gas abatement strategies.

Figure 9: Public support for existing and to-be-built nuclear power plants

- Nuclear is safe; build more plants
- Use what's there; don't build new
- Nuclear is dangerous; close all plants

The white space in this chart represents "DK/NA" and "None of the above/other."



Source: Global Scan Inc. 2005

## References

- BP (2005): Statistical Review of World Energy 2005.
- DIW (2005): Weltweite CO<sub>2</sub>-Emissionen auf neuem Höchststand (Ziesing, H.-J.). In: DIW Wochenbericht 39/2005; 561-575.
- Eurobarometer (2006): Radioactive waste, commissioned by DG TREN, European Commission, September 2006.
- GlobeScan Incorporated (2005): Global public opinion on nuclear issues and the IAEA – Final Report from 18 Countries, prepared for the International Atomic Energy Agency (IAEA), October 2005.
- IAEA-PRIS (2006): International Atomic Energy Agency, PRIS Database.
- Lovins, A. B. (2005): Mighty mice. In: Nuclear Engineering International, December 2005.
- WADE (World Alliance for Decentralized Energy)(2005): Projected costs of generating electricity, August 2005.
- Thomas, S. (2005): The economics of nuclear power: analysis of recent studies. PSIRU, July 2005.

## History of nuclear power in Brazil

**Prof. Luiz Pinguelli Rosa**

**Graduate School of Engineering (COPPE), Rio de Janeiro Federal University (UFRJ)<sup>1</sup>**

### Abstract

The 1973 energy crisis prompted the United States to suspend supplies of enriched uranium to the reactor being built in Brazil, Angra I. In 1975, the Brazil-Germany Nuclear Agreement was announced. The Programme was a failure. Today the Angra II nuclear reactor has been completed, the only reactor completed under the agreement with Germany.

Brazil's last military President implemented the Parallel Nuclear Programme, which included uranium enrichment with the justification of developing the technology that had not been transferred through the Nuclear Agreement with Germany.

In 1986, the existence of a deep shaft drilled by the Air Force was revealed. A Technical Report concluded that it had all the characteristics and dimensions required to test a nuclear bomb. Some years later, the Civilian Government acknowledged the existence of an underground nuclear explosion facility and symbolically sealed this shaft.

The situation in Brazil has improved recently. Brazil ratified the Treaty of Tlatelolco on the denuclearisation of Latin America and established ABACC, an agency handling mutual inspections of nuclear facilities in Brazil and Argentina. Brazil also signed the Nuclear Weapons Non-Proliferation Treaty.

The uranium enrichment activities are being transferred to a civilian industry. More importantly, I do not believe that the uranium enrichment project is intended to endow Brazil with the capacity to produce nuclear weapons.

### Roots of the Brazil's nuclear programme

As rising electricity demands in Centre-South Brazil during the 1970s hinted at a hydro-power shortage looming by 1990, nuclear power was presented in its military government planning as a solution compatible not only with Brazil's economic model but also its status as an emerging economy. This aspiration to develop into a regional power was an ideological component of important sectors underpinning its system.

Among the military, a type of nationalism still persisted, although stripped of grassroots influences that might have been viewed as leftist. Lacking solid domestic foundations, this type of nationalism was unable to attain its objectives, even when merely technological. There is no doubt that the actions of these sectors were essential for drawing up Brazil's Nuclear Agreement with Germany. Another significant factor was the lead held by Argentina over Brazil in the nuclear field, shaping the geopolitical concerns of its military government.

The so-called 1973 energy crisis – which was in fact an oil crisis – prompted the United States to suspend guaranteed supplies of enriched uranium to the Westinghouse reactor being built in Brazil, called Angra I. This increased the vulnerability of the line of light water reactors adopted by the Brazilian Government. By 1974, some scientists were already complaining about Brazil's nuclear policy, as the political climate began to ease.

In August 1973, the Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN) nuclear technology enterprise published a report on Reactor Line Strategies in the Global Context, which openly favoured maintaining the enriched uranium line of reactors. In 1974, the National Nuclear Energy Commission (CNEN) studied alternative approaches for drawing up Brazil's nuclear planning guidelines, once again stressing the importance of meeting demands for fissile material.

### The agreement with Germany

In 1975, the Brazil-Germany Nuclear Agreement was announced, through which the enriched uranium reactor line was adopted definitively. This Agreement underpinned plans to step up the nuclear contribution to power generation, establishing a nuclear industry in Brazil. In order to solve the fuel problem, Brazil entered into an association with Germany that was intended to develop the jet centrifuge enrichment process. Eight reactors – each with a capacity of 1.300 MW – were to have been built over fifteen years, in addition to establishing nuclear engineering companies, factories producing heavy equipment for reactors, enrichment plants, and nuclear fuels reprocessing facilities, at a cost initially estimated at US\$ 10 billion.

---

1 This paper is a revised version of an article published in *Energy & Environment* 17(3): 485-496.

The impact of this Agreement triggered a broad range of reactions. At the domestic level, even some Opposition sectors tended to view this step as a political affirmation of independence from the USA. The Brazilian Physics Society (SBF) was the first to adopt a more discerning stance.

The initial criticisms focused on the technical and economic feasibility of the efficient implementation of this Agreement, together with the enrichment process purchased from Germany, which was still unproven. But discussions soon expanded and began to question even the basic need to opt for nuclear power on a large scale in Brazil, while also impugning the technocratic closed-door decision process that led to this Agreement.

Presented as justifications for Brazil's nuclear program, the assumptions underlying the Government's energy policy were challenged, starting with the extremely high electricity demand growth rate and the alleged lack of economically feasible hydropower resources in Centre-South Brazil.

Initially, explicit opposition to this Nuclear Agreement was limited to the scientific community, particularly among physicists, who had historically established a position on nuclear power but were neither asked for their opinions nor invited to participate in this Programme in any way. Obviously, some physicists were already working under the aegis of the National Nuclear Energy Commission (CNEN) and its related institutes, but they were fenced in by an authoritarian system that cordoned off everything related to nuclear power.

To a certain extent, this Agreement was a diplomatic feat that was handled skilfully, grounded on the convergent interests of the countries involved: Germany was eager to expand its industrial presence in Brazil, whose military government was equally determined to increase its power through its policy of making the nation into an important regional power. This convergence of interests was strengthened by the weakened position of the USA among the industrialised nations, as global bipolarisation faded with the end of the Cold War, making way for the multi-polarised capitalist system of the West, with European interests growing stronger in relative terms (mainly in Germany) and also in Japan. This situation is quite different from today's context, with the unchallenged global hegemony of the USA after the collapse of the former Soviet Union during the late 1980s and early 1990s.

In the nuclear power field, the Carter Administration in the USA was firmly against nuclear proliferation, and opposed the transfer of this much-desired technology to Brazil, particularly the nuclear fuel cycle. To some extent, this position appears in the Nuclear Agreement White Paper issued by the Brazilian Government.

### **Opposition to the agreement and problems of implementation**

Although called upon to support this enterprise and despite a progressive local content expansion programme, Brazilian industrialists did not feel that they received sufficient consideration. An example: the turbo-generator supply contract was awarded to the Germans, although representing 30 per cent of the value of the nuclear power plant.

Rarely had a decision taken by Brazil's military government faced such strong and overt opposition from segments whose interests were very different and even contradictory, but that gathered together to challenge the megalomania of Brazil's nuclear project. The opposition to this Nuclear Agreement may well be among the first steps clearly taken by civil society against constraints imposed on freedom of opinion. With its authoritarian approach already nearing saturation, the military regime was starting to loosen its iron grip through a slow and gradual process that was to drag on for ten more years, until the *Diretas Já* grassroots campaign calling for direct elections led to an indirect ballot that in 1985 elected Brazil's first civilian President in more than two decades.

Viewed from this standpoint, opposition to the Nuclear Agreement was almost symbolic, extending beyond the boundaries of the nuclear issue, at a time of repression and censorship that trampled heedlessly over political rights. A surprising amount of space was devoted to this discussion by the Press, compared to other issues that might have been even more important for public opinion, but which were dealt with more discreetly under the sharp eye of the Censors, or the owners of newspapers and broadcasting stations. The gap between the positions of the USA and Germany was perhaps an important factor for spotlighting the nuclear issue, with widespread repercussions in the media. But the most important aspect is that this situation opened up a crucial area in the struggle for democracy, spotlighting a glaring mistake that Brazil's authoritarian government was unable to hide.

Soldiers joke that when a General inspects the barracks, little messes are tucked away and big messes are painted green or white. But the work required for the nuclear reactors and the nuclear equipment plants, still lying idle, was too large to tuck away, and there was no point in painting them green, white or any other colour in fruitless attempts at concealment.

What is usually called the Brazil-Germany Nuclear Agreement (1975) effectively involved understandings between these two countries at three levels:

- 1 Government-to-government agreement and cooperation on the peaceful uses of nuclear power, approved by the Brazilian Congress (functioning precariously under the military regime).
- 2 Industrial agreement linking the Federal German Republic to Brazil's Ministry of Mines and Energy and Ministry of Research and Technology.
- 3 Contracts signed by Nuclebras (the state-run enterprise set up to implement this Agreement) and several German companies, headed by KWU (Siemens Group), in order to establish a series of enterprises through joint ventures that would transfer technologies and equipment to Brazil.

It is essential to distinguish among these three levels, as it was the third-level company contracts that actually underpinned this Agreement. These contracts were kept secret and beyond any control, even a posteriori. This was also the case with the Nuclear Agreement itself, which was discussed in the utmost secrecy, without consulting even the most competent sectors involved with this issue in Brazil, although it was published subsequently. However, the contracts signed by Nuclebras with the Germans remained confidential, at least to some extent. Some years later, the Press and a Parliamentary Commission of Inquiry set up by the Brazilian Senate discovered that some aspects had actually jeopardised national interests. For example, although Siemens/KWU was only a minority shareholder in Nuclen (one of the enterprises set up with Nuclebras), it retained technical control through a Board whose members were all German representatives, with a single Brazilian representative as an observer.

The areas of cooperation were:

- prospecting, mining and processing uranium ore and producing uranium compounds;
- producing nuclear reactors, other nuclear facilities and their components;
- enriching uranium;
- fabricating fuel rods;
- reprocessing spent fuel.

The fuel cycle was to be implemented concomitantly, setting up two uranium enrichment enterprises, one in Germany and the other in Brazil.

### **Solutions to the first oil crisis**

Lacking feasibility, this Programme was a complete failure. The reprocessing required to retrieve the remaining uranium and obtain plutonium was soon abandoned, due to pressure from the USA, as this was the raw material required to produce nuclear bombs. The jet centrifuge enrichment technology did not work properly, and was also dropped. Of the eight reactors scheduled for 1990, only the first reactor was completed under the agreement with Germany, called Angra II.

In order to understand this massive mistake, it is enlightening to explore the roots of the logic used by Brazil's military regime. The assumptions adopted by the Government when signing the Nuclear Agreement can be summarised on the basis of the White Paper published by the Brazilian Presidency in 1977.

- The intention was to ensure ample power supplies that would drive national development, stepping up the use of electricity as a substitute for oil, which had been made uneconomic by the OPEC embargo that triggered the first oil crisis in 1973.
- Conventional thermo-power generation (coal-fuelled) was also dismissed "for the same reasons that militate against oil", noting that Brazil's hydro-electric potential "was approaching saturation" and forecasting a vigorous "upsurge in electricity consumption"; nuclear power was presented as "the only truly feasible alternative", already playing an important role during the 1990s.

- Faced by the “undeniable and urgent need for nuclear power”, the light water or enriched uranium reactor line was selected due to its “better technical output and operating safety”. In addition, it had lower capital outlays and a longer track-record.
- In order to avoid “dependence on foreign oil”, it was necessary to seek autonomy in nuclear power, importing reactor and fuel cycle technologies as “Brazil may not be denied the right to enrich uranium within its territory”. Seeking support from countries endowed with nuclear technology, only Western Germany agreed to transfer the complete fuel cycle.

The most severe aspect of Brazil’s energy problems during the oil crises of the 1970s involved liquid fuels, due to the need for imported oils. The solution included:

- stepping up domestic oil production through the exploration efforts of Petrobras, resulting in offshore discoveries of deepwater oil and natural gas fields;
- substitution by other fuels, such as coal and biomass (alcohol, cane bagasse, fuel wood), proving quite feasible through the National Fuel Alcohol Programme (despite its social distortions), while wood pulp plants, brickworks and potteries opted for charcoal and cement plants burned coal;
- energy conservation helped curb consumption, although deployed to only a limited extent, except for a period of fuel rationing that curtailed automobile use;
- replacing oil by electricity during the power glut years of the late 1970s, leading to the Electrical Heat Production Programme that used electricity instead of fuel oil to produce heat in the industrial sector, although to a limited extent, due to the high investment costs required by power generation facilities.

However, the oil problem could not be solved through the “rising use of electricity” to the point of justifying the nuclear power option.

Another mistake was underestimating Brazil’s hydro-electric potential, as well as other energy sources. The reasons “militating against oil” did not affect the use of coal or biomass by thermo-power plants, which was possible in principle, provided that this proved economically feasible. Neither was Brazil’s hydro-electric potential approaching saturation, assessed by specialists at over 200 million kilowatts. What happened was that the Brazilian Government underestimated the nation’s hydro-electric potential at around 100 million kilowatts, in parallel to over-optimistic demand growth forecasts. This was extrapolated on the basis of a period with a particularly steep upsurge in growth, estimating the capacity required in 2000 at 175 million kilowatts – a forecast far higher than the real situation.

### **The first opposition to nuclear power**

The first landmark opposition to the Nuclear Agreement was the document issued by the Brazilian Physics Society (SBF) and approved at a meeting of the Brazilian Society for the Progress of Science (SBPC) held in Belo Horizonte in July 1975 that stated: “We express reservations over the fact that, in a country with more than 100.000 MW of hydro-power, it is necessary to opt for a nuclear solution on this scale.” This document also called for the nuclear sector to be opened up to democratic discussion: “As a condition for any of the points to be taken under consideration appropriately and for Brazilian scientists and technical experts to participate in this debate, it is vital to hold a full and free discussion of the terms of the Nuclear Agreement and its implications on the many different technological, economic, ecological and social aspects of Brazilian life.”

A Commission was then set up to study the feasibility of absorbing this technology, of which I was the Rapporteur. Its Report noted: “Based on a close association with foreign capital, this economic development model does not encourage the progress of Brazilian technology. Within this context, importing technology is almost always the most efficient way for achieving immediate solutions. For the local subsidiaries of foreign companies whose head offices constitute the origin of all the technology that they use, domestic contributions to the project are limited to adapting the technology to local conditions. Brazilian companies are also affected by the characteristics of our development process, which translates into technological dependence, not only in terms of production techniques but also consumption specifications drawn up on the basis of standards used for other countries. This is the context within which the Brazil-Germany Nuclear Agreement should be located.”

The Report that I wrote also notes: “We warn the Government about the following points, which warrant particular attention:

- Safety aspects of the reactors, particularly Pressurised Water Reactors (PWRs);
- Environmental risks offered by nuclear power plants;
- Problems related to radioactive wastes, extending through to future generations.”

It is important to note that the issue of the environmental impacts caused by the reactors became a crucial issue raised by environmental movements and non-governmental organisations such as the SAPE Environmental Protection Society in Angra dos Reis and Greenpeace International.

The Angra I nuclear complex encountered technical difficulties that were resolved only over significant periods of time, with the reactor being switched off more than once due to environmental lawsuits filed with the Courts. One of the problems with the Angra I nuclear power plant is the corrosion of the steam generator pipes, due to a mistake in the metal alloy used by Westinghouse. Work began on replacing the Angra I steam generators only in 2003, when I was the President of Eletrobras.

### **Military connections**

Brazil's last military President implemented the Parallel Nuclear Programme under the argument that it was necessary to develop the technology that had not been transferred satisfactorily through the Nuclear Agreement with Germany, particularly fuel cycle aspects. This legacy of Brazil's military regime was not discussed – and far less approved – by society and its representatives.

Designed to seek fuel cycle autonomy for Brazil, this Parallel Programme included uranium enrichment. As a result, the quest for ultracentrifuge technology was tagged as top priority, as the extremely expensive jet centrifuge process imported from Germany had never worked properly. Moreover, other enrichment processes were being studied, particularly lasers.

In contrast to this Parallel Programme, the activities covered by the Nuclear Agreement with Germany were under the control of the International Atomic Energy Agency. Concerns arose over the fabrication of a nuclear weapon in Brazil, which might also be spurred by competition with Argentina, which was developing its own gas diffusion uranium enrichment plant. The Argentine Physics Association (AFA) and its Brazilian counterpart (SBF) joined forces against this possibility.

At the Latin American level, Argentina and Brazil were running neck-and-neck in an undeclared nuclear technology race. As Argentina's first civilian President prepared to take office, Argentina's military Government announced progress in uranium enrichment, although its natural uranium reactors did not require enriched uranium, which could be used for bombs.

Meanwhile, Brazil's military regime was fraying, attacked by democratic forces and social movements, and no longer a valid option for the interests of foreign capital or the ruling classes to which it turned in 1964. Some influential politicians entered into an implicit pact not to challenge the Parallel Nuclear Programme controlled by the military, as having a nuclear bomb might be viewed as a factor enhancing Brazil's international prestige, strengthening its clout even with no intentions of using it for military purposes against specific strategic targets. This type of thinking underpinned the geopolitical schemes much favoured by those rating Brazil as a natural candidate for the nuclear club, of which other countries of a similar size were already members: USA, USSR, China, Europe (as a whole), India and Pakistan.

Brazil's military government felt that control of nuclear technology – rather than the actual production of a bomb – might well help recover the prestige lost during the long years of the dictatorship, when repression and torture were directly or indirectly associated with the Armed Forces. More competent military sectors were striving to remove this stigma and rehabilitate the image of this institution, presenting the Armed Forces as the protectors of the nation and the defenders its territory, rather than a repressive police force.

In 1986, the Folha de São Paulo newspaper revealed the existence of an extremely deep shaft drilled by the Air Force at the Cachimbo Air Base. A Technical Report issued by the Brazilian Physics Society (SBF) concluded that it had all the characteristics and dimensions required to test a nuclear bomb of ten to twenty kilotons. Around 320 meters deep, with a

diameter of some 1.5 meters, it was similar to the shafts used for underground nuclear explosions involving only a few kilotons carried out at the Nevada Testing Grounds under the Plowshare Program during the late 1950s and the early 1960s in the USA.

This conclusion prompted many denials and rebuttals. The man behind this information was the President of the Rio de Janeiro Professional Geologists Association, geologist Arno Bertoldo, who told me that this shaft was being bored. After an initial analysis, I discarded the possibility being aired – that this would serve as a radioactive wastes storage facility – as its dimensions were unsuitable. I then offered my opinion: this information should be made public so that the Government could issue a reply. As a result, the Rio de Janeiro Professional Geologists Association contacted reporter Elvira Lobato, with the *Folha de São Paulo* newspaper in Rio de Janeiro, who wrote an article with widespread repercussions.

The Brazilian Physics Society (SBF) carried out a comparative study of the Cachimbo shaft, referencing its characteristics to shafts bored in the USA for underground nuclear tests involving only a few kilotons. The conclusion reached by the SBF Report was stunning: “lacking any clear purpose, the existence of this shaft at the Cachimbo Air Base results in an atmosphere of mistrust, particularly in view of the somewhat unlikely explanations presented by the authorities, attempting to allay suspicions that it would be used for nuclear tests. The SBPC and the SBF have a duty to advise the Government of this concern, requesting information”.

The members of the Commission were Fernando de Souza Barros, Anselmo Paschoa and myself, serving as its Rapporteur. Based on the dimensions of this shaft, my calculations presented in this Report showed that it could handle an explosion similar to the bomb dropped on Hiroshima. I based these conclusions on data taken from the Plowshare Program in the USA, which worked with nuclear explosions for peaceful purposes (such as opening up large channels) and was later abandoned. This data was brought to my attention by my colleague at COPPE, Aquilino Senra Martins. The Brazilian Society for the Progress of Science (SBPC) then set up a Commission chaired by José Goldemberg, whose other members were myself, Souza Barros, Aziz Ab’Saber, Sebastião Baeta and Amélia Hamburger.

Some years later, the Government formally acknowledged the existence of an underground nuclear explosion facility at the Cachimbo Air Base, and symbolically sealed this shaft. An intriguing aspect was included in my Report to the SBF: officially, there was not enough fissile material in Brazil to perform nuclear tests at Cachimbo.

The stage reached by this nuclear test project was never known, nor whether the problem of its fissile material was even solved, particularly as the enriched uranium needed for the subcritical pile to function would have had to be shipped in from elsewhere. As the USA and Soviet Union had a solid agreement on the non-proliferation of nuclear weapons, only China was left as a possible supplier. However, this mysterious source has never been revealed.

Discussions of these matters faded away over the next few years, vanishing from the media and apparently indicating this was not a particularly dynamic period for the nuclear field in Brazil. However, this was not really the case.

Brazil ratified the Treaty of Tlatelolco on the denuclearisation of Latin America and established ABACC, an agency handling mutual inspections of nuclear facilities in Brazil and Argentina. Brazil also signed the Nuclear Weapons Non-Proliferation Treaty and joined Sweden and other countries in a coalition for a new agenda calling for the reduction and elimination of the nuclear arsenals held by military powers.

Nuclear facilities such as Nuclebras and its subsidiaries were closed down, leaving only Nuclebras Engenharia (NUCLEN) and the Heavy Equipment Factory (NUCLEP). The rest was taken over by Industria Nuclear Brasileira (INB), particularly the nuclear fuel manufacturing facilities, to which the uranium enrichment technology was transferred, developed by the Brazilian Navy. Today, the INB and NUCLEP fall under the Ministry of Science and Technology. Subsequently, the operations area of the Angra I nuclear power plant was transferred to NUCLEN through a merger that give rise to Eletronuclear, today a subsidiary of Eletrobras, the Federal power sector enterprise.

### **The revival of the nuclear programme**

The Angra II nuclear reactor was completed, despite costs that soared from an initial estimate of US\$ 500/kW in 1975 to more than US\$ 4,000/kW. The only reactor completed so far under the agreement with Germany, work on this project dragged on for more than twenty years. The original plan was to have eight reactors in operation by 1990, with no less than fifty estimated for 2000, in addition to the nuclear fuel cycle.

The Brazilian Government is now returning to the nuclear power issue, deciding on whether or not to forge ahead with the second reactor covered by the Nuclear Agreement with Germany: Angra III. Worth some US\$ 700 million, most of its components were imported from Germany and have been stored in Brazil for decades. However, in order to bring the Angra III

nuclear power plant on-stream, a further US\$ 1.7 billion would be needed, financed half by the French as the current controllers of the nuclear arm of Siemens.

From the energy cost standpoint, only this missing US\$ 1.7 billion can be calculated only for the purposes of taking a decision, as there is little hope of recovering the original US\$ 700 million. However, the stored equipment still retains some residual value, partly as maintenance supplies for the Angra II nuclear power plant, and partly through occasional sales. A study group set up by COPPE compared nuclear power costs with their hydro and thermo counterparts. Hydro-power proved the least expensive, followed by thermo-power and then nuclear power.

The comparison between the two latter options indicates a marked sensitivity to the rate of return (very high for privately-owned thermo-power projects at more than 15 per cent p.a., and generally lower for nuclear and hydropower projects run by the Federal Government), in addition to future natural gas prices. This may be driven by oil price hikes on global markets, topping US\$ 60/barrel in 2005. From this standpoint, Bolivian gas is very sensitive, as well as gas produced in Brazil.

However, a chronic financial problem continues to plague Eletronuclear: an unpaid debt of one billion Euros, and a similar amount in Reais, bequeathed to Eletrobras. Before resolving this problem, it is hard to reach a sound financial decision on the Angra III nuclear power plant, whose implementation would require funds allocated by Brazil's National Social and Economic Development Bank (BNDES), the French and private capital. This would minimise the funding drawn down from Eletrobras, which has other high-priority projects required for the expansion and operation of its companies and today handles much of Brazil's power generation activities (basically hydro-electric, including Itaipu (12.600 MW) and Tucuruí (4.000 MW)), as well as the transmission sector.

### Pros and cons of Angra 3

From the environmental standpoint, nuclear power offers the advantage that it does not emit greenhouse gases, in contrast to massive carbon dioxide emissions produced by the fossil fuels – coal, oil and natural gas – burned by thermo-power plants. Although hydro-power plants emissions are rated as negligible, power dam studies carried out by my research group at the International Virtual Institute of Global Change (IVIG) at COPPE, Rio de Janeiro Federal University, show that these water-bodies give rise to methane and carbon dioxide emissions, although generally at levels far lower than thermo-power plants.

Government-level discussions are currently under way on starting over at the Angra III nuclear power plant. Personally, I would make this conditional on remedying the environmental liabilities built up by the Angra I and II nuclear power plants. The next priority should be upgrading the current Emergency Evacuation Plan – which I feel is inadequate – for neighbouring communities in case of a serious accident at this complex.

The final and most difficult point is the disposal of the radioactive wastes produced by the reactors. Low and medium radioactivity wastes could be handled through a solution similar to the Abadia repository near Goiânia, which stores materials contaminated through the Caesium 137 accident.<sup>2</sup> But highly radioactive wastes are far more difficult as they remain dangerous for thousands of years, with no generally-accepted solution available anywhere in the world. At Angra, they are properly stored in pools alongside the reactors for the moment, but this solution is only provisional, lasting as long as the reactors themselves, for up to twenty years. But it is necessary to begin analysing what will be done with them later.

The uranium enrichment activities are currently being transferred to the INB. The ultra-centrifuge technology developed by the Brazilian Navy for its nuclear-propelled submarine project could well be used by the Angra I and II nuclear power plants. More importantly, I do not believe that this uranium enrichment project is intended to endow Brazil with the capacity to produce nuclear weapons, as has been suggested in some international publications.

### References

- Goldemberg, José et al. (1978): *Energia, Tecnologia e Desenvolvimento. A Questão Nuclear*. Edit. Vozes, Petrópolis.
- Machado, Antonio [ed.] (1980): *Energia Nuclear e Sociedade*. Edit. Paz e Terra, São Paulo.
- Pinguelli Rosa, Luiz (1981): Nuclear energy in Latin America. In: Anouar A. Malek et al, *The transformation of the world. Volume I*. The United Nations University.
- Pinguelli Rosa, Luiz (1987): A military area in Brazil for underground nuclear test. In: *Proceedings of the 37 Pugwash Conference on Science and World Affairs*. Gmünden, Austria.
- Pinguelli Rosa, Luiz and Otávio Mielnik (1988): *Impacts of great energy projects in Brazil. Comparative study of hydroelectric and nuclear power*. IDRC, Canadá, Report 196 e, August 1988.

2 In 1987, a medical source scavenged from an abandoned hospital Goiânia in Central Brazil was handled by several people resulting in four early deaths and significant exposure to several hundred people.

Pinguelli Rosa, Luiz and Suzana Kahn Ribeiro (1997): The Non-Proliferation Treaty and nuclear disarmament. Pugwash Meeting, Rio de Janeiro.

Pinguelli Rosa, Luiz, Sigaud, Lygia e Otávio Mielnik (1988): Impactos de Grandes Projetos Hidrelétricos e Nucleares. Edit. Marco Zero, Rio de Janeiro.

Pinguelli Rosa, Luiz, de Souza Barros, Fernando e Suzana Kahn Ribeiro (1991): A Política Nuclear no Brasil. Greenpace, São Paulo.

Rotblat, Joseph [ed.] (1985): World peace and the developing countries. Annals of Pugwash.

Solingen, Etel (1996): Industrial policy, technology and international bargaining. Designing nuclear industries in Argentina and Brazil. Stanford University Press.

## Chernobyl plus 20 – the Swedish case

Dr. Måns Lönnroth

Geschäftsführer der Foundation for Strategic Environment Research (MISTRA), Stockholm

### At a glance

The Barsebäck nuclear power plant has been closed down and by and large been replaced by expanded capacity at Ringhals, Forsmark and Oskarshamn nuclear power plants. No further premature closing down is foreseen. The emblematic year 2010 has been shelved.

Public opinion is gradually becoming more pro-nuclear. This holds over all age groups.

Swedish energy policy is now driven by the need to find a balance between economic competitiveness of Swedish industry and climate change policy.

There is no serious discussion about building new reactors at the three existing nuclear power plant sites.

### The evolution of politics

The second and last reactor at Barsebäck went off-line May 31, 2005. Thus ended a story that started more than 30 years ago. Barsebäck-1 closed down 1999. Closing down Barsebäck also in effect meant closing down the nuclear issue in Swedish politics. Gone is the magic year “2010”.

In order to explain the closing down of Barsebäck one has to go back to the year 1997, when a political agreement was struck between the social-democratic government and the Left party (the partially reformed communist party) and the Centre party, the bourgeois party that has been opposed to nuclear power since the early 1970's. This agreement was, in turn, made possible by an extensive co-operation between the government and the centre party over budgetary policies plus a series of other issues. This co-operation was a de facto informal coalition government without ministerial representation by the centre party. This reflected a long standing historical pattern in Swedish politics of on-and-off co-operation between the two parties. This co-operation ended at the election in 1998 and has been on the back-burnersince then.

And in order to explain the year 1997 one has to go back to the previous agreement in 1990 between a social-democratic government, the centre party and the liberal party. This agreement reflected a climbing down by the social-democratic government from an attempt to start phasing out Barsebäck in mid to late 1990's and thus at an earlier date than the 2010 that was stated in 1980. This premature closing down was in turn the outcome of a major policy review carried out after the Chernobyl disaster in 1986. This review led to a decision in 1987 to start phasing out Barsebäck in the mid 1990's. However, the then social-democratic government never managed to agree with the Swedish trade unions about the conditions for this dismantling. The worsening economic conditions in late 1980's and early 1990 thus forced the social-democratic government to climb down.

The 1987 decision in turn was triggered by the rather serious impact from the fallout from Chernobyl together with the fact that the social-democratic party in 1980 (at that time in opposition) had committed itself to phase out all nuclear power by the end of 2010.

And this commitment to 2010 was, of course, directly tied to the referendum in 1980 which in turn was triggered by the fact that the Three Mile Island accident occurred less than six months before the parliamentary elections in 1979. At that time the social-democratic party was in opposition and did not want to fight an election campaign over the future of nuclear power. So the TMI issue was de-fanged through the decision to have a referendum. Ever since then, the year 2010 has figured in the Swedish energy policy.

So it remains to be explained why the social-democratic party was so worried about having nuclear power in the 1979 election campaign. The answer again has to be sought in earlier years: the social-democratic party lost the election in 1976 partly over nuclear power and had since then refused to reach a compromise with the bourgeois parties which were then in government.

And the election was lost in 1976 partly because the Swedish nuclear power program at that time was exceptionally large on a per capita basis. Also, the social-democratic party thought, together with large sections of Swedish industry, that nuclear power would be an excellent export industry. Sweden was one of four countries without a nuclear weapons program that nevertheless had an indigenous nuclear power industry (the other three were Japan, Germany and Canada) and the only OECD country that developed a LWR design without licenses from US companies. Thus the Swedish industry was un-

derstandably proud of its technological and industrial achievement. ASEA had formed a joint venture with the Swedish state, ASEA-ATOM, and produced nuclear fuel as well as reactor designs for a Swedish BWR design.

The state, moreover, became involved in nuclear technology right after the war. The first attempt to design nuclear power reactors was based on a heavy water design that would make Sweden independent of enrichment services and also open up a nuclear weapons option. This option had strong backing from the military establishment in the late 1950's and was abandoned only after a heated political debate. The military also gradually realised that nuclear weapons were costly and impossible to use against an invading Soviet Union. The dual purpose technology program was important, however, in establishing a broad base of technological expertise, ranging from reactor design to reprocessing. ASEA-Atom was founded when the state abandoned the indigenous heavy water power reactor design.

The reason why the nuclear issue became so contentious in the 1976 election goes back to two factors: the centre party was at that time the biggest opposition party and this party had turned sharply anti-nuclear. When the centre party was able to form the government in 1976 one of the first decisions the new prime minister had to take was to allow Barsebäck-2 to go critical (although he had promised in the election campaign never to do this). The energy minister in this the first non-social-democratic government in 44 years was the same person who then made an agreement in 1997 about closing down Barsebäck. And after that he retired.

So the closing down of Barsebäck has long roots. At the same time, the change in government in 1976 had another consequence: the nuclear power industry had to start a crash-program for managing the high-level nuclear waste. This, it is now generally acknowledged, was a blessing and started a process that has made Sweden one of the forerunners in nuclear waste management. A site will be decided upon within a few years.

And then again – the blessing could yet turn out to be a poisoned chalice. Being up-front on the nuclear waste issue invites interest from other countries that have not been as far-sighted. As long as nuclear waste management is not part of the European internal market this is no big deal. We shall see what comes.

### Nuclear power in the Swedish energy supply system

The Swedish energy supply system has its peculiarities when compared to other countries. Some noteworthy features (statistics from the report Energy in Sweden 2005 from the National Energy Agency, see [www.stem.se](http://www.stem.se)):

The Swedish economy is very electricity-intensive. On a per capita basis, Sweden is more than twice as electricity intensive as Germany (17.000 kWh in 2002 compared to 7.000 kWh in Germany). At the same time, Sweden is CO<sub>2</sub>-efficient – the CO<sub>2</sub>-emissions per capita and per unit of GNP are roughly half the levels of Germany. The following table (excerpts from table 24 in the report above) demonstrates this. As can be seen, Sweden has the largest nuclear power production per capita in the world.

Table 1: Electricity production in kWh per capita, 2003

Power source	Sweden	Finland	Switzerland	France	Germany	Japan	OECD average
Hydro*	6,016	1,858	4,978	1,060	529	850	1,224
Nuclear	7,525	4,363	3,710	7,167	2,000	1,881	1,926
Fossil	956	7,992	135	903	4,574	5,336	5,312
Biomass, waste	289	1,952	219	82	162	139	147
Total	15,136	16,165	9,042	9,212	7,265	8,206	8,609
Exp/imp	1,429	940	-429	-1,072	-5		16

\* Hydro includes wind

Source: National Energy Agency, Energy in Sweden 2005, table 24

There are two reasons for this: (1) Swedish industry is heavily tilted towards steel and paper and pulp and, (2) the Swedish housing sector is heavily tilted towards electric heating.

This latter fact was, in turn, one of the key markets for the expanding nuclear power in the 1970's and 1980's.

The Swedish electricity production is essentially based on hydro-power and nuclear power. Fossil fuels play a marginal role. So does wind energy, although the capacity is expanding rapidly.

The Swedish energy supply system has two other peculiarities: the biomass share is large and coal and natural gas plays a very small role. In fact, Sweden has the lowest share of natural gas in any of the EU member states.

Biomass has expanded rapidly since the early 1970's and is used both in industry (mainly paper and pulp industry) and in domestic and district heating (see table 2)

Table 2: Fuel supply to Sweden, in TWh

Energy source	1970	1980	1990	2000	2004
Oil products	350	285	191	197	205
Coal	18	19	31	26	30
Natural gas	-	-	7	8	9
Biomass	43	48	67	91	110

Source: National Energy Agency, Energy in Sweden 2005, table 9

The total amount of biomass has increased with factor 2.6 since 1970 and is now larger than the amount of oil used outside the transport sector. Biomass has grown rapidly for a variety of reasons, not the least since a carbon tax was introduced on fossil fuel in 1990.

The Swedish taxation system has been gradually tilted against energy in general and CO<sub>2</sub>-emissions in particular.

Table 3: Energy taxes in Sweden in 2004 in million SE

Energy source	Energy tax	CO <sub>2</sub> tax	Sulphur tax	Total
Gasoline	14,334	11,046		25,380
Oil products	3,700	14,034		17,734
Tallolja	22			22
Other fuels	107	1,112		1,219
All fuels			93	93
Electricity	17,216			17,216
Nuclear power	1,860			1,860
Total	37,239	26,192	93	63,524

Source: STEM annual report

Taxes on energy and CO<sub>2</sub> make up 10 percent of total tax intake to the state and 2.5 percent of GNP. Clearly, the amounts are not trivial.

This is particularly obvious when seen against the total price of fuels paid by users, as can be seen in table 4 below.

Table 4: Energy taxes on different fuels, as percent of total price 1970-2004

Fuel	1970	1980	1990	2000	2004
Gas oil	16.4	9.4	33.6	40.9	52.6
Heavy fuel oil	14.8	12.6	41.2	50.7	66.6
Diesel oil	61.2	8.5	27.4	43.3	48.1
Coal	-	-	53	79.6	86.5
Biomass	-	-	-	-	-

Source: STEM annual report

Clearly, taxation has been used not only for as a source of revenue for the state but also as a tool for influencing consumer behaviour.

Similarly, households have had to pay much more for electricity over the last few years. Taxes on the electricity used for electric heating has increased from 6.5 percent in 1970 to 40 percent in the year 2004 (when the price was some 0.12 € per kWh). Taxes on electricity to industry have disappeared, however.

These tax increases have been part of what has been called a shift from taxes on income to taxes on the consumption on certain natural resources (electricity, fossil fuels, gravel, solid waste and waste incineration).

### **The Swedish nuclear industry**

The once large Swedish nuclear industry is now much smaller and not Swedish. The export market never materialised and the engineering capacity has been wound down.

The early development of the Swedish nuclear industry followed the same pattern as in other countries based on LWR designs.

The LWR designs have their origin in the US nuclear navy program, and US companies that supplied the navy with technology got a head start. Once nuclear electricity production became a commercial possibility the companies that traditionally supplied technology to the electric utility industry stepped in. Westinghouse and General Electric started in the US with a respective PWR and a BWR design. These designs were then licensed within the commercial networks that existed since the early 1900's. Westinghouse licensed its PWR design to Siemens and the French company Framatome plus Mitsubishi in Japan. General Electric licensed its BWR design to the German company AEG and to Hitachi and Toshiba in Japan. The Canadian nuclear industry was based on an indigenous Canadian HWR design and the British nuclear industry had several more or less false starts with indigenous designs before finally settling down with a LWR design. Two other US companies entered the market but now from another supply chain: Combustion Engineering and Babcock&Wilcox had their roots in steam vessel designs.

The core of the once Swedish nuclear industry consisted of ASEA-Atom, which started out as a joint venture between ASEA and the Swedish state. The core business was fuel manufacturing, reactor design and services to operating reactors. Turbines were produced by STAL and reactor vessels by UDDCOMB in southern Sweden. The latter company was a joint venture between Swedish steel company Uddeholm and the US company Combustion Engineering.

The first ASEA-Atom reactor design was based upon a Swedish BWR design (for many years the only non-US LWR design in an OECD country).

The Swedish state power board never accepted to become dependent on Swedish designs only and opted for a Westinghouse PWR design for three of the four units at Ringhals power station (the fourth unit was the ASEA-Atom BWR design). Thus the Swedish nuclear power sector is based on both BWR and PWR designs; seven of the former (originally nine, but the two units at Barsebäck are now closed) and three of the latter.

ASEA-Atom became a wholly owned subsidiary of ASEA in the late 1970's. ASEA in turn merged with Brown Boveri into Swiss-Swedish corporation (conglomerate) ABB in 1988. ABB in turn bought Combustion Engineering (which in turn nearly bankrupted ABB once the asbestos liabilities became obvious). ABB sold all its nuclear companies to BNFL in 1999, which merged these companies with Westinghouse (which BNFL had bought earlier). BNFL in turn sold Westinghouse to Toshiba in 2005.

The original company ASEA-Atom still exists as a unique company, although the name has changed a number of times. As a nuclear fuel company and its related service arm it has always been profitable, but the many changes in ownership clearly demonstrate the commercial weaknesses of the nuclear supplier industry.

The world PWR nuclear industry now consists of one European company AREVA NP, a merger between Siemens-owned KWU and Framatome, and two Japanese companies Toshiba-owned Westinghouse and Mitsubishi. The world BWR industry similarly consists of one US company, General Electric and two Japanese companies, Hitachi and Toshiba-owned Westinghouse. Quite a change during the last fifteen or so years.

### The Swedish electric utility industry

The Swedish nuclear power program was, for quite some time, the by far largest when measured as installed capacity per capita. According to NEA's report Nuclear Energy 2005, two countries stand out in terms of nuclear electricity production per capita: Sweden and France with eight and seven MWh/capita. Germany, Japan, Korea, Canada and the US all have per capita productions ranging between two and three TWh/capita.

The difference with France is telling. The French expansion was due to a co-ordinated effort between a state-owned nuclear reactor industry, a state-owned nuclear fuel cycle and a state-owned electric utility.

The Swedish system was entirely different and more decentralised. Nevertheless this system managed a similarly co-ordinated effort as the French administration. The explanation lies in the de-centralised co-ordination that in Sweden was managed by the Swedish industry under the leadership of the Wallenberg group of industries and the Swedish state under the leadership by the social-democratic government.

The Swedish electric utility industry was very stable for the first 90 or so years of its existence and has since then changed very rapidly.

The electric utility industry has – or had – two distinct characteristics that separated it from many other countries.

The first characteristic was the multitude of ownership, which in turn had two roots.

The first root was hydro-power, which was largely developed by heavy industry such as steel and paper and pulp. These companies used to own large amounts of forested land and thus also owned the river banks and thus the rights to develop the hydro power potential. The Swedish state also started very early to develop hydro power through the newly formed State Power Board (1909).

The second root was thermal power produced by many cities. These cities rapidly developed their own electric distribution system and also ownership of power production.

The second characteristic of the Swedish electric utility industry followed from the two roots of production: the separation between production, whole sale transmission and distribution. The production was dominated by a mix of state, heavy industry and cities. The high voltage system was, after some pirouettes in the mid 1940's, owned by the State Power Board. The distribution system to small consumers was essentially controlled by local authorities.

This system required a large amount of co-ordination, and various mechanisms and arenas were developed to carry out this. The Wallenberg sphere controlled ASEA, the electric utility Skandinaviska Elverk and a large share of the electricity using industry. The social-democratic government had a long history of co-operation with Swedish business in general and the Wallenberg sphere in particular. Thus the expansion of nuclear power in the late 1960's and 1970's were carried out by a multitude of actors including the state, private industry and large cities. Nuclear power thus had a very broad base of political and industrial support.

All this changed in the early 1990's. Three streams of events became intertwined.

First, deregulation of the Swedish electricity industry and the opening up of the Nordic electricity market. Competition increased and the electricity industry began to restructure and consolidate. Also, the transmission grid was lifted out of the State Power Board and given over to a specific government agency.

Second, Swedish industry went through a major recession (in turn the outcome of a financial bubble due to a previous deregulation of the financial industry). That together with new business models (fashions) led to major divestitures of electricity generation from the previous industrial owners.

Third, many cities went through major economic difficulties and sold their public electricity production units and sometimes also distribution systems.

The net result of these three intertwined series of events was a rapid consolidation of the electricity generation industry. This is now dominated by three large companies, of which only Vattenfall (the previous state power board) is Swedish. The second largest old Swedish utility, Sydkraft, which was owned by the cities in southern Sweden, is now a wholly owned subsidiary of E.on. The Finnish energy conglomerate Fortum (the Finnish state is a majority owner) has taken over the Stockholm city energy company. Thus the three nuclear power stations Ringhals, Oskarshamn and Forsmark are essen-

tially owned by Vattenfall, E.on and Fortum. Private or municipal Swedish ownership, which once had a large share, is now marginalised.

Electricity prices before taxes have increased rapidly over the last few years. The links between electricity users, large and small, and electricity production have been severed. The very broad based political support that the electricity industry previously had has now become markedly narrower.

Also, Vattenfall has become a large company in Germany. It is very concerned about being seen as a loyal German corporate citizen and is thus in many ways less focussed on serving Swedish industry.

One important element of the old structure remains, however. That is the joint company set up to serve the back end of the nuclear fuel cycle, SKB (Svensk Kärnbränsleförsörjning, or the Swedish nuclear fuel supply company). SKB is wholly owned by the reactor owners (thus now Vattenfall, E.On and Fortum plus marginal other Swedish private and municipal interests) and operates the spent fuel storage at Oskarshamn. SKB will apply for a permit to establish an encapsulation plant in 2006 and a final repository in 2008. Plans are that this repository will start operation in 2017.

Swedish legislation states that only Swedish spent fuel can be stored in Swedish facilities. It has so far been accepted wisdom that the EU internal market legislation does not cover spent fuel services. If this wisdom were to be successfully challenged in the European Court of Justice, the difficulties of finding a site would multiply.

### Public opinion

The SOM institute at Göteborg University annually carries out opinion surveys over the view of the public about nuclear power. The message is clear.

In 1987, the year after Chernobyl, 78 percent of all Swedes were in favour of abolishing nuclear power in Sweden. This figure was down to 36 percent in the year 2004.

There are no significant differences between age-groups. In 1987 the group 15-29 was the most critical (80 percent wanting to abolish nuclear power) while the age group 50-64 was the most positive (only 75 percent wanting to abolish). In 2004 the same figures were 42 and 33 percent respectively.

Neither is there any noticeable difference between persons with university education or only basic education. The difference between men and women is consistent but small: around 10 percent with women being more sceptical.

There is only one characteristic that does differentiate: political parties.

- Social-democrats have between 1987 and 2004 changed from 80 percent wanting to abolish nuclear power into 35 percent.
- The conservatives have changed from 64 percent to 18 percent
- The liberals have changed from 79 percent to 31 percent.
- The greens (which is a much smaller party) have changed from 84 percent to 66 percent

The difference between those wanting to use nuclear power and those wanting to abolish nuclear power shifted in the year 2002 from being negative to positive. In 2004 45 percent of the population wanted to continue using nuclear power while only 36 percent wanted to abolish it. The trend is consistent over time.

### The RBMK and Chernobyl

The Chernobyl disaster had a large but temporary impact on Sweden. Large areas in north and mid Sweden were contaminated. The fall-out should be compared to the fall-out from the nuclear weapons tests, however. There is also a difference between different isotopes.

The Swedish radiation protection institute reports that the total fall-out from Cesium-137 was three kBq/m<sup>2</sup> from the nuclear weapons tests in late 1950's and early 1960's and ten kBq/m<sup>2</sup> from Chernobyl. The former was relatively evenly distributed around Sweden while the latter was much more concentrated.

The fall-out of Strontium-90 was on average two kBq/m<sup>2</sup> from the weapons tests and very limited from Chernobyl.

The content of Cesium-137 has also been measured in milk for human consumption. The concentrations differ substantially over the country and over the years, depending on precipitation patterns from the Chernobyl accident. The average over the whole of the country shows two distinct peaks (at six Bq/l) at 1964 and 1986. In 1985 the content was very low. Strontium-90 measurements demonstrate one peak in 1964 (1.4 Bq/l) and thereafter a steady decline to less than 0.1 Bq/l.

These experiences led the Swedish government to organise a large assistance programmes for RBMK reactors in the former Soviet union, after the break-up in 1991. Considerable efforts have been made to increase the safety in the two reactors in Ignalina in Lithuania. Closing down Ignalina was also a condition for Lithuania joining the EU. So far, one reactor has been closed and the second is scheduled to close in 2009.

The Swedish authorities have also made considerable efforts at the second RBMK power station close to Sweden, Sosnovy Bor outside St. Petersburg in the Leningrad Oblast. Less money has been spent, but there have been extensive training programs and some upgrading of monitoring instruments. It is a reasonable guess that the safety of the Sosnovy Bor power plant has increased, and it also seems that the experiences from this power stations are now being transferred to other RBMK power plants in Russia.

The major weakness of the RBMK reactor designs remains, however. The reactor is potentially unstable under certain conditions. Also, there is no containment.

### Climate change policy

Swedish energy policy and thus also electricity policy is now dominated by climate change concerns.

Sweden is, compared to many other countries, CO<sub>2</sub>-efficient (see table 5).

Table 5: CO<sub>2</sub>-emissions in tons per capita, per unit of GNP and emission changes 2002/1991

Country	CO <sub>2</sub> /capita (tons)	CO <sub>2</sub> /unit GNP (USD)	Emission changes % 2002/1991
Sweden	5.6	0.17	-3.9
Finland	12.21	0.38	16.9
Switzerland	5.87	0.13	-2.8
France	6.16	0.21	2.3
Germany	10.15	0.31	-6.4
Japan	9.47	0.21	14.6

Source: STEM

Swedish CO<sub>2</sub>-emissions peaked in the early 1970's and declined over the 1970's and 1980's. Since 1990 the emissions have by and large been stable and variations from year to year depend on winter temperature, precipitation – and thus the need to use fossil back-up power – and business cycles. The emissions of greenhouses gases taken together have fallen slightly since 1990.

The future, however, is something else. Stated policy by the present social democratic government – which is in an informal coalition with among others the green party – is that

- average yearly greenhouse gas emissions for the period 2008-2012 should be at least 4 percent below emissions in 1990 (without taking into account of carbon capture in biomass or flexible mechanisms);
- for the year 2020 the total emissions of greenhouse gases should be some 25 percent lower than in 1990;
- for the year 2050, the per capita emissions of greenhouse gases should be some 4.5 tons of CO<sub>2</sub>-equivalents.

The feasibility obviously depends on a number of issues, including future policies. Present policies consist of a number of elements, of which the key ones are:

- continued use of energy and carbon dioxide taxes;
- continued use of emissions trading;
- increasing capacity in existing nuclear power stations, thus in effect compensating for the closing down of Barsebäck;
- stimulating renewable electricity generation through i.a. green certificates (the present goal is increase electricity generation from primarily wind and biomass by some ten percent of total electricity generation up to the year 2016 (or 17 TWh));
- stimulating production of biomass-based fuel for the transport sector.

The last two items in turn depend on technological development and innovation. The natural resource base is very favourable, compared to many if not most other EU countries. Also, wind energy has been somewhat of a step-child in the Swedish electricity industry and has only lately started to expand rapidly. Likewise, the goals for the transport sectors are now extremely ambitious and will to a large extent depend on technological innovation. One very promising technology is pressurised black liquor gasification within the pulp and paper industry. If the prototype holds what it promises another 10 TWh of electricity could be produced or some 30 percent of Swedish needs of transport fuel.

The longer term success of such an ambitious climate policy will depend on “the animal spirits” of the entrepreneurs (to use Keynes’ phrase). Innovators, entrepreneurs and industry at large have to be confident that an ambitious climate policy will remain in place and that venture capital starts to warm to the potential.

Phrased in another way: one condition for this is that a new consensus of energy policy can emerge that is independent of shifts in government or government policies.

This should not be impossible. The basic tradition of government-business relations in Sweden is one of dialogue and mutual adaptation rather than trench warfare or litigation. This is true also for social-democratic governments; one key example was that it was the pulp and paper industry which in the early 1960’s went to the government and suggested a joint approach to reduce environmental pollution from industry.

In the end, however, much will depend on how the international scene plays out.

### **Nuclear revival?**

The future of the existing nuclear power programme in Sweden will be determined by climate policy. Given the present trends of the debate, a closing down of further reactors looks increasingly unlikely. The environmental movement is concentrating on climate issues and will in all probability be severely split if further reactor shutdowns are pushed for.

Finland’s new reactor, no 5, will have an impact on the Swedish debate. This reactor is financed by the electricity using industry. A similar situation could occur in Sweden, but a participation in a unit 6 in Finland is also a possibility.

A revival on the European scale will probably depend on adequate progress on the nuclear waste issue. Sites will probably have to be identified. The two nuclear weapons states France and the UK have a special situation, since they in any circumstance will have to identify sites for military programmes (nuclear weapons as well as naval reactors). Sweden and Finland appear to be furthest along with waste facilities among the countries with civilian programmes only. It is an open and interesting question whether other countries with civilian programmes only can proceed with a nuclear power revival without progress on the waste issue. Germany is the key country here.

A side issue is whether a European nuclear waste policy will consist of national programmes only – each and everyone for himself – or whether an internal market can be arranged. It is unlikely but perhaps not altogether inconceivable that Finland and Sweden eventually would take on the role as European sites for final disposal. But as in so many other areas of nuclear power – time has to ripen. Were the issue to be pushed prematurely the response would in all likelihood be a decided NO and thus a road-block.

A possible revival of nuclear power in Europe would also depend on the economic competitiveness of the alternatives as well as the present discussion on energy security. By and large climate policy is likely to decide. With a continued emissions trading system (or equivalent programmes) the alternatives depend on technological progress. One would be carbon sequestration on a large scale, assuming that technological and regulatory issues can be resolved. Another would be a major shift towards distributed electricity generation, based on wind energy, solar electric, natural gas fuelled fuel cells (in combination with heat recovery) and so on. Here the two main hurdles would be technological and cultural: a distributed electricity system would require a fundamental reformation of the existing electricity generating industry. Something like the reforms that have been witnessed within the telecom industry with the advance of decentralised cell phones. Or the reformation of the catholic church in the 16th century. No small shift, given the cardinals and cathedrals of the existing electric utility church.

## References

Lönnroth, M. (1989): The coming reformation of the electric utility industry. In: Johansson, Bodlund and Williams (eds.): Electricity, Lund, pp. 765-786.

Tjernoby1 20 år. Strålskyddsnytt I, 2006 (årgång 24). Statens strålskyddsinstitut [www.ssi.se](http://www.ssi.se), Swedish Radiation Protection Authority, in Swedish)

Swedish Energy Agency (2005): Energy in Sweden 2005, facts and figures. STEM annual report ([www.stem.se](http://www.stem.se)).

Du sköna nya värld. SOM-institutets rapport nr 39 från 2005. Department of political science, Göteborg university. April 2006, eds. S. Holmberg, L. Weibull. ISRN-GU-SOM-39-SE (in Swedish).



## Unchanging vision of nuclear energy: Nuclear power policy of the South Korean government and citizens' challenge<sup>1</sup>

Prof. Dr. Sung-Jin Leem  
Jeonju University, South Korea

### Abstract

This article reports on the status and perspectives of South Korea's nuclear power policy, enabling a discussion regarding how much of South Korea's nuclear and energy policy has changed. Despite the phase-out or slowdown of the nuclear industry in European countries, the Korean government continues to maintain a traditional energy policy paradigm, in essence expanding nuclear energy continuously for the past several decades. The country now ranks sixth in the world for generating capacity from nuclear power, and a total of 36 nuclear units will be in operation by 2030.

The entire country has been seething over the nuclear waste problem for many years: The government's long-standing attempts to build the nuclear waste disposal facility have provoked violent resistance from citizens, awakening public awareness of nuclear problems. Under pressures from environmental movements and the climate convention, the South Korean government has taken a small step toward change in its energy policy. However, as long as the illusion of nuclear power is maintained, no change in Korea's energy policy can be effected.

### Introduction

Although most European countries underwent a learning experience from the 1986 Chernobyl disaster, South Korea has left its traditional energy policy in essence unchanged for the past several decades. The nation's economic structure is based on massive production and consumption of fossil fuels on an unprecedented scale. Now the tenth largest energy consumer in the world, South Korea ranks sixth in oil consumption, seventh in electricity consumption, and ninth in total CO<sub>2</sub>-emission.

South Korea first generated commercial power from a nuclear power plant in 1978; since then the nuclear power industry has expanded rapidly. South Korea now has 20 reactors in operation; nuclear power producing about 40 percent of its electricity. Its generating capacity from nuclear power plants is the sixth largest in the world; moreover, South Korea currently exports nuclear technology. The rapid growth of this industry is attributed to extensive subsidies and protection from the Korean<sup>2</sup> government, regarding the nuclear industry as an essential force for future development.

Supported by government-initiated programs, a powerful interest group which consists of nuclear industries, technocrats, and governmental organizations concerned with nuclear policy, has been exerting a major influence upon South Korea's energy policy for nuclear expansion. Korea's nuclear power policymakers have, however, met opposition in recent years. The government's attempt to build nuclear waste facilities has provoked strong resistance from environmental movements and local citizens, awakening public interest in nuclear problems and strengthening public denunciation of Korea's expansive nuclear power policy. In addition, the activation of the Kyoto Protocol in February 2005 has impelled the government to redirect its energy policy towards a sustainable direction. Korea now stands at a crossroads: to keep a traditional energy policy, or replace it with a new system.

This article focuses on the status and perspectives of South Korea's nuclear power policy, enabling a discussion of the degree to which South Korea's nuclear and energy policy has changed, yet in many ways remains unchanged. The author opens by explaining the structure of South Korea's energy supply and consumption and then examines the South Korean government's nuclear policy and its implications for the future. The next section contains an analysis of the debate over the nuclear power waste facility sites, which has engendered a nationwide controversy surrounding Korea's nuclear power policy. Under pressure from environmental movements and international regulation for climate protection, the Korean government has introduced some political measures to promote new and renewable energy; the limitations of these changes are mentioned briefly in the conclusion. The reader will find the content of this article particularly meaningful because the economic growth of South Korea makes it a successful model for many developing countries to emulate.

---

1 This paper is a revised version of an article published in *Energy & Environment* 17(3): 493-456.

2 Unless otherwise specified, Korea indicates South Korea in this article.

## A country highly dependent on fossil energy and nuclear power

### TPES

South Korea is the tenth largest consumer of energy in the world with a total primary energy consumption of 221.4 million TOE in 2004. As shown in Table 1, South Korea's TPES increased by 4.8 times from 1981 to 2004. Energy consumption surpassed economic growth because of the rapid expansion of energy-intensive industries.<sup>3</sup> Per capita energy consumption increased from 1.18 TOE per person in 1981 to 4.59 TOE in 2004, which is higher than that of Japan and the UK. (See Leem et al. 2005).

Energy intensity in South Korea has improved from 0.37 (TOE/\$1,000) in 1981 to 0.325 in 2003 and 0.319 in 2004; however, the energy efficiency is still significantly lower than that of advanced countries. For instance, the energy intensity per \$1,000 in the U.S., Germany, and Japan is 0.25, 0.13, and 0.09, respectively (IEA 2004).

Table 1: TPES and energy intensity of South Korea

	1981	1990	1997	1998	2000	2002	2003	2004
TPES (MTOE)	45.7	93.2	180.6	165.9	192.9	208.6	216.3	221.1
Per capita	1.18	2.39	3.93	3.58	4.1	4.4	4.5	4.59
Energy intensity*	0.37	0.35	0.43	0.42	0.403	0.325	0.325	0.319

\* TOE/GDP(\$1,000), GDP as of 1995; \* One dollar is equivalent to 1,000 Korean Won.

Sources: MOCIE 2005; KEEI 2004, 2005

Figure 1 shows that fossil fuels – particularly oil and coal – account for more than 70 percent of TPES.<sup>4</sup> Oil is the largest primary energy source, which alone makes up roughly half the nation's total energy supply. Oil consumption decreased after the rapid growth of the 1990s primarily because of the rapid growth of LNG, which is the fastest growing energy source since the 1990s.<sup>5</sup> Coal consumption has dropped from 33 percent in 1981 to 24 percent in 2004.

The use of nuclear energy has increased from 2 percent of TPES in 1980 to 14.2 percent in 1999, showing a 38.1 percent average annual growth rate until the early 1990s and slowing to 7 percent since the mid-1990s. In 2004 nuclear energy accounts for 14.9 percent of TPES; in the electricity sector it is, in fact, the greatest power supply source.

The supply of renewable energy has also grown by 11 percent per year since 1990, reaching 2.1 percent of TPES in 2004 (increasing from 0.9 percent in 1990). Excluding large hydropower, it accounts for only 1.5 percent of TPES, significantly lower than that of OECD average of 5.9 percent; furthermore, most of the supply of renewable energy in South Korea comes from waste.

### Final energy and electricity

Final energy consumption in Korea has been growing steadily, reaching 167 million TOE in 2005. The industrial sector consumes 55.5 percent of final energy; residential and commercial, 23.6 percent; and transportation, 20.9 percent.

As illustrated in Figure 3 below, oil and coal accounted for 70.9 percent of total final energy consumption in 2004 (57.5 percent and 13.4 percent, respectively). Their consumption has shown a tendency to decrease while the share of electricity and LNG is growing. The third largest final energy source in South Korea, electricity in total final energy consumption grew steadily to 15.4 percent in 2003.

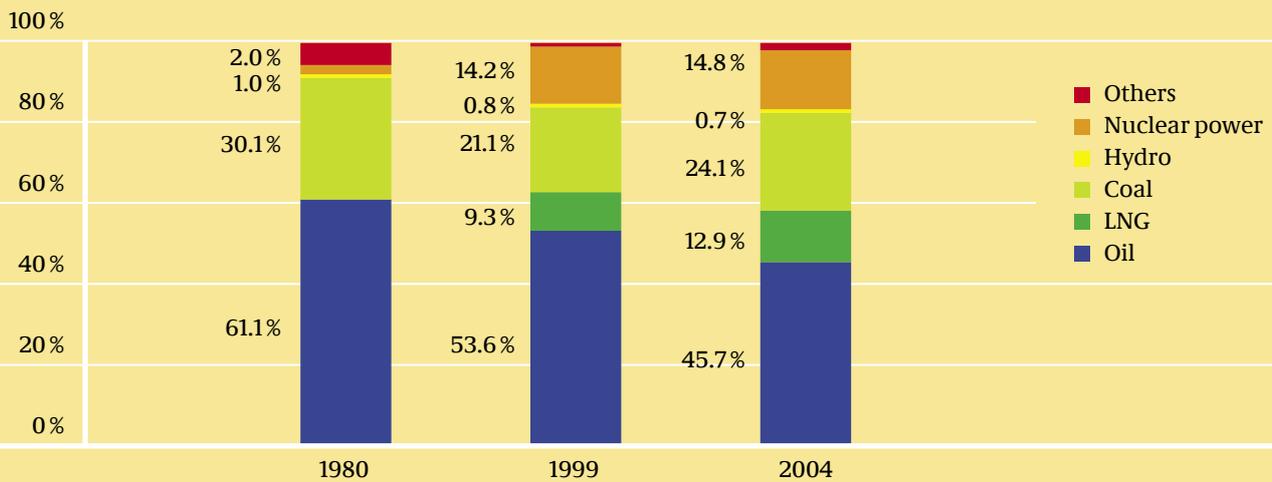
Paralleling the rapid economic growth, electricity consumption in South Korea has skyrocketed. Presently, South Korea is the eighth largest consumer of electric power in the world. During the period from 1978 to 2004, the nation's power consumption increased from 36 TWh to 339 TWh, more than eightfold. Generating capacity has grown sixfold during the same period. Since 1990, electricity consumption has increased by an annual rate of 9.8 percent while TPES increased by an annual rate of 7.5 percent. (WNA 2005; MOCIE 2005; KEPCO 2005)

3 During South Korea's financial crisis of 1997-1998, TPES dropped sharply; furthermore, its growth rate dropped to 3 percent recently, primarily because of a domestic economic recession and high oil prices.

4 Including nuclear energy.

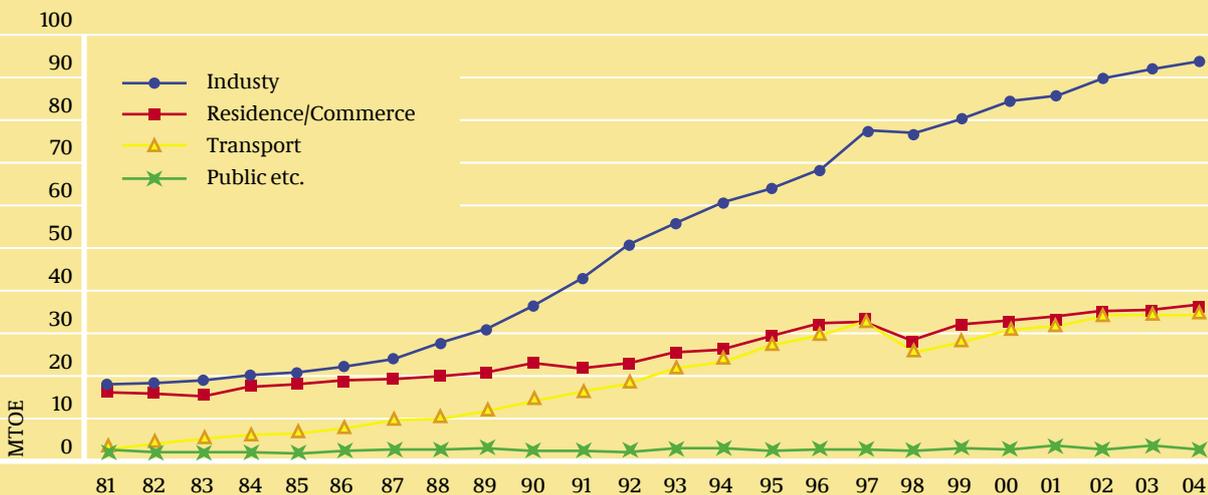
5 Annual increase rate of 18.5 percent during 1990 – 2002.

Figure 1: TPES by energy sources



Source: MOCIE 2004, 2005

Figure 2: Final energy consumption by sectors



Source: MOCIE 2005

In 2004, nuclear power accounted for 38.5 percent of South Korea’s total electricity generation, while coal, gas, and oil accounted for 37.8 percent, 17.3 percent, and 4.8 percent, respectively.

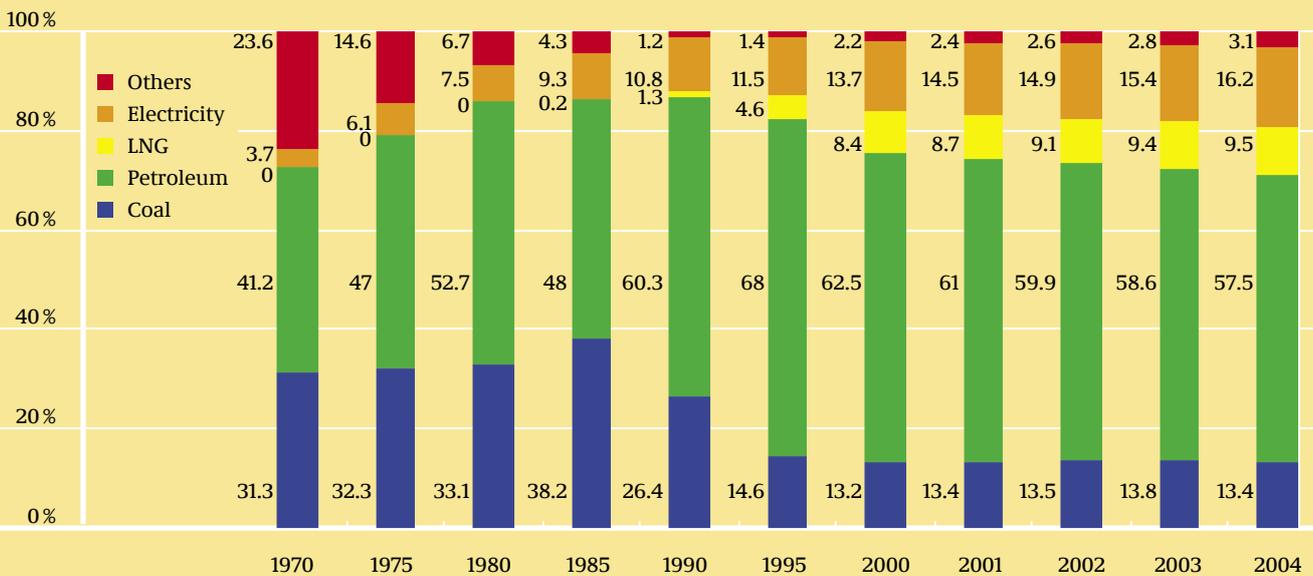
South Korea is one of the countries most actively expanding its nuclear power industry. At present, a total of 20 nuclear power units are in operation. The nuclear power generating capacity was 17.7GW in 2005, accounting for 28.7 percent of total power generating capacity in South Korea and ranking it sixth in the world for generating capacity from nuclear power (WNA 2005; MOCIE 2005: 40).

Eight more reactors are to be built in South Korea by 2015. If nuclear power units are constructed according to this plan, nuclear power would account for one third of the country’s total generating capacity, and it would supply about 45 percent of the electricity (MOST 2005; WNA 2005; MOCIE 2004).

**Expansion of the nuclear power industry by the Korean government**

South Korea joined the IAEA in 1957 and announced the Atomic Energy Law in 1958. In 1959, the *Office of Atomic Energy* was established as a governmental research institute. *TRIGA Mark-II*, the small laboratory reactor purchased from the U.S., was the first nuclear reactor in South Korea. In 1971, the government published the *Energy Plan* detailing the construction of three reactors, each with about 600 MW capacity. According to the plan, the Korean government anticipated an annual

Figure 3: Final energy consumption by sources



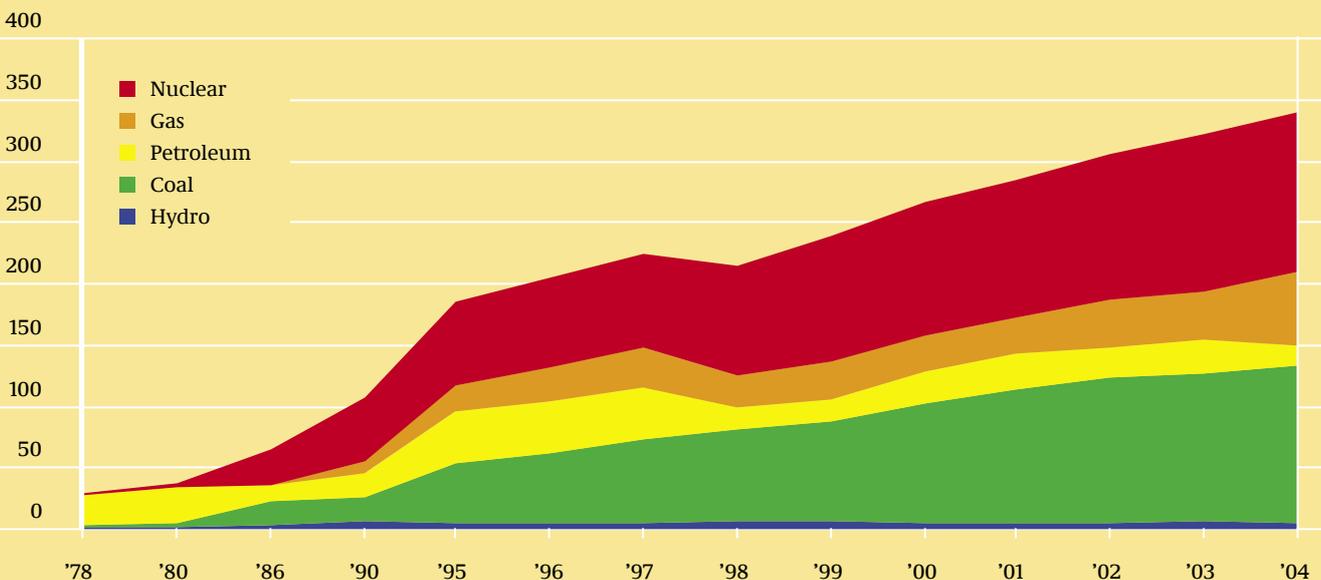
Source: KEEI 2005

increase in the consumption of electricity in excess of 22 percent during the next 10 years; nuclear power was regarded as an important energy source to cover the supposed energy shortage (MOCIE and KHNP 2005; KANM 2001).

In 1978, the first nuclear reactor in South Korea, *Kori 1*, started generating. The reactor was imported from Westinghouse as a turnkey project and had a capacity of 587 MW. Five years later, the other two reactors, *Kori 2* and *Wolsung 1*, were completed. *Kori 1* and *2* have pressurized water reactors, but *Wolsung 1* is a CANDU-type of heavy water reactor. The heavy water reactors produce more plutonium, but usually emit more radioactivity. The CANDU-type reactor presents safety issues which have provoked a strong antinuclear stance among local citizens near *Wolsung* power plants (Leem 2002; Yang 2002).

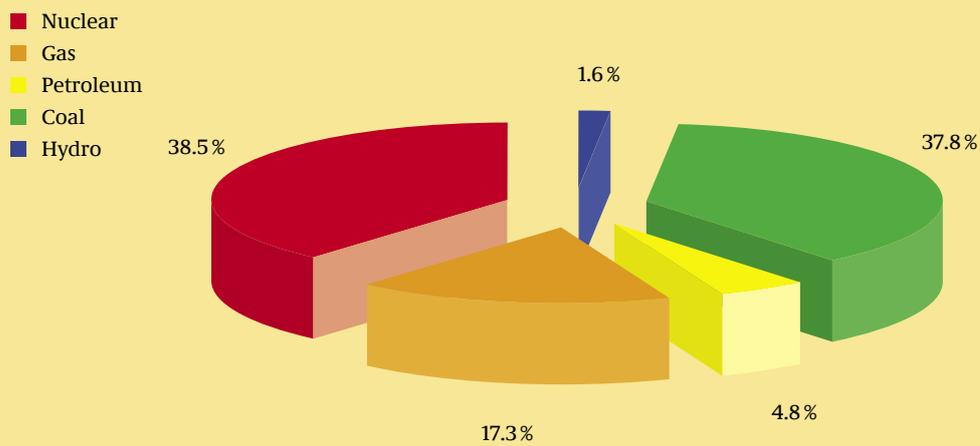
The Chernobyl disaster had little influence on Korea's nuclear policy. During the second half of the 1980s, the Korean government completed six more reactors, quickly expanding the nuclear power industry. The rapid expansion is primarily

Figure 4: Electricity generation in South Korea (TWh)



Source: MOCIE 2005

Figure 5: Electricity generation by sources (2004)



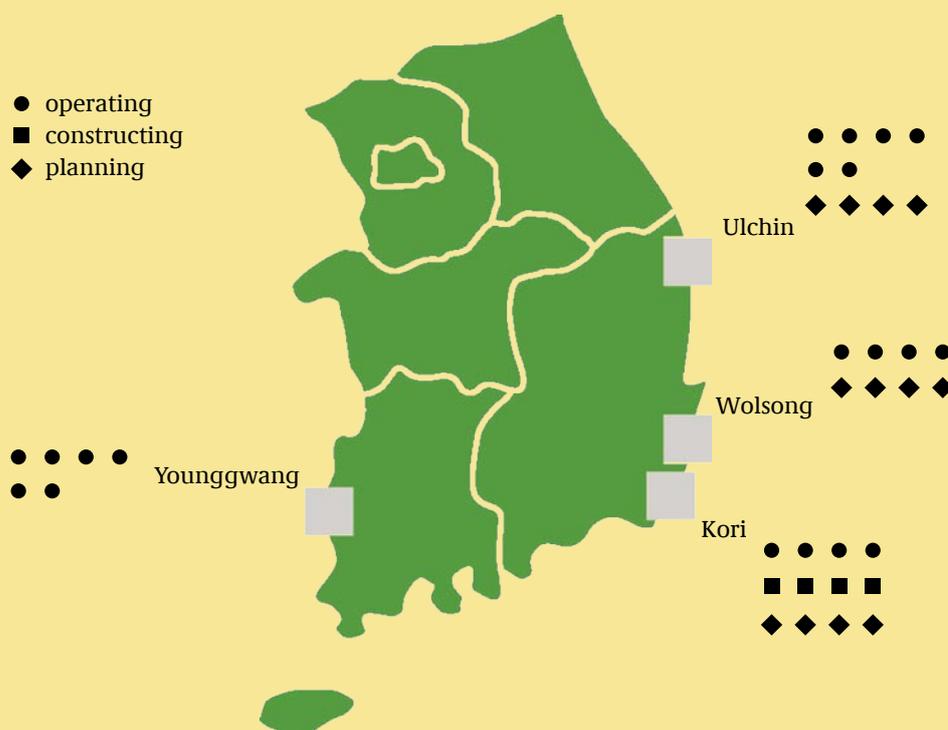
Source: MOCIE 2005

attributed to the dictatorial government which exercised strict control over the media; moreover, social movements focused on political democracy, resulting in a lack of public attention to the antinuclear movement.

In 1989, a total of nine reactors were in operation, accounting for 34 percent of electricity generating capacity and 45 percent of the power supply in South Korea. The rapid increase of nuclear power plants during such a short period resulted in overcapacity of electricity generation. The Korean government lowered the cost of electricity six times between 1987 and 1990 to increase electricity demands (KANM 2001: 45; Study Group of Green Power 2003: 15).

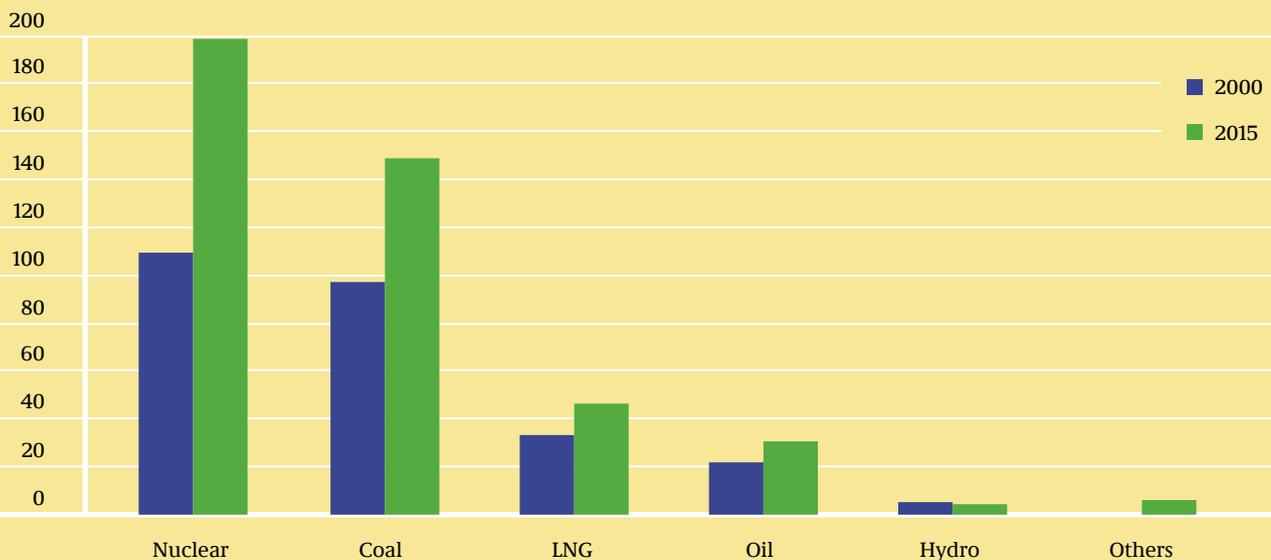
In 1986, with the intention to achieve technical self-reliance, the Korean government contracted with Combustion Engineering (CE, now Westinghouse) under the condition of transferring relevant nuclear technology. According to the contract, two nuclear units each with 1GW capacity, *Younggwang 3 and 4*, were to be completed in 1995 and 1996. These units became the basic model of the Korean Standard Nuclear Power Plant (KSNP). KSNP is the model applied to every new

Figure 6: Nuclear power plants in South Korea



Source: KANM

Figure 7: Electricity generation by 2015 (thousand GWh)

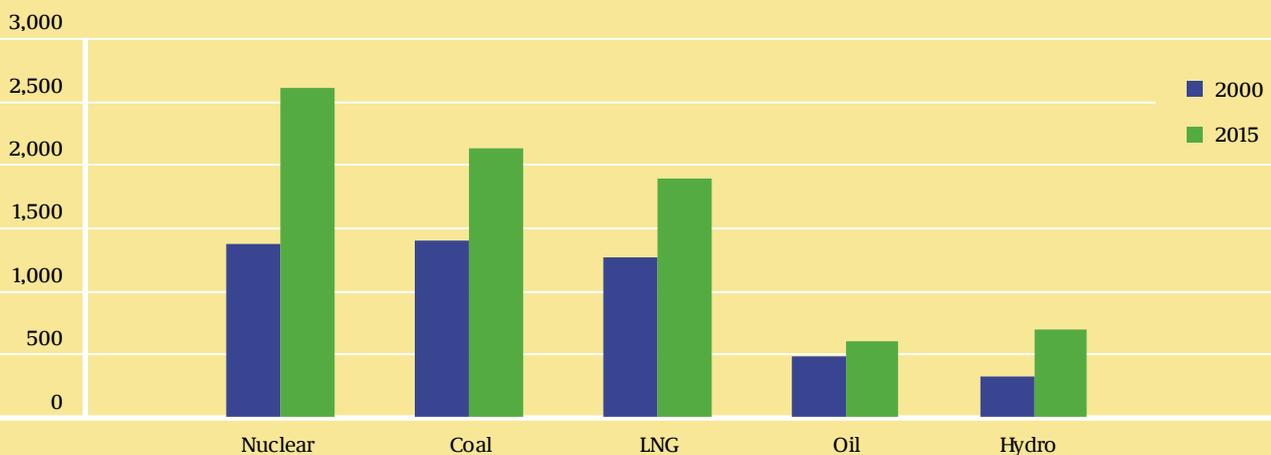


Source: MOST 2005

nuclear unit of 1,000 MW since the 1990s, including the two units in North Korea, whose construction was stopped because of the nuclear weapons problem. Of the 20 reactors operating in South Korea, 16 pressurized water reactors account for over 84 percent of generating capacity, while four heavy water types in Wolsung produce the rest of the electricity (MOCIE and KHNP 2005; MOST 2001)<sup>6</sup>.

According to the Fifth Long-Term Plan for Electric Power Demand and Supply, established in 2000 by the Ministry of Commerce, Industry, and Energy (MOCIE), the Korean government plans to construct eight more nuclear units by the year 2015, allowing an additional 9,600 MW of generation capacity; moreover, the construction of eight more reactors is planned by 2030. As the government plans to extend the operations duration of the two oldest nuclear plants in Kori and Wolsung, which are scheduled to be closed in 2008 and in 2013, a total of 36 nuclear units will accordingly be in operation in 2030 (MOCIE and KHNP 2005: 127; Yang 2002; MOST 2005).

Figure 8: Generation facilities by 2015 (10 MW)



Source: MOST 2005

6 See also [http://www.khnp.co.kr/eng2/index.html\(11/01/2005\)](http://www.khnp.co.kr/eng2/index.html(11/01/2005)).

Table 2: Reactors in Korea

NSSS Vendor	Unit	Installed capacity (MW)	Reactor type	Construction period
Westinghouse	Kori 1	587	PWR	'72.05 - '78.04
	2	650	PWR	'78.11 - '83.07
	3	950	PWR	'79.12 - '85.09
	4	950	PWR	'79.12 - '86.04
	Younggwang 1	950	PWR	'81.12 - '86.08
	2	950	PWR	'81.12 - '87.06
Doosan/CE	3	1,000	PWR	'89.12 - '95.03
	4	1,000	PWR	'89.12 - '96.01
	Younggwang 5*	1,000	PWR	'97.06 - '02.05
	6	1,000	PWR	'97.06 - '02.12
	Ulchin 3	1,000	PWR	'93.07 - '98.08
	4	1,000	PWR	'93.07 - '99.12
	5	1,000	PWR	'99.05 - '04.06
AECL	Wolsung 1	679	PHWR	'78.02 - '83.04
	2	700	PHWR	'92.08 - '97.07
AECL/Doosan	3	700	PHWR	'94.02 - '98.07
	4	700	PHWR	'93.07 - '99.12
Framatome	Ulchin 1	950	PWR	'83.01 - '88.09
	2	950	PWR	'83.01 - '89.09

\* only by Doosan (Korean company)

Source: MOCIE 2005: 39; MOCIE and KHNP 2005: 105; [www.khnp.co.kr/eng2/index.html\(11/01/2005\)](http://www.khnp.co.kr/eng2/index.html(11/01/2005))

During the late 1990s a technological development program to produce an improved KSNP, known as KSNP+, was initiated. *Shin-Kori 1 & 2*, to be constructed by 2010 and 2011, will be the first nuclear plants in the KSNP+ Program in South Korea. The construction of both reactors began early in 2005. In the third comprehensive nuclear energy development plan for 2007–2011, the Ministry of Science and Technology (MOST) announced an ambitious plan to develop Korea's nuclear industry into one of the top five in the world. According to the plan, electricity from nuclear power should account for about 60 percent of total power generation in the future.

Table 3: South Korean reactors planned by 2015

Reactor	Type	Net capacity	Start-up
Shin Kori 1	PWR (KSNP+)	1,000 MWe	2010.1
Shin Kori 2	PWR (KSNP+)	1,000 MWe	2011.1
Shin Wolsong 1	PWR (KSNP+)	1,000 MWe	2011.3
Shin Wolsong 2	PWR (KSNP+)	1,000 MWe	2012.3
Shin Kori 3	PWR (APR1400)	1,400 MWe	2012.6
Shin Kori 4	PWR (APR1400)	1,400 MWe	2013.6
Near Ulchin	PWR (APR1400)	1,400 MWe	2015.0
Near Ulchin	PWR (APR1400)	1,400 MWe	2015.0

Source: MOCIE and KHNP 2005: 127; WNA 2005

MOST envisioned the technological development of a new reactor, APR-1400. This so-called *Next Generation Reactor* is the improved version of the 1400 MW-PWR, having evolved from the US System 80+. The first APR-1400 reactors, *Shin Kori 3 & 4*, are in preparation and scheduled for completion in 2013. The other two APR-1400 units will be built by 2015 nearby at *Ulchin* (MOCIE and KHNP 2005: 57; WNA 2005).

The selection of the sites for the existing 20 reactors was made in the sixties and seventies and met no particular resistance because of the dictatorship, but left the misguided expectation that nuclear power could solve the problem of an energy shortage in the future. Local inhabitants also believed nuclear plants would bring prosperity to their communities. By contrast, since the 1990s the selection of new nuclear sites by the government has met with resistance from local citizens.<sup>7</sup> As a result of powerful antinuclear movements, eight out of nine candidate sites, previously announced in the early eighties, were abandoned in December 1999. Instead of selecting new sites, the government has elected to build the scheduled new reactors in or around the existing nuclear power complex. If new nuclear power plants are constructed according to the plan, 10 to 12 reactors will operate together within one complex. South Korea would have a nuclear site never equalled anywhere in the world – the highest capacity and the largest number of units. Such strongly converged nuclear power plants also raise the level of risk.

Table 4: Nuclear power plants in South Korea by 2030, according to power complex

Nuclear power complex	Reactor location (existing and new sites)	Reactor number	
Kori & Shin Kori	Kori Gsanggun Pusan (existing site) Hyoamri Gsanggun Pusan (new, in 1997) Bihakri Ulchugun Ulsan (new, in 1997) Shinamri Ulchugun Ulsan (new, in 2000)	12	4 in operation, 4 by 2015 (under construction or planning), 4 by 2030
Wolsung	Nahri Kyungju Kyungbuk (existing site) Bongkilri Kyungju Kyungbuk (new, in 1995)	8	4 in operation, 2 by 2015, 2 by 2030
Younggwang	Gaemari Younggwang Chunnam (existing site)	6	6 in operation
Ulchin & Shin Ulchin	Buguri Ulchin Kyungbuk (existing site) Dukcheonri Ulchin Kyungbuk (new, in 2002)	10	6 in operation, 2 by 2015, 2 by 2030

### Nuclear waste problem spawning antinuclear movements

The nuclear waste problem is one of the most controversial issues in South Korea's political arena. Since 1986 the Korean government has, on numerous occasions, attempted to build nuclear waste disposal facilities, provoking violent resistance from local citizens and further awakening public awareness of nuclear problems. Anti-nuclear waste movements have played a central role in the history of South Korea's antinuclear movements (Yang 2002).

High- and medium-low-level wastes from nuclear power plants are presently stored in an interim storage facility at each reactor site. As of December 2004, South Korea had 7,286 tons of high-level nuclear wastes stored, and the amount of medium-low-level waste was approximately 60,000 drums of 200 litres. According to government estimates, the storage capacity in each reactor will be exhausted in 2008. The exhaustion issue is one of the most compelling arguments the government advances for the construction of central disposal facilities.

For the disposal of high-level waste, the government intends to build a central interim storage facility by 2016, in which waste will be stored temporarily until the government decides whether to dispose of it permanently or to reprocess it. The storage capacity of the facility amounts to 2,000 tons in the first stage, and eventually to a total of 20,000 tons. In addition, a 200m<sup>2</sup> long-term, deep geological disposal facility for medium-low-level waste will be constructed by 2008 with a storage capacity of 800,000 drums, each holding 200 litres (KHNP 2005).

The government's argument regarding the disposal of medium and low level nuclear waste has, however, been severely criticized by environmental NGOs. They point out, above all, the dishonesty of the government's estimation: In 1994, the government insisted that the storage capacity of most interim facilities would reach saturation by 2001; but by 2005 this has still not occurred. After failing to build a nuclear waste disposal facility in *Gulupdo*, government officials and KEPCO

7 See next section.

(today KHNP) said in 1995 that reducing the volume of nuclear waste would be possible, thanks to new technology that would increase storage space for the next 13 to 15 years. The environmental NGOs emphasize that the saturation date of the temporary storage could be extended by more than 20 years if ultra high-pressure technology were introduced (KANM 2004).

Table 5: Nuclear waste storage status estimated by government (end of 2004)

Section	High Level		Medium and Low Level	
	Capacity (ton)	Year of full load	Capacity (drums)	Year of full load
Kori	1,737	2008	50,200	2014
Yonggwang	1,696	2008	23,300	2011
Ulchin	1,563	2007	17,400	2008
Wolsong	4,807	2006	9,000	2009
Total	9,803	-	99,900	

Source: MOCIE and KHNP 2005: 183, 192; <http://www.jeonbuk.go.kr/focus/energy/index.html>

Table 6: Year of full load of nuclear waste storage, estimated by antinuclear NGOS

	Kori	Yonggwang	Ulchin	Wolsong
By ultrahigh-pressure technology	2045	2023	2023	2014
By ultrahigh-pressure & vitrification technology from 2007	2204	2091	2092	2050
Replacing all wastes by ultrahigh-pressure & vitrification technology	-	2178	2197	2104

Source: KANM 2004

The 1980 governmental nuclear waste disposal policy established the *Korea Atomic Energy Institute* (KAERI) to select, build, and manage the nuclear waste facility by 1996. Following several abortive attempts, the Atomic Commission decided in June 1996 that *Nuclear Environment Technology Institute* (NETI), one of the branches of KHNP, should have responsibility for finding repository sites. Since then KHNP has been responsible for managing all radioactive wastes in South Korea. On the governmental level MOCIE has taken over control of nuclear waste. The management of nuclear waste is regulated by MOST, which is still responsible for nuclear and radioisotope technology as well as the safety of nuclear power plants (MOCIE and KHNP 2005; WNA 2005).

In spite of government attempts to build a nuclear waste disposal facility, no disposal site was determined until 2004. Each time the government tried to establish a facility site, antinuclear resistance frustrated the construction plan; consequently, some ministers were forced to resign. Following a local referendum on November 2, 2005, the tourist city of *Kyoungju* was newly designated as a disposal site for medium-low-level wastes; however, it is not clear whether the disposal facility will be built without trouble because environmental NGOs have rejected the result of the vote in which the government made a strong showing. Table 7 shows the history of the Korean government's attempts to build nuclear waste facilities.

The process of site selection for the nuclear waste disposal facilities began in 1986, and the first candidate sites were three small villages on the east coast. By 1989, confronted by regional resistance, the government had to abandon geological testing. This marked the beginning of the long history of abortive attempts by the government to build nuclear waste facilities in South Korea.

Table 7: History of candidate sites for nuclear waste disposal facilities

Period	Candidate sites	
1986 – 1989	Songramyun Youngilgun, Gisungmyun Ulchingun, Namsungmyun Youngduckgun	Top-down deciding of the feasible sites through technical investigation (plan) > cancellation of the plan by resistance
1990 – 1990	Anmyondo (Gonammyun Taeangun)	Connected with the development plan of the local government > aborted by resistance
1991 – 1993	Gonammyun Taeangun, Chunghamyun Youngilgun, Gisungmyun Ulchingun, Yongsanmyun Sanghungun, Hyunnaemyun Gosunggun, Hyunnammyun Yangyanggun	Selecting provisionally the candidate sites by considering technical and social aspects, and then negotiating with local governments > aborted by resistance
1993 – 1994	Yongsanmyun Sanghungun, Gisungmyun Ulchingun	Voluntary application by the candidate sites > no application from the sites
1994 – 1995	Gulupdo (Duckseokmyun Ongjिंगun)	Designation by the government > aborted by resistance
2003	Namsungmyun Youngduckgun, Geunnammyun Ulchilgun, Hongnongeup Younggwanggun, Haerimyun Gochanggun	Announcing the feasible candidate sites, and then voluntary application by the local government > no application
2003.7 – 2004.9	Wyudo Buangun	Application by the local mayor of Buangun > aborted by resistance from local citizens
2005.8 – 2005.11	Kyungju, Pohang, Youngduck, Gunsan	Application by local inhabitants of 4 sites and local referendum on 11/2/05 > Kyungju is assigned as a disposal site by the government.

In 1990, the government commenced negotiation with Chungcheong Namdo province to construct a disposal facility on the island *Anmyondo*; however, as soon as the media reported the governmental plan on November 3, the nearby inhabitants organized an antinuclear movement. On November 8, as many as 20,000 local citizens gathered to protest the government plan. The violent demonstration ended with numerous arrests and injuries to many, including members of the police force. That evening the government announced its cancellation of the plan, which was officially affirmed by the Atomic Commission in June 1991. That incident led to the resignation of the MOCIE minister (Choi 2001).

After the two failed attempts the government changed the policy on selecting disposal sites towards more open ended directions, listening to public opinion before announcing sites. Through studies led by KAERI, the government chose six places as feasible locations for opening negotiations with local governments. This attempt also ended in failure because local citizens strongly denounced the facility.

In January 1994, the Korean government announced the *Act to Promote Nuclear Power Waste Management*, legally allowing considerable financial support for regional development around the disposal site. In December 1994, the government selected the small island of *Gulupdo* as an appropriate candidate site for nuclear waste disposal, even without any previous geological investigation. The choice of an isolated island where only 9 families lived was intended to derail strong opposition from regional inhabitants; however, contrary to government expectation the antinuclear movement spread widely from *Gulupdo*'s mother island *Duckchuckdo* to the metropolitan city *Incheon*. The police had already organized security guards and suppressed the demonstration, but the movement became more and more powerful. Many people were injured and arrested; one demonstrator, in fact, died. The government did not want to abandon the original plan, but a geological probe found an active fault around the island. As a result, on November 30, 2005, the government officially halted the plans for a nuclear waste facility in *Gulupdo* (MOCIE and KHNP 2005; Yang 2002; Choi 2001).

After the political failure in *Gulupdo*, more changes were made in government policy. In 1996 the responsibility for managing the disposal facility was assumed by KHNP, and the ministerial affairs for its construction and management came under MOCIE control. The government delayed announcing a decision for the disposal site until the beginning of the 2000s, instead concentrating on advertising the benefits and safety of nuclear power usage. One of the most important

changes was to introduce a formal democratic process into disposal site selection. The government avoided the top-down method of selecting the disposal site, inviting instead local communities to volunteer to host a disposal facility.

Despite the voluntary system, the government – more precisely MOCIE and KHNP – took every possible step to persuade regional citizens to sign petitions for the introduction of a disposal facility, raising the financial subsidy radically from \$50 million in 1995 to \$300 million in the 2000s. In addition, they promised to supply free electricity over a 30-year period and offered discounted medical insurance as well (KHNP 2005). The collected petition forms were used as a tool to press the local assembly and, eventually, local government to submit an official application (Yang 2002).

In 2000, the government announced the new application period for a nuclear waste facility: June 28, 2000 through February 28, 2001. Even though the deadline was extended by four months, no local governments applied. In February 2003, MOCIE selected four sites with a view to negotiating acceptance with local governments. The application period ran from May 1 to July 15, 2003. At the same time, the government opened the application process for other local governments to apply for the disposal facility. On July 15, the day of the application deadline, the mayor of *Buangun* unexpectedly submitted an application form, and *Wydo*, a small island in Buangun, became a candidate for a disposal site.

Local citizens were outraged because they had previously demonstrated against a nuclear waste disposal facility within their region. The submitted application represented an individual decision by the mayor with no agreement or support of local citizens. Following the proposal, over 10,000 people gathered daily to demonstrate against the facility. The extreme measures taken by the police to suppress the demonstrators resulted in injuries, which only intensified support for the demonstrators. At last an autonomous local referendum took place in February 2004, in which 72.04 percent of the voters participated, and 91.83 percent of those objected to the nuclear waste disposal facility in their region. As the construction in *Wydo* became less likely, the government extended the application deadline until September 15; however, no additional local governments applied. The government's attempt eventually failed again, and the head of MOCIE resigned.

After the *Wydo* debacle, the government introduced some new methods to select a disposal site. In December 2004, the government decided to build only a middle- and low-level waste disposal facility, where no high-level waste would be stored, not even temporarily. Moreover, through the *Special Act to Support the Regions Introducing Middle- to Low-Level Waste Disposal Facilities* of March 2005, the government initiated a community referendum for the candidate site. The Act also contained a more expansive support program for local development.

By the end of the newly announced application period, August 31, 2005, four regions submitted application forms to the government. The voting was accordingly conducted on November 2, and as a result the government designated *Kyoungju*, the region with the highest rate of approval, as the disposal site; but because the government had intervened too strongly in the voting campaign, environmental NGOs suspected vote falsification. NGOs even filed a lawsuit against the community referendum system to the Constitutional Court. The antinuclear movement's rejection of the voting result shows that the controversy over nuclear waste site is not over in South Korea: A new stage of conflict has only begun.

### Conclusion: Korea's energy policy at a crossroads

The foregoing discussion has shown that South Korea's energy policymakers have pursued the hard energy system (Lovins 1977) for many decades; this energy supply structure is contradictory to that of sustainable development. First, the nation's industry has engaged in massive energy consumption, and its increase rate has remained much higher than that of advanced countries. In 2004 Korea's TPES was 221.4 MTOE, the tenth largest in the world. The second problem lies in lower energy efficiency compared to advanced countries. Third, Korea's dependency on fossil fuel energy is significantly high. Fossil fuels, including nuclear energy, account for more than 70 percent of TPES. Fourth, the lower supply of renewable energy is one of the main factors preventing change in the traditional energy policy. Excluding the large share of hydro-power, renewable energy accounts for 1.5 percent of Korea's TPES; in fact, 93.5 percent of the total supply of renewable energy comes from disused heat from incinerators.<sup>8</sup> South Korea's most serious energy system problem is the continuous expansion of nuclear energy. In 2004, nuclear energy accounted for 14.9 percent of TPES and 38.5 percent of total electricity generation. A total of 20 nuclear power units are in operation in Korea, and the country's generating capacity from nuclear power ranks sixth in the world. Despite the phase-out or slowdown of nuclear industry in European countries, the Korean government has been steadily promoting the nuclear power industry. The government plans to build eight more reactors by 2015, thus nuclear power would account for 33 percent of the total power-generating capacity and 44.5 percent of electricity generation in 2015. Furthermore, the government plans to build eight power plants by 2030; a total of 36 nuclear power units will accordingly be in operation. The government has strongly supported and subsidized the nuclear power industry, actively seeking new sites for nuclear power units as well as nuclear waste disposal facilities. As a result, the

nuclear power industry of South Korea has grown up in a remarkably short period, spawning an interest group together with nuclear technocrats and governmental organizations. This group is presently exercising a powerful influence over Korea's energy policy.

Growing citizens' movements campaigning against nuclear waste disposal facilities have exerted pressure on the South Korean government to change its energy policy, long dominated by a traditional paradigm. Since the 1980s, the government has, on numerous occasions, attempted to select disposal sites for nuclear waste; however, every time the government announced the candidate sites, violent resistance from local citizens erupted immediately. Through the regional referendum on November 2, 2005, Kyoungju has been newly selected as a candidate site for nuclear waste disposal, but environmental NGOs have already rejected the referendum results, claiming the government intervened in the voting campaign, misleading the local citizens to vote for the disposal site. Continued resistance is anticipated. The entire country has been seething over nuclear waste problems for many years; at the same time, the government's long-standing attempts to construct nuclear waste disposal facilities have awakened public awareness of nuclear problems. Selecting new sites for nuclear power plants has accordingly become increasingly difficult since the 1990s.

Recently climate change problems have also been an important factor forcing South Korea to change its traditional energy policy. Since the Kyoto Protocol has come into effect, the Korean government has announced a goal of increasing the supply of renewable energy from 2.3 percent in 2003 to 3 percent in 2006 and 5 percent in 2011. The government has created an intensive investment plan for the development of the new energy sources, especially photovoltaic, wind power, and fuel cells (KEMCO 2004). Electricity produced from renewable energy sources has begun to be bought at a higher price for a certain period of time: 15 years for photovoltaic and wind power, 5 years for small hydropower, and so on. In addition, the government has initiated a program to construct 30,000 solar roofs from 2004 to 2010. Various projects and increased financial supports have also been developed for improving energy efficiency.

Even though the South Korean government has taken a step toward change in its energy policy, its plan is insufficient, considering the urgency of climate-change issues. For instance, the investment in renewable energy technology is only 2 percent of that by the U.S. and 3.5 percent of that by Japan. The investment for renewable energy focuses primarily on technological programs; moreover, the financial investment for nuclear energy has not been reduced at all in the 2006 budget even though expansion of this energy is the fundamental problem obstructing a transformation of Korea's energy system. The government recognizes nuclear power as the best energy source to reduce CO<sub>2</sub>-emissions. The Korean government's prioritizing nuclear energy policy is clearly represented by MOCIE, which is in charge of planning and managing Korea's national energy policy; even the renewable energy division is organized as a subordinate office of the nuclear waste disposal management of MOCIE.

Overall, this study reveals that the South Korean government continues to maintain a traditional energy policy paradigm, expanding nuclear energy continuously. The few changes in recent years are not enough for converting to a sustainable energy policy. As long as the illusion of nuclear power is maintained, no change in Korea's energy policy can be effected. Korea now stands at a crossroads of traditional energy policy and development of a new sustainable energy policy. The government should take heed: Belated political choice comes at a substantial cost.

## References

- Choi, Y. H. (2001): Process of selecting nuclear waste disposal site and the role of parliament. Seoul.
- IEA (2004): Key world energy statistics. Paris.
- KANM (Korean Anti-Nuclear Movements) (2001): Beyond nukes, toward renewables. The 9th No Nukes Asia Forum. Proceedings. Seoul. September 10, 2001.
- KANM (Korean Anti-Nuclear Movements) (2004): Alternative proposals to solve the problems of government's policy on electric power and nuclear waste disposal. Seoul.
- KEEI (Korean Energy Economic Institute) (2004): Long-term policies and strategies on the United Nations Framework Convention on Climate Change. Seoul.
- KEEI (Korean Energy Economic Institute) (2005): Yearbook of energy statistics. Seoul.
- KEMCO (2004): Renewable energy policies and tools. Seoul.
- KEPCO (2005): Electricity statistics in Korea. Seoul.
- KHNP (2005): Public information for nuclear waste disposal site. Seoul.
- Leem, S.-J. (2002): A study on the problems of atomic power: Toward a new energy policy in Korea. In: Journal of Political Science and Communication. 5(2).
- Leem, S.-J. et al. (2005): Responding to climate change agreement: South Korean energy policy. Proceedings of the 101st American Political Science Association Annual Meeting, Washington, DC., September 1-4, 2005.
- Lovins, A. B. (1977): Soft energy paths. Toward a durable peace. New York.

- MOCIE (Ministry of Commerce, Industry and Energy) (2004): The second basic plan of electricity supply and demand. Seoul.
- MOCIE (Ministry of Commerce, Industry and Energy) (2005): Important statistics of energy and resources. Seoul.
- MOCIE and KHNP (2005): 2005 nuclear power white book. Seoul.
- MOST (Ministry of Science and Technology) (2001): The second comprehensive plan for promoting nuclear (2002-2006). Seoul.
- MOST (Ministry of Science and Technology) (2005): Atomic energy activities in Korea. <http://www.most.go.kr>.
- Study Group of Green Power (2003): 2015 green power policy. Seoul.
- WNA (World Nuclear Association) (2005): Nuclear power for electricity. <http://www.world-nuclear.org/info/info.htm>. 9/30/2005.
- Yang, W.-Y. (2002): The present conditions of nuclear power & waste and antinuclear movement in Korea. Proceedings of the International Symposium on Environment in Asia. Achieving Environmental Rehabilitation in the 21st Century. Japan, March 29-31, 2002.



## Forum: Die Bedeutung der Atomenergie für die Energieversorgung des 21. Jahrhunderts

### Moderation:

Charima Reinhardt  
Journalistin

### Der Atomausstieg – Einstieg in eine nachhaltige Energieversorgung

Michael Müller  
Parlamentarischer Staatssekretär, Bundesumweltministerium

### Atommeiler der neuen Generation – Trendwende in der Kernkraft?

Dr. Walter Hohlefelder  
Präsident des Deutschen Atomforums, Mitglied des Vorstandes der E.ON Energie AG

### Die Risiken der Atomenergie in einer zusammenwachsenden Welt

Dr. Angelika Zahrnt  
Vorsitzende des BUND

### Nachhaltige Energieversorgung – Was kann die Kernenergie dazu beitragen?

Prof. Dr. Alfred Voß  
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart

### Atomenergie – Vorwärts in die Vergangenheit?

Reinhard Bütikofer  
Bundesvorsitzender von Bündnis 90/Die Grünen



*Forum „Die Bedeutung der Atomenergie für die Energieversorgung der Zukunft“  
mit Prof. Dr. Alfred Voß, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart,  
Dr. Walter Hohlefelder, Präsident des Deutschen Atomforums,  
Charima Reinhardt, Journalistin und Moderatorin des Forums,  
Dr. Angelika Zahrnt, Vorsitzende des BUND,  
Michael Müller, Parlamentarischer Staatssekretär im BMU (sitzend v.l.n.r.) und  
Reinhard Bütikofer, Bundesvorsitzender von Bündnis 90/Die Grünen am Rednerpult*



## Der Atomausstieg – Einstieg in eine nachhaltige Energieversorgung

Michael Müller

Parlamentarischer Staatssekretär, Bundesumweltministerium

### 1. Deutschland ist auf einem guten Weg

Bald fünf Jahre sind es her, dass die damalige rot-grüne Bundesregierung dem Atomausstieg eine gesetzliche Basis gegeben hat. Der so genannte Atomkonsens setzte einen Schlusstrich unter ein teures Kapitel deutscher Energiepolitik. Vor allem war er das Startsignal für die Neuausrichtung der Energieversorgung. Diese Entscheidung war für unser Land eine Befreiung, denn seit den 1970er Jahren hatte die nukleare Stromerzeugung die Gesellschaft tief gespalten. Spätestens seit dem Super-GAU von Tschernobyl fordert die große Mehrheit der Bevölkerung die Beendigung dieses Irrwegs.

Dennoch erfolgte der Ausstieg nicht sofort, sondern innerhalb einer überschaubaren Frist. Das hatte einen einfachen Grund: Die Nutzung der Atomkraft war gleichsam eine privilegierte Sonderwirtschaftszone, die historisch gewachsen ist. Das schrittweise Abschalten der Atommeiler lässt aber genügend Zeit für den Übergang zu einer effizienten und regenerativen Energieversorgung, die sicher, kostengünstig und umweltverträglich ist. Diesen Technologien gehört die Zukunft, denn weit über den Streit um die Atomnutzung hinaus nimmt überall die Einsicht zu, dass in der Energie- und Rohstoffpolitik aus ökonomischen, sozialen und ökologischen Gründen ein grundlegender Kurswechsel notwendig ist. Die Herausforderungen liegen in der zunehmenden Ressourcenknappheit, den verschärften Verteilungskonflikten und dem sich beschleunigenden Klimawandel.

Wer aussteigt, steigt auch ein. Unser Land ist auf dem Weg, Vorreiter einer nachhaltigen Energieversorgung zu werden, die auf den drei Säulen Energiesparen, Effizienzrevolution und erneuerbare Energien aufbaut. Hierin liegt die Infrastruktur der Zukunft, die über den wirtschaftlichen und technologischen Erfolg einzelner Länder entscheiden wird. Deshalb findet Deutschland mit seiner Energie- und Klimapolitik viel Aufmerksamkeit in aller Welt. Nur ein Beispiel: Bereits 46 Länder kopieren das deutsche Gesetz zur Förderung von Wind- und Wasserenergie, von Biomasse sowie von Geothermie und Solarenergie. Die Wachstumsdaten von Beschäftigung, Marktanteilen und Geschäftsumsätzen sind beeindruckend. Dennoch: Trotz dieser Erfolgsgeschichte, die alle Erwartungen weit übertroffen und unserem Land einen eindrucksvollen technologischen Vorsprung bei den erneuerbaren Energien gebracht hat, mehren sich die Stimmen, die eine Neubelebung der Atomenergie verlangen.

So wird heute akzeptiert, dass die erneuerbaren Energien ihren Platz haben, aber zugleich soll die Laufzeit der Atomkraftwerke verlängert werden. Mit Energiepolitik hat das wenig zu tun, wohl aber mit abgeschriebenen Kraftwerken, mit denen die Betreiber viel Geld verdienen. Deshalb ist es notwendig, die Debatte wieder auf das zurückzuführen, um was es eigentlich gehen soll: eine Energieversorgung, die nachhaltig ist. Und die ist mit der Atomkraft nicht zu erreichen.

### 2. Die Atomenergie wird stark überschätzt

Mit einem hohen finanziellen Aufwand produzieren interessierte Kreise euphorische Nachrichten, dass ein „Ausstieg aus dem Ausstieg“ kurz bevor stehe. Der Ansatzpunkt ist eine Verlängerung der Laufzeiten deutscher Kraftwerke. Darüber wird der Einstieg gesucht, um weitergehende Schritte unternehmen zu können, nämlich die Rückkehr in eine expandierende Atomwirtschaft. Der Zweckoptimismus, die Atomenergie in ihrer realen Bedeutung völlig zu überhöhen, ist in der kurzen Geschichte der nuklearen Stromerzeugung nicht neu. Er ist sogar ihre Gründungsmelodie, nachdem US-Präsident D. Eisenhower 1953 das Programm „Atom für den Frieden“ verkündet hat.

Tatsächlich ist jedoch trotz des Milliardenaufwands der Beitrag dieser Technologie zur weltweiten Energieversorgung – und zum Klimaschutz – bis heute bescheiden geblieben. Wären die dafür aufgewandten Finanzmittel in regenerative und effiziente Technologien geflossen, wären die Ergebnisse ungleich größer und wichtiger gewesen. Atomstrom trug im Jahr 2002 lediglich 16,5 Prozent zur weltweiten Elektrizitätserzeugung bei, wenn auch regional in sehr unterschiedlichem Ausmaß. Der Stromsektor hatte am Energieumsatz einen Anteil von gerade mal 16,1 Prozent. Demnach deckte der Atomstrom lediglich 2,7 Prozent vom Endenergiebedarf. Global erreicht er gerade einmal den Anteil der Wasserkraft.

Alle groß herausposaunten Ankündigungen vom Boom der Atomenergie haben sich als krasse Fehleinschätzungen erwiesen. So prognostizierte 1974 die Internationale Atomenergiebehörde (IAEO), im Jahr 2000 würden weltweit AKWs mit einer Gesamtleistung von 4500 GW installiert sein. Tatsächlich waren es 367 GW. Mitte der 70er Jahre kam der große Zusammenbruch in der Atomkonjunktur, also noch vor Harrisburg und Tschernobyl. Eine entscheidende Ursache waren dramatische Kostensteigerungen, denn für das erste 1200-MW-Kraftwerk in Deutschland Biblis A bezahlte RWE 1969 einen Festpreis von 750 Millionen DM, das zuletzt errichtete AKW (1982 bis 1988) Neckarwestheim 2 kostete fünf Milliarden DM. Heute lägen die Kosten noch sehr viel höher.

Nun soll alles anders sein. In Frankreich und Finnland wird erstmals seit 1986, der Katastrophe von Tschernobyl, wieder je ein Atomkraftwerk gebaut. Unter den derzeit 24 im Bau befindlichen Atommeilern gibt es neun Anlagen in fünf Ländern, deren Bau bereits in den 70er Jahren begonnen, aber danach erst einmal abgebrochen wurde. Die restlichen im Bau befindlichen Kraftwerke liegen in Japan, Taiwan, Indien und China, wobei in den beiden bevölkerungsreichsten Ländern der Erde der nukleare Stromanteil bei deutlich unter drei Prozent liegt. Dort wird weit mehr für den Ausbau der regenerativen Energien getan, in China soll ihr Anteil bis 2020 rund 20 Prozent an der Stromerzeugung erreichen.

Auch die IAEA ist zurückhaltender geworden. Ihr Generaldirektor El Baradei sah Anfang dieses Jahres eine niedrige Projektion beim Wachstum der Atomenergie als realistisch an: Bis 2020 sieht er eine mit 427 GW kaum erhöhte Kapazität. Nichts stützt die großen Ankündigungen, die heute mit einem massiven Aufwand propagiert werden. Die Meldungen über den neuen Aufstieg der Atomkraft haben deshalb fast etwas Beschwörendes an sich, als sollten sie eine sich selbst erfüllende Prophezeiung herbeischreiben oder herbeireden. So wurde jüngst behauptet, dass die „nukleare Kapazität bis zum Jahr 2030 weltweit um das Zweieinhalbfache anwachsen würde“. Selbst die Projektion der IAEA, die gewiss nicht atomfeindlich ist, geht von 17 Prozent aus, nicht aber von 250 Prozent.

Die Propaganda widerspricht überall den Fakten. Die Russen wollen angeblich „ihre Atomproduktion binnen fünf Jahren verdreifachen“, die Realität weist allerdings nur vier AKWs aus, deren Bau sogar schon vor 20 Jahren begonnen hat. In den USA bemühe „sich die Industrie um Standortgenehmigungen für neue Meiler“, tatsächlich hat kein einziges Unternehmen den Bau eines Reaktors zugesagt, geschweige denn einen Bauantrag gestellt. „Auch Kanada“, so die Behauptung, „baut aus“, tatsächlich wurde der letzte Auftrag zum Bau 1977 erteilt, dagegen wurden seitdem fünf AKWs aus Sicherheitsgründen abgeschaltet.

In unserem Land bleiben die Meinungsumfragen in der Ablehnung neuer AKWs nahezu konstant. Ganz im Gegensatz dazu steht die hohe Zustimmung zu erneuerbaren Energien und zum Energiesparen. Jedenfalls gibt es aus guten Gründen keine Akzeptanz für das Ansinnen, den Atomausstieg zu korrigieren. Er ist nämlich keine Willkür, sondern das über viele Jahre gereifte Ergebnis einer sehr intensiv geführten Debatte.

### 3. Die Atomkraft ist nicht nachhaltig

Sollte die Atomenergie künftig einen nicht nur marginalen, sondern starken Beitrag zur Energieversorgung und zum Klimaschutz leisten, müssten ganz schnell Tausende von Meilern nicht nur in den Industriestaaten, sondern auch in den Entwicklungsländern gebaut werden. Das wäre nicht nur eine kaum machbare finanzielle Anstrengung, wenn der Grundsatz „Sicherheit zuerst“ gelten soll. Es wäre schon sicherheitspolitisch ein Albtraum, wie die aktuellen Konflikte um die Nuklearpläne Irans und Nordkoreas deutlich machen. Das Proliferationsrisiko darf nicht heruntergespielt werden.

Zudem wachsen die Gefahr einer möglichen Zerstörung von AKWs durch terroristische Anschläge oder militärische Schläge sowie die Risiken der bis heute in keinem Land der Welt gelösten und deshalb nicht sicheren Lagerung der radioaktiven Abfälle. Auch die Gefahr einer Kernschmelze ist nicht auszuschließen. Bei jedem Reaktor, gleich welcher Bauart, sind Verläufe möglich, die zu einer Kernschmelze und damit zu einer katastrophalen Freisetzung von Radioaktivität führen können.

Natürlich ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines GAUs viel geringer als die eines Verkehrsunfalls oder Ausfalls von Fahrstühlen in Hochhäusern. Aber die Risikobetrachtung hat immer zwei Dimensionen: die Eintrittshäufigkeit und den Schadensumfang. Und ein Schadensumfang, der mit einer Kernschmelze verbunden wäre, übertrifft bei weitem die verantwortbaren Folgen anderer Risiken, zumal in unserem dicht besiedelten Land.

Zudem macht die Atomenergie nicht unabhängig, sondern noch stärker abhängig von Ressourcen. Die IAEA und die Nuclear Energy Agency der OECD (NEA) publizieren periodisch in einem „Red Book“ eine weltweite Übersicht über Verbrauch, Gewinnung und Reichweite von Uran. Die Kategorien für entdeckte Vorkommen sind „hinreichend sicher“ und „zusätzlich geschätzt“. Grundlage sind die Reserven, die bis zu Kosten von 130 US-Dollar je Kilogramm Uran gefördert werden können. Außerdem werden spekulative Angaben über noch nicht entdeckte Reserven gemacht.

Der Atomgemeinde ist die prekäre Situation durchaus bewusst. Sie sieht ihre Zukunft in der Brütertechnologie. Das Konzept der Plutoniumwirtschaft, ein System von Brutreaktoren und Wiederaufbereitung, soll die unerschöpfliche Atomenergie verheißen, weil sich mit diesem System bis zu 60-mal mehr Energie gewinnen ließe. Auch hier haben die Atomfreunde in den 70er Jahren völlig unhaltbare Prognosen aufgestellt, wonach bis zum Jahre 2000 eine Brüterkapazität von mehr als 500 GW hätte installiert sein sollen.

Tatsächlich ist bis heute nur ein einziges Brüterkraftwerk in Russland in Betrieb. Andere Brüter wurden in den 90er Jahren stillgelegt zum Beispiel der Phenix in Frankreich 1991 nach gravierenden Reaktivitäts-Störfällen oder 1995 im japanischen

Monju nach einem schweren Unfall. Der britische PFR wurde von 1978 bis 1991 betrieben und erreichte einen Lastfaktor von 24 Prozent. Das heißt, die Auslastung der Kapazität entsprach in 13 Jahren gerade einmal 24 Prozent. Das weltweit einzige Brütergroßkraftwerk, der französische Superphenix mit 1200 MW, wurde 1997 stillgelegt. Er kam in zehn Betriebsjahren auf den trostlosen Lastfaktor von sieben Prozent (Vgl. Traube in diesem Band).

Und die Atomenergie ist nicht der Rettungsanker, um einen Klimaschock zu verhindern. Die scheinbar logische Begründung für die Nutzung der „sauberen“ Atomkraft lautet, dass sie – im Gegensatz zur Verbrennung von Kohle, Gas und Öl – kein schädliches Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) freisetzt. Und im Zweifelsfall sei das Risiko einer Kernschmelze ungleich geringer als der Eintritt einer Klimakatastrophe. Wahrscheinlich wird sich nämlich bis Mitte unseres Jahrhunderts der CO<sub>2</sub>-Wert in der Troposphäre verdoppelt haben. Das entspricht einem Anstieg der mittleren Erdtemperatur von rund zwei Grad Celsius, allerdings mit erheblichen regionalen Unterschieden.

Tatsächlich ist die Atomenergie jedoch gar nicht in der Lage, eine Klimakatastrophe zu verhindern. Das ist schon mehrfach belegt worden. Umfassend hat diese Frage die Enquête-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages Anfang der 90er Jahre geprüft. Grundlage war die FUSER-Studie der Weltenergiekonferenz von Cannes, die von einer Verzwölfachung (!) der Atomkraft auf rund 5000 AKWs bis Mitte dieses Jahrhunderts ausging. Trotzdem stiegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen dramatisch an, denn die Atomkraft ist eine ineffiziente Form der Energieversorgung. Mit ihr sind ein hoher Stromverbrauch und gewaltige Wandlungs- und Nutzungsverluste verbunden. Sie rechnet sich ökonomisch nur, wenn ihre Kapazitäten umfassend genutzt werden.

Von daher geht es beim Klimaschutz nicht um den Austausch von Energieträgern in einem „breiten Energiemix“, sondern um ein Energiesystem, das optimal Einsparung und Energieeffizienz fördert und zugleich die Märkte für erneuerbare Energien öffnet. Das aber ist mit dem Mega-Clan der Atomkraft nicht möglich. Nega-Watt heißt die Devise.

Aber selbst wenn der Schritt in die Atomwelt gemacht würde, käme er zu spät, denn Maßnahmen gegen die Aufheizung sind heute notwendig. Entscheidend, um den Klimawandel zu bremsen sind die Weichenstellungen in den nächsten zehn Jahren, in denen aber neue Atomkraftwerke schon wegen ihrer langen Planungs-, Genehmigungs- und Bauzeiten nicht zur Verfügung stehen können. Und CO<sub>2</sub>-frei ist die Atomenergie auch nicht. Dass sie es ist, lässt sich nur für den eigentlichen Betrieb sagen, nicht aber für die gesamte Prozesskette. In einer Gegenüberstellung kommen hocheffiziente Gaskraftwerke mit GuD-Technik nahe an die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Atomkraftwerks heran. Kurz: Die Atomkraft ist kein Weg, um aus der vom Menschen verursachten Gefahr eines Klimawandels herauszukommen. Sie verbindet vielmehr den Klima-GAU mit dem gestiegenen Risiko des Atom-GAUs.

#### **4. Die Lehre aus Tschernobyl: eine nachhaltige Energieversorgung**

Der Atomausstieg ist das Signal für eine neue Ära in der Technologieentwicklung. Den Branchen, die vom Ausstieg profitieren, gehört die Zukunft. Vieles spricht nämlich dafür, dass die Volkswirtschaften, die Vorreiter beim Ausbau einer leistungsfähigen Infrastruktur effizienter und erneuerbarer Energien sind, auch ökonomisch und technologisch führend sein werden. Dagegen locken die Befürworter längerer Laufzeiten für die 17 verbliebenen Atomkraftwerke in Deutschland mit zwei Versprechen: Zum einen schaffen sie angeblich mehr Zeit, um den Übergang zu regenerativen Energien zu ermöglichen, zum anderen böten sie billige Energie im Interesse von Wirtschaft und Verbraucher, wenn die Meiler länger in Betrieb wären.

Das stellt die Tatsachen auf den Kopf: Tatsächlich wurde schon viel Zeit verloren. Deshalb muss die Dynamik des Umbaus erhöht werden. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zeigt, dass die Prognosen über den Ausbau dieser Technologien deutlich übertroffen werden können. Das EEG ist zu einer Erfolgsgeschichte geworden, weil die Politik nicht zaghaft und kleinmütig war, sondern ehrgeizige Ziele gesetzt hat. Billige Energie aus abgeschrieben Meilern ist letztlich nur für die Betreiber interessant, die damit viel Geld verdienen wollen, aber der Atomstrom ist politisch, wirtschaftlich und ökologisch in mehrfacher Hinsicht problematisch, weil er überholte Strukturen konserviert. Zudem stünden bei einer längeren Nutzung oftmals hohe Sicherheitsnachrüstungen an, die die geschönten Rechnungen entlarven würden.

Noch wichtiger für den Klimaschutz ist: Nur ein geringer Teil des vom Menschen verursachten Treibhauseffektes geht auf die Stromversorgung zurück. Trotz des gewaltigen finanziellen Aufwands liegt der Anteil der nur für die Stromerzeugung eingesetzten Nuklearenergie an der Endenergie bei weniger als fünf Prozent.

Die entscheidende Frage lautet: Unter welchen Rahmenbedingungen sinken die Energiemengen, ohne dass es zu Einschränkungen bei Wohlstand und Komfort kommt? Wenn die Mittel in ökologische Alternativen geflossen wären, hätte dies unzweifelhaft bessere Resultate erbracht. Das ist der eigentliche Punkt einer nachhaltigen Energieversorgung: Wir brauchen einen Paradigmenwechsel von der Orientierung auf den massenhaften Einsatz billiger Energie zum Prinzip der kostengünstigen Energie- und Ressourcenintelligenz, um sparsam, effizient und umweltverträglich mit Energie umzu-

gehen. Das heißt, nicht immer mehr Energie und Rohstoffe einzusetzen, sondern zu einem Weniger durch effiziente und regenerative Dienstleistungen zu kommen.

In den nächsten Jahren entscheidet sich, wohin der weitere Weg führen wird, ob die schmerzhafteste Lektion Tschernobyl gelernt wurde. Vier Eckpunkte bilden den Rahmen einer nachhaltigen Energieversorgung: Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit, Innovationskraft, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit durch

- Bereitstellung kostengünstiger Energiedienstleistungen,
- ehrgeizigen Klimaschutz, der neue Produkte und Märkte erschließt, die weltweit gebraucht werden,
- mehr Beschäftigung aufgrund einer höheren Material- und Energieeffizienz sowie der forcierten Erschließung der Märkte erneuerbarer Energien,
- eine Energieaußenpolitik, die zu mehr Zusammenarbeit, Sicherheit und Stabilität in der globalisierten Welt führt.

Zu dieser Neuordnung gibt es keine Alternative, denn mit der nachholenden Industrialisierung und dem weiterhin hohen Bevölkerungswachstum wird Energie zu einem knappen Gut mit stark steigenden Preisen. Schon heute, da rund 1,3 Milliarden Menschen fast 75 Prozent der kommerziellen Energie- und Rohstoffangebote nutzen, sind die Folgen gravierend. In wenigen Jahrzehnten werden vier bis fünf Milliarden Menschen denselben Anspruch an die Nutzung der Ressourcen stellen. Doch der ist nicht umsetzbar, denn schon heute erreichen wichtige Öl- und Gasländer den Höhepunkt ihrer Förderung.

Zudem verschärft das die ökologische Herausforderung, insbesondere durch den Klimawandel. Nach den Untersuchungen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) der Vereinten Nationen ist bis zum Ende dieses Jahrhunderts mit einer vom Menschen verursachten Erwärmung um 1,4 bis 5,8 Grad C zu rechnen, wobei die globale Erwärmung wahrscheinlich bei 2,5 Grad C liegen wird. Davon sind auch die nördlichen Regionen betroffen. Ausgeprägt ist z.B. die Klimasensibilität um Grönland, wo bereits ein Temperaturanstieg von bis zu drei Grad C gegenüber dem globalen Durchschnitt von 0,7 Grad C zu verzeichnen ist. Die Folgen für die Meeressysteme sind kaum auszumalen.

Von daher müssen national, europaweit und global verlässliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, die optimal die Potenziale für Einsparung, Effizienzsteigerung und erneuerbare Energien mobilisieren. Das bezieht sich auf die gesamte Prozesskette der Energieversorgung auf der Angebots- wie auf der Nachfrageseite. Daraus wird eine Win-Win-Situation für Wirtschaft, Beschäftigung und Naturschutz statt der heutigen Bedrohungsszenarien – Ressourcenkriege, Verteilungskonflikte und Klimakatastrophe. Deutschland und Europa haben die Chance zu einer Neubestimmung des technischen Fortschritts.

Die Möglichkeiten sind gegeben. Das Einsparpotenzial durch einen bewussten Umgang mit Energie liegt bei fünf bis zehn Prozent. Hierfür sind Maßnahmen zur besseren Bildung, Beratung und Aufklärung notwendig. Durch eine Effizienzsteigerung kann der Energieumsatz um bis zu 40 Prozent reduziert werden. Deshalb will das Umweltministerium die Energieproduktivität bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 1990 verdoppeln. Und bei den erneuerbaren Energien ist es wünschenswert, den Anteil bis 2020 im Strombereich auf 25 Prozent, bei der Wärmebereitstellung auf zehn bis 15 Prozent und bei der Mobilität auf 15 Prozent zu steigern. Das eröffnet drei konkrete Visionen:

- die 2000-Watt-Gesellschaft (Leistungsbedarf pro Person) bis Mitte unseres Jahrhunderts. Die effizientesten Geräte, Fahrzeuge und Gebäude beanspruchen nur einen Bruchteil. „2000 Watt“ bedeutet, dass dann höchstens die Hälfte der Energieversorgung auf fossilen Brennstoffen beruht und mindestens 1000 Watt auf regenerativer Basis bereitgestellt werden.
- Deutschland bleibt Vorreiter bei den erneuerbaren Technologien und baut diesen Vorsprung aus. Rund 170.000 Menschen sind bereits in diesem Sektor beschäftigt.
- Technisch gesehen ist eine Vervierfachung, langfristig auch eine Verzehnfachung der Ressourcenproduktivität möglich. Dadurch wird der Fehler überwunden, die Produktivität einseitig am Faktor Arbeit festzumachen, was bei einem schwächeren Wachstum technologisch bedingte Arbeitslosigkeit bedeutet. Mit der Effizienzrevolution bei Energie und Rohstoffen wird dieser Trend umgekehrt: Statt Menschen arbeitslos zu machen, werden Kilowattstunden, hoher Ölverbrauch und hoher Heizungsbedarf durch Technik und Arbeit ersetzt. Das kommt Mittelstand und Handwerk zugute.

- Die energiepolitische Zusammenarbeit macht ein produktives Bündnis zwischen den technologisch starken Ländern Westeuropas und dem Rohstoffriesen Russland möglich. Europa kann durch diese Kooperation einen entscheidenden Beitrag zu mehr Frieden und Sicherheit in der Welt leisten.

Tschernobyl, Ressourcenkonflikte und Klimawandel markieren die drei großen Herausforderungen der Zukunft, die alle drei zusammen bewältigt werden müssen. Die Abwendung dieser Gefahren wird mit einer Strategie der nachhaltigen Energieversorgung möglich. Sie ist nicht die Wahl zwischen Pest und Cholera, sondern eröffnet allen Menschen eine gute Zukunft.



## Atommeiler der neuen Generation – Trendwende in der Kernkraft?

**Dr. Walter Hohlefelder**

**Präsident des Deutschen Atomforums und Mitglied des Vorstandes der E.ON Energie AG**

Meine sehr geehrten Damen und Herren!

Lassen Sie mich mit einer persönlichen Bemerkung beginnen: Vor 20 Jahren war ich Geschäftsführer der Gesellschaft für Reaktorsicherheit. Wir wurden durch eine Anfrage der damaligen Bundesregierung zum Havarie-Reaktor so ziemlich als Erste über den Unfall informiert. Der Eiserner Vorhang war noch dicht. Wir wussten so gut wie nichts über den Reaktortyp. So konnte die russische Regierung ihre Version vom menschlichen Fehlverhalten als einziger Unfallursache verbreiten und zunächst die gravierenden konzeptionellen Mängel, die wesentliche Ursache des Reaktorunfalls waren, unter der Decke halten.

In der Folge hatte ich in der Bundesregierung die Aufgabe, die Folgen des Unfalls zu bewältigen – von der Überprüfung unserer Anlagen über das Strahlenschutzvorsorgegesetz bis hin zu den Molkezügen und nicht zuletzt der Sicherheitskonvention der IAEO.

Gemeinsam mit Minister Töpfer habe ich Tschernobyl besucht, bin im Sarkophag gewesen und habe die verseuchte Umgebung gesehen. Ein in jeder Hinsicht beklemmendes Erlebnis. Vor diesem Hintergrund können Sie die Frage stellen: Wieso kann so jemand überhaupt für die Kernenergie eintreten?

Der zentrale Grund ist, dass ich der Auffassung bin, dass alle Optionen für die Energieversorgung künftiger Generationen offen gehalten und weiterentwickelt werden müssen – auch die Kernenergie, vorausgesetzt, sie wird technisch sicher und mit einem Höchstmaß an Sicherheitskultur betrieben. Einerseits ist Energieversorgung ein elementares Grundbedürfnis der Menschen; von ihr hängen maßgeblich Wohlfahrt, wirtschaftliche Entwicklung und Fortschritt ab. Andererseits droht sichere, umweltfreundliche und preiswerte Energieversorgung angesichts rückläufiger Ressourcen bzw. Ressourcenverfügbarkeit bei gleichzeitig rasant steigender Nachfrage, insbesondere aus Südostasien, zu einem knappen Gut zu werden. Gesinnungsethisch begründeter Verzicht oder Ausstieg hilft da nicht weiter. Verantwortungsethik verlangt vielmehr das Offenhalten aller Optionen, von der Fortentwicklung der erneuerbaren Energieträger über die bessere Nutzung der Kohle bis hin zu weiterentwickelten Formen der Kernenergie. Ohne jemandem nahe treten zu wollen, halte ich die Formel von der Unumkehrbarkeit des Ausstiegs für töricht. Es ist anmaßend, wenn unsere Generation künftigen Generationen vorschreiben will, wie diese ihren Energiebedarf decken sollen. Ich bin auch sicher, dass künftige Generationen sich dies von uns nicht vorschreiben lassen.

Die Nutzung der Kernenergie ist heute und in Zukunft grundsätzlich zu verantworten, weil sie alle Kriterien der Nachhaltigkeit, von der Versorgungssicherheit über die Umweltfreundlichkeit, die Wirtschaftlichkeit bis hin zum Potenzial für technische Weiterentwicklung, erfüllt.

### **Kernenergie ist versorgungssicher**

Bezüglich der **Reichweite** von Uran wird neuerdings das schnelle Ende dieser Ressource behauptet. Richtig ist dagegen, dass z.B. von der Internationalen Energieagentur Uranreichweiten von über 200 Jahren errechnet wurden. In den nächsten Jahren muss aber die Explorationstätigkeit deutlich gesteigert werden. Angesichts steigender Uranpreise ist dies zu erwarten. Deutliche Aktivitäten zur Erschließung neuer Minen sind zu beobachten.

Im Gegensatz zu Gas und Erdöl kann Uran aus europäischer Sicht quasi als heimischer Energieträger betrachtet werden:

- Uran lässt sich problemlos transportieren und bevorraten. Verglichen mit Kohle ist der Platzbedarf äußerst gering. Ein Kilo angereichertes Uran entspricht 80 Tonnen Kohle.
- Uran ist ein weltweit vorkommender Rohstoff, der auf allen Kontinenten gefördert wird. Die wichtigsten Lieferländer sind die Industrieländer Australien und Kanada, deren politische Stabilität – im Gegensatz zu vielen Öl fördernden Ländern – außer Zweifel steht.

Zusammengefasst heißt das:

Die weltweite Verteilung, die hohe Konzentration in entwickelten bzw. verlässlichen Staaten und die lange Reichweite machen Uran zu einem sicheren und langfristig verfügbaren Primärenergieträger.

### Kernenergie ist umweltfreundlich

Letztes Jahr wurden weltweit durch die CO<sub>2</sub>-freie Kernenergie 2,8 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart. Das entspricht etwa zehn Prozent der weltweiten Emissionen dieses Treibhausgases oder mehr als drei Jahresemissionen der Bundesrepublik Deutschland (2005: 872 Millionen Tonnen inklusive Verkehr). Bei einem Ausstieg aus der Kernenergie werden wir zwar unsere CO<sub>2</sub>-Ziele bis 2012, nicht jedoch die ehrgeizigen Ziele bis 2020 erreichen können.

Sogar Dr. Patrick Moore, Mitbegründer von Greenpeace, hält die Kernenergie inzwischen für die einzige Energieerzeugungsart, die kein CO<sub>2</sub> emittiert und zudem effektiv fossile Energien ersetzen und den globalen Energiehunger decken kann. Und auch Thilo Bode, ehemals Chef von Greenpeace Deutschland, hat, wie er sagt, eingesehen, „dass man zu tragbaren Kosten mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien die Kyoto-Ziele niemals erreichen kann“.

Die deutschen Kernkraftwerke gehören unbestritten zu den sichersten weltweit. Ein Indiz für die ausgeprägte Sicherheitskultur und den hohen technischen Standard sind die sehr hohen Verfügbarkeiten deutscher Kernkraftwerke.

Das hohe Sicherheitsniveau der deutschen Kernkraftwerke kommt nicht von ungefähr. Sie waren bereits zum Zeitpunkt ihrer Errichtung in den 1970er und 80er Jahren bezüglich der Anlagenkonzeption im weltweiten Vergleich als fortgeschritten einzustufen. Seitdem wurden die Anlagen permanent sicherheitstechnisch verbessert und dem Stand der Technik nachgeführt.

So wurden beispielsweise in unserem Kernkraftwerk Unterweser – errichtet im Jahr 1979 – Nachrüstungen in annähernd gleicher Höhe wie die ursprünglichen Investitionen getätigt. Deshalb kann auch nicht das Alter, sondern nur der sicherheitstechnische Zustand für die sicherheitstechnische Bewertung eines Kernkraftwerks ausschlaggebend sein.

### Kernenergie ist wirtschaftlich

Kernkraftwerke sind zwar kapitalintensive Investitionen, die variablen Kosten dagegen sind aber sehr gering. Ursache ist der geringe Anteil von Brennstoffkosten, der rund drei bis vier Prozent der Vollkosten beträgt. Damit sind die Kosten weit weniger empfindlich gegenüber Schwankungen der Brennstoffpreise als bei Öl und Gas. Eine Verdoppelung der Urankosten würde die Gesamterzeugungskosten der Kernenergie gerade mal um ca. fünf Prozent erhöhen, bei Kohle wären diese rund 30 Prozent und bei der Stromerzeugung mit Gas über 60 Prozent.

Meine Damen und Herren!

Wesentliches Merkmal einer nachhaltigen Energienutzung ist ihr Potenzial zu technischer Weiterentwicklung. Bei der Kernenergie reicht dies von den Reaktoren der dritten Generation über die Reaktoren der vierten Generation bis hin zur Fusion.

Seit den 90er Jahren wird weltweit an Reaktoren der **dritten Generation** gearbeitet. Jeder der großen Hersteller hat seine Produkte entsprechend weiterentwickelt. Gegenüber der zweiten Generation sind vor allem weitere sicherheitstechnische Fortschritte hervorzuheben. Das sind im Einzelnen:

- ein einfacheres Design für optimierte Betriebsführung und geringere Empfindlichkeit gegenüber Betriebsstörungen (z.B. strikte räumliche Trennung und Entmaschung von Systemen, ein vergrößertes Wasserinventar im Reaktorkühlsystem und in den Dampferzeugern),
- eine verstärkte Verwendung von passiven Sicherheitssystemen (passive Sicherheitssysteme funktionieren im Gegensatz zu aktiven ohne elektrische Antriebe und somit ohne Notstrom ausschließlich aufgrund naturgesetzlicher Prinzipien – Schwerkraft, Druckdifferenzen etc.),
- eine reduzierte Wahrscheinlichkeit eines hypothetischen Unfalls mit Kernschmelze.
- Last but not least bleiben sämtliche Auswirkungen von Notfällen auf die Anlage selbst beschränkt (im extrem unwahrscheinlichen Fall einer Kernschmelze wird der geschmolzene Kern auf einer speziellen Ausbreitungsfläche innerhalb des Containments aufgefangen und gekühlt).

Letzteres ist übrigens eine Anforderung an den Neubau von Reaktoren, die bereits in der Atomgesetznovelle von 1994 statuiert, dann aber mit dem Ausstiegsgesetz wieder aufgehoben wurde.

Höhere Abbrände – das Maß für das Verhältnis von verbrauchtem zu ursprünglich vorhandenem Brennstoff – führen darüber hinaus zu einer verbesserten wirtschaftlichen Brennstoff-Ausnutzung und damit zur Verringerung der radioaktiven Abfallmengen.

Der Europäische Druckwasserreaktor (European Pressurized Water Reactor, EPR) ist der weltweit erste Druckwasserreaktor der dritten Generation. Seine Entwicklung wurde 1992 von Framatome und Siemens in deutsch-französischer Kooperation aufgenommen und ist seit 2001 von der Framatome ANP fortgeführt worden. Eine solche Anlage ist in Finnland im Bau; in Frankreich wird ein erster Block in Flamanville errichtet. Auch amerikanische, japanische, koreanische und russische Hersteller bieten Kernkraftwerke der dritten Generation an.

Die kerntechnischen Forschungseinrichtungen weltweit und die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Kraftwerkshersteller arbeiten mittlerweile intensiv an der **vierten Generation** von Kernkraftwerken. Sie könnte um das Jahr 2025 kommerziell nutzbar sein. Die Initiative zur Forschung und Entwicklung dieser so genannten „Generation IV“ wurde vor fünf Jahren von zehn Staaten (Argentinien, Brasilien, Kanada, Frankreich, Japan, Südkorea, Südafrika, der Schweiz, Großbritannien und den Vereinigten Staaten) ins Leben gerufen. Deutschland ist bedauerlicherweise nicht dabei. Deutschland droht insofern den Anschluss an die weltweite Entwicklung und damit seine Mitsprache bei künftigen internationalen Sicherheitsstandards zu verlieren.

Aufbauend auf den Erfahrungen mit den vorlaufenden Generationen wird diese Entwicklung zu einer **grundsätzlich transformierenden Veränderung** der friedlichen Nutzung der Kernenergie führen.

Wesentliche Merkmale dieser neuen Generation sind:

- noch bessere, vor allem inhärente Sicherheitseigenschaften,
- höhere Effizienzgrade,
- bessere Möglichkeiten der Wärmeauskopplung,
- weniger radioaktive Abfälle und
- erhöhte Proliferationssicherheit.

Durch modulare Bauweise auch kleinerer Einheiten wird eine hohe Einsatzflexibilität erreicht. Ein besonders wichtiger Aspekt ist die Nutzung hoher Temperaturen, um die Anwendung der Kerntechnik neben der Stromproduktion auch auf den Bereich der Erzeugung von Prozesswärme ausweiten zu können. Aufgrund der Eigenschaft, Wärme auszukoppeln, können industrielle Komplexe mit Strom und Prozesswärme oder auch Heizwärmenetzen versorgt werden. Das Anwendungsspektrum umfasst z.B. die Meerwasserentsalzung, verschiedene industrielle (Petrochemie und Metallurgie) Prozesse sowie wegen der erreichbaren extrem hohen Hitzegrade zukünftig auch die großtechnische Wasserstoffproduktion. Gerade mit Blick auf eine großtechnische Wasserstoffproduktion – eine der großen Zukunftsvisionen der Energieversorgung – haben wir hier einen realistischen Innovationsansatz, den andere Technologien so nicht bieten können.

Zwei Test-Hochtemperaturreaktoren – je einer in Japan und China – sind gegenwärtig in Betrieb, die die inhärenten Sicherheitseigenschaften dieses Reaktortyps und die Fähigkeit zur Auskopplung von Prozesswärme demonstrieren.

Verhältnismäßig kurzfristig erscheint der Einsatz des heliumgekühlten Hochtemperaturreaktors möglich. Bei seiner Nutzung zur Stromerzeugung kann ein Wirkungsgrad von über 50 Prozent erreicht werden. Der Pebble Bed Modular Reactor (PMBR) wird heute in Südafrika zur Anwendungsreife gebracht. Bekanntlich beruht dieser Reaktortyp auf einer deutschen Entwicklung (AVR, HTR), die auch wegen fehlender Zukunft der Kernenergie hierzulande abgebrochen wurde. Wahrscheinlich werden wir solche Anlagen künftig einmal aus dem Ausland importieren müssen.

Meine Damen und Herren!

Die Fusionstechnologie macht erhebliche Fortschritte, wenngleich sie bis zu ihrem Einsatz noch etliche Zeit beanspruchen wird. Die internationale Fusionsforschung steht offenbar an der Schwelle, die wissenschaftlich-technische Machbarkeit der Fusion zu beweisen. Über die Wirtschaftlichkeit künftiger Fusionsreaktoren kann noch nichts Belastbares ausgesagt werden. Nach Aussage von beteiligten Wissenschaftlern ist kein Grund zu erkennen, warum solche Kraftwerke in der zweiten Hälfte des nächsten Jahrhunderts nicht für die elektrische Grundlastzeugung wettbewerbsfähig sein sollten. Das erschließbare Energiepotenzial der Kernfusion ist so groß, dass die Staatengemeinschaft erforschen und zeigen muss, ob und wie es erschlossen werden kann. Dafür hat sich eine weltweite Zusammenarbeit gebildet, allerdings auch wieder ohne wesentliche deutsche Beteiligung.

Wenn man sich die internationale Entwicklung vor Augen führt, ist die Behauptung, Kernenergie sei eine überholte Technologie von gestern – ohne Zukunft –, schlicht irreführend. Die Kernenergie hat vielmehr ein enormes Zukunftspotenzial

und daher ist sie eine nachhaltige Technologie. International – praktisch von allen führenden Industrienationen – wird dies so gesehen; nur wir gehen einen Sonderweg.

Deutschland hat sich leider – obwohl mit dem Hochtemperaturreaktor einmal Vorreiter der internationalen Entwicklung – in der Konsequenz des Ausstiegs aus der internationalen Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Kernenergie verabschiedet. Für eine führende Industrie- und Technonation ist dies nicht zu verantworten und belastet das Interesse künftiger Generationen.

Ich sage daher ganz offen: Nicht diejenigen, die die Option Kernenergie offen halten wollen, sind die Ewiggestrigen, sondern diejenigen, die hierzulande über die Zukunft der Kernenergie noch nicht einmal nachdenken wollen.

Meine Damen und Herren!

Einige werden mir vielleicht entgegenhalten, dass die Kernenergie schon deshalb nicht nachhaltig oder nicht zu verantworten sei, weil die Entsorgungsfrage ungelöst sei. Richtig ist: An diesem Thema kommen wir nicht vorbei – ob mit oder ohne neue Reaktorkonzepte, ob mit oder ohne Ausstieg aus der Kernenergie.

Die Entsorgungsfrage ist weniger ein technisches als vielmehr ein politisches Problem. Deutschland war weltweit führend, hat diesen Vorsprung aber verloren. Andere sind jetzt weiter, z.B. Schweden und Finnland. Wenn wir nur wollen – und das ist die alles entscheidende Frage –, können wir wieder Anschluss gewinnen und die nationale Entsorgungsfrage lösen.

Denn: Es gibt keine Erkenntnisse, die die Eignungshöflichkeit des Endlagererkundungsstandorts in Gorleben infrage stellen (Anlage IV der Vereinbarung zwischen Bundesregierung und Energieversorgungsunternehmen vom 11. Juni 2001). Nur eine weitere Erkundung bringt letztlich Aufschluss über die Eignung. Dann könnte die Anlage für stark Wärme entwickelnde Abfälle bis 2025/2030 fertig gestellt sein.

Schacht Konrad ist genehmigt. Nach der positiven Gerichtsentscheidung vom 08. März 2006 muss der Ausbau zügig beginnen. Dann könnte diese Anlage für die schwach- und mittelaktiven Abfälle 2013 in Betrieb gehen.

Was jetzt getan werden kann, muss auch jetzt getan werden. Trotzdem zeichnen sich auch hier Zukunftstechnologien zur Optimierung des radioaktiven Abfalls ab. Die Nutzung des hohen Abbrands bei Reaktoren der Generation IV bietet aussichtsreiche Chancen, die Abfälle weiter zu reduzieren und damit die nukleare Endlagerung zu optimieren. Geforscht wird weltweit auch an Verfahren des Partitioning und der Transmutation, um die Abklingzeit der hochaktiven Abfälle massiv – etwa auf 1.000 Jahre – zu verringern. Auch bei diesen Forschungen ist eine deutsche Beteiligung nicht erkennbar.

Meine Damen und Herren!

Natürlich kann kein Energieträger allein die Anforderungen an eine nachhaltige Energieversorgung erfüllen. Kernenergie ist für sich genommen nicht der Königsweg, aber Kernenergie muss Bestandteil eines vernünftigen Energiemix sein, in dem alle zur Verfügung stehenden Energieträger optimal eingesetzt werden.

Weltweit beläuft sich der Anteil der Kernenergie an der Stromerzeugung auf 16 Prozent, in der Europäischen Union sind es 32 Prozent, in Deutschland 2005 über 26 Prozent. Angesichts der sich abzeichnenden Entwicklung infolge eines neuen Investitionszyklus (z.B. in Großbritannien) und aufgrund der weltweit deutlich steigenden Energienachfrage wird die Stromerzeugung aus Kernenergie innerhalb der EU und weltweit eine Säule der Energieversorgung bleiben. Dies ist eine Tatsache, um die wir auch im Rahmen der Erarbeitung des neuen Energiekonzepts nicht herumkommen werden. Ausklammern der Kernenergie hilft nicht weiter und wäre auch angesichts der Zukunftsfähigkeit dieser Technologie nicht zu verantworten. Ich werbe dafür, das Thema Kernenergie neu, offen und vorurteilsfrei zu diskutieren.

Lassen Sie mich mit einer persönlichen Bemerkung schließen: Ich war an allen politischen Initiativen für einen Kernenergiekonsens beteiligt – beginnend mit dem Schröder-Töpfer-Anlauf Anfang der 90er Jahre, der letztlich an Lafontaine gescheitert ist, bis hin zur Kernenergie-Verständigung von 2001. Ich habe mich dafür engagiert, auch weil ich eine gesellschaftliche Befriedung des Themas für notwendig gehalten habe und nach wie vor halte. Diese ist mittlerweile weitgehend eingetreten. Daher halte ich auch die notwendige Diskussion über eine Neubewertung für möglich, ohne damit wieder alte Gräben aufzureißen.

## Die Risiken der Atomkraft in einer zusammenwachsenden Welt

**Dr. Angelika Zahrt**

**Vorsitzende des BUND**

### 1. Einleitung

In den letzten Monaten wurde in Deutschland oft darüber diskutiert, ob der weitere Einsatz der Atomkraft nicht sinnvoll sein könne, um den Übergang zu den erneuerbaren Energien zu erleichtern, um Versorgungssicherheit zu gewährleisten oder gar einen stabilen Strompreis garantieren zu können. Auch auf diesem Kongress werden solche Statements wieder von interessierten Kreisen vorgebracht. Zu all den vorgebrachten Argumenten kann der BUND mit sehr guten Gründen sagen, dass sie ernsthaft nicht für ein Comeback der Atomkraft oder für Laufzeitverlängerungen sprechen können.

Die Atomkraft wird uns beim Klimaschutz nicht helfen können und sie verhindert die notwendige Energiewende in Deutschland hin zu mehr Erneuerbaren und Energieeffizienz. Vor allem aber gilt: Die Nutzung der Atomkraft ist unverantwortlich, weil immer das Risiko eines schweren Unfalls besteht, weil die so genannte friedliche Nutzung von der militärischen nicht zu trennen ist und weil es ein Endlager für den hochradioaktiven Müll immer noch nicht gibt und es ein wirklich sicheres wohl auch nie geben wird.

In den letzten Wochen änderte sich die Debatte wieder etwas. Dies hat viel mit dem 20. Jahrestag der Tschernobyl-Katastrophe und möglicherweise auch etwas mit dem Kino-Film „Die Wolke“ zu tun. Es geht wieder um die Gefahren der Atomkraft, um die katastrophalen Auswirkungen eines Unfalls und um das ungelöste Atommüllproblem, das wir den kommenden Generationen überlassen.

Den Menschen sind diese Gefahren sehr wohl bewusst. Deshalb ist eine stabile Mehrheit der Menschen in Deutschland und Europa gegen die Atomkraft, trotz des PR-Gewitters der Stromkonzerne in den letzten Monaten.

Der BUND hat in den letzten Wochen seinen Teil dazu beigetragen, dass die Erinnerung an Tschernobyl und damit an die Gefahren der Atomkraft erhalten bleibt. In ganz Deutschland gab es unzählige Veranstaltungen, und wir waren und sind mit einer Aktionstour unterwegs. In den nächsten Tagen wird es viele Demonstrationen geben, so in Hannover, Bremen, Biblis, Neckarwestheim, Freiburg und München. Wir sind davon überzeugt: Kein Politiker und kein Manager kann die Risiken der Atomkraft wirklich verantworten. Das heißt für den BUND: Wir müssen so schnell wie möglich raus aus der Atomkraft.

Die Risiken der Atomkraft sind nicht etwa von gestern, weil die Katastrophe von Tschernobyl schon 20 Jahre her ist. Im Gegenteil: Die Folgen dieses Unfalls sind bis heute sichtbar und machen deutlich, wie lange die Menschen unter der Strahlenbelastung zu leiden haben. Und die Gefahren werden größer. Das Durchschnittsalter der Atomkraftwerke steigt weltweit. Die Gefahren der Alterung kommen deshalb noch zu den bekannten Risiken der Atomkraft dazu.

Außerdem ist seit dem 11. September 2001 ein altes Risiko wieder neu in den Vordergrund getreten. Dass Atomkraftwerke ein mögliches Ziel von Anschlägen und Sabotage sein können, war immer bekannt. Aber gegen einen gezielten Anschlag mit einem Flugzeug ist kein deutsches AKW gerüstet. Dies allein ist Grund genug, sofort aus der Atomkraft auszusteigen.

### 2. Tschernobyl und die Folgen

Die Katastrophe von Tschernobyl steht im Mittelpunkt dieses Kongresses. Es ist viel über die Auswirkungen des Unfalls gesagt worden. Trotzdem will auch ich kurz auf die Folgen von Tschernobyl eingehen, denn nur so lässt sich das Risiko der Atomkraft begreifbar machen.

Tschernobyl wirkt noch immer: Auch 20 Jahre nach dem Unfall steigt die Kinderkrebsrate in der Ukraine weiter an. Der Sarkophag, der die Strahlung aus dem Unfallreaktor abschirmen soll, ist löchrig und müsste dringend erneuert werden.

Tschernobyl zeigt, wie lange die Menschen unter einem AKW-Unfall leiden und wie weit die Folgen reichen. Die Atomkraft ist ein unkalkulierbares Risiko und wird es immer bleiben. Der IPPNW geht in seiner Studie „Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl – 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe“ vom April 2006 davon aus, dass bis 1999 allein 50.000 bis 100.000 der Unfall-Helfer (Liquidatoren) an den Strahlenfolgen gestorben sind. Die Zahl der Tschernobyl-Opfer insgesamt wird auf mehrere hunderttausend geschätzt. Um den Reaktor herum wurde eine Fläche von rund 40.000 Quadratkilometern so stark radioaktiv verseucht, dass sie für Jahrzehnte unbewohnbar und landwirtschaftlich nicht nutzbar bleibt. Insgesamt mussten 400.000 Menschen ihre Heimat verlassen.

Um den Austritt weiterer Radioaktivität zu verhindern, wurde nach der Katastrophe in größter Eile eine Betonhülle um den zerstörten Reaktor gebaut. Inzwischen ist der Sarkophag undicht, die Risse im Beton sind bis zu zehn Zentimeter breit,

durch das Dach gelangt Regenwasser ins Innere. Eine Studie von Dr. Helmut Hirsch und Oda Becker (Becker und Hirsch 2006) konstatiert akute Einsturzgefahr. Bei einem Einsturz würde eine riesige radioaktive Staubwolke entstehen, die die Umgebung zusätzlich verseuchen würde. Auch der eindringende Regen kann zu einer Kettenreaktion im verbliebenen Reaktorkern führen.

Die anderen Blöcke des AKW Tschernobyl wurden im Dezember 2000 endgültig stillgelegt. Mit der Abschaltung des Kernkraftwerks hören die Probleme jedoch noch lange nicht auf. Im Juli 2000 sagten die Vereinten Nationen für die Sanierung des Sarkophags Finanzhilfen in Höhe von 715 Millionen US-Dollar zu. Das Geld reicht jedoch vorne und hinten nicht: Für eine komplette Abschirmung benötigt man gut das Vierfache.

In letzter Zeit versucht die Internationale Atomenergiebehörde (IAEO) wieder verstärkt, die dramatischen Folgen der Katastrophe kleinzureden und -zurechnen. Es scheint so, als sähe die IAEO ihre Aufgabe ausschließlich in der Förderung der Atomkraft – und nicht in der Information über die oft verheerenden Folgen der Technologie. So ergeben beispielsweise die Untersuchungen der Atomenergiebehörde aus dem Jahr 1991 zu „negativen Gesundheitseffekten“ der Reaktor-katastrophe in Tschernobyl, dass seit dem Unfall „kein deutlicher Anstieg von Leukämie oder Schilddrüsentumoren“ zu verzeichnen sei. Die IAEO ignorierte dabei unverblümt bereits vorliegende Daten und Fakten für den deutlichen Anstieg von Schilddrüsenkrebs bei Kindern.

Auch jetzt versucht die IAEO auf der offiziellen Regierungskonferenz in Kiew erneut, die Folgen von Tschernobyl zu verharmlosen. Es wird Zeit, dass die IAEO ihre Aufgabe als UN-Organisation ernst nimmt und ihre offensive Unterstützung der Atom-Lobby beendet.

### 3. Tschernobyl ist kein Einzelfall

Wir haben die Gefahren der Atomkraft nicht im Griff, das zeigt nicht nur die verheerende Katastrophe von Tschernobyl. Bereits 1979 hat es in Harrisburg (USA) einen schweren Unfall in einem AKW gegeben, und auch in den letzten Jahren ist es in Deutschland und weltweit immer wieder zu ernstesten Zwischenfällen in Atomanlagen gekommen. Beispiele sind die Störfälle in Biblis (Deutschland) 1987, Tokaimura (Japan) 1999, Brunsbüttel (Deutschland) 2001, Paks (Ungarn) 2004 und zuletzt in der Nähe von St. Petersburg (Russland) 2006. Neben diesen Störfällen, die zumindest kurzfristig auch das Interesse der Öffentlichkeit auf sich gezogen haben, gibt es auch die unbekannteren Katastrophen.

#### *Majak – die vergessene Katastrophe*

Im Ural, rund 1.200 Kilometer östlich von Moskau, liegt der Ort Kyshtym in der Region Tscheljabynsk. Dort befindet sich das Chemiekombinat Majak, in dem 17.000 Menschen in einer Wiederaufbereitungsanlage zur Plutonium-Gewinnung, einem Lager für radioaktive Abfälle oder in einem der sieben Atomreaktoren, von denen fünf stillgelegt sind, arbeiten. Das Gelände um die 90 Quadratkilometer große Anlage liegt einsam an der Spitze einer traurigen Wertung: Dies ist der Ort mit der stärksten radioaktiven Kontaminierung auf der Erde.

Seit den 1950er Jahren wurde in Majak waffenfähiges Plutonium hergestellt. Mit unvorstellbarer Rücksichtslosigkeit gegenüber Mensch und Natur wurden dabei von Beginn an verheerende Verschmutzungen billigend in Kauf genommen: Der Fluss Tetscha, Trinkwasserquelle für über 120.000 Menschen, wurde als Kühlmittel benutzt und ebenso wie der Karachay-See über Jahrzehnte mit strahlendem Müll verseucht. Nach Angaben von russischen Umweltschützern ist der See mittlerweile so vergiftet, dass ein mehrstündiger Aufenthalt an seinen Ufern tödliche Folgen haben kann. Jedes dritte Kind in dem Gebiet kommt mit Missbildungen zur Welt.

Wie viele Unfälle oder „Störfälle“ dort in den letzten 50 Jahren stattgefunden haben, wissen vermutlich nur wenige Menschen ganz genau. 1957 jedenfalls ereignete sich eine Katastrophe, die dem Unglück von Tschernobyl hinsichtlich der Menge an freigesetztem radioaktivem Material in nichts nachsteht. Durch Überhitzung explodierte ein Tank mit einem flüssigen Gemisch aus Radionukliden und anderen Abfallprodukten der Plutonium-Wiederaufarbeitung. Es starben 1.000 Menschen direkt durch die Explosion. Die freigesetzte Strahlung, die mit dem Zwei- bis Sechsfachen derjenigen der Tschernobyl-Katastrophe angegeben wird, zog etwa 270.000 Menschen in Mitleidenschaft. Die Sowjet-Regierung vertuschte die Katastrophe, die Bevölkerung wurde nicht gewarnt und, wenn überhaupt, erst eineinhalb Jahre nach dem Unglück evakuiert. Erst im Juli 1989 informierte die sowjetische Regierung offiziell über die Katastrophe von Majak. Im Dezember 2002 legte die russische Atomsicherheitsbehörde die Anlage wegen der Trinkwasser-Gefährdung still, aber schon im März 2003 wurde, unter Auflagen, eine neue Genehmigung erteilt.

In den letzten Jahren ist Majak wieder in die Schlagzeilen geraten, weil ein Gesetz der Duma seit Sommer 2001 den Import radioaktiven Mülls gestattet. Seit Sommer 2003 rollen nun regelmäßig Container mit verbrauchten Brennstäben in den Ural – aus Ungarn, aus Bulgarien oder der Ukraine. Auch andere Staaten wie Japan, Südkorea, Spanien oder die Schweiz sind daran interessiert, ihre Abfälle in Majak zu lagern.

Hier schließt sich der Kreis von der vergessenen Katastrophe zur ungelösten Menschheitsaufgabe Atommüll. Eine große internationale Gefahr der Atomkraft ist der Export von Atommüll in nicht geeignete Endlager. So droht um des kurzfristigen Profits willen die langfristige Verseuchung ganzer Regionen.

#### 4. Die „Beinahe“-Katastrophen

In den letzten Jahren hat es immer wieder Störfälle gegeben, bei denen nicht viel gefehlt hätte zur großen Katastrophe. Dass sie nicht eingetreten ist, war oft schlicht Glück. Gerade diese Beispiele zeigen, dass die atomare Katastrophe jederzeit passieren kann, auch in Deutschland. Sie muss nicht erneut ein so dünn besiedeltes Gebiet wie die Ukraine betreffen.

##### *Das Beispiel Brunsbüttel*

Am 14. Dezember 2001 explodierte im AKW Brunsbüttel ein Wasserrohr im Sicherheitsbehälter. Bei der drei Tage später informierten Landesaufsichtsbehörde kamen Zweifel an der Darstellung des Betreibers auf, es handle sich bei dem Zwischenfall um eine „spontane Dichtungsleckage“. Erst nach zweimonatigem Tauziehen war der Betreiber schließlich bereit, den Reaktor für eine Inspektion herunterzufahren. Als Ursache der „Leckage“ wurde schließlich eine Wasserstoffexplosion vermutet – ein im Sicherheitskonzept der Anlage nicht vorgesehener Fall. Hätte die Explosion nur wenige Meter verschoben stattgefunden, wäre nach Einschätzung des Umweltinstituts München (Umweltnachrichten Ausgabe: 95/März 2002) ein Kühlmittelverlust wahrscheinlich gewesen. Dieser hätte dann zu einem schweren Unfall führen können.

##### *Das Beispiel Paks*

Aufsehen erregte ein Atomunfall in dem ungarischen AKW Paks im April 2003, bei dem 30 Brennelemente in einem Reinigungsbehälter beschädigt wurden und fast eine Kettenreaktion – außerhalb des inneren Sicherheitsbereichs – ausgelöst wurde. Dabei wurden radioaktive Gase freigesetzt. Dieser schwere Störfall ist auf einen von Framatome-Siemens entwickelten und installierten Reinigungsbehälter für Brennstäbe zurückzuführen. Der Reaktor stand bis Anfang 2005 still. Framatome hat sich nach inoffiziellen Angaben verpflichtet, 40 Millionen Euro Schadenersatz zu zahlen, insgesamt beläuft sich der Schaden auf etwa 200 Millionen Euro. Dies ist auch nicht gerade eine Referenz für den Hersteller, um die nächste Generation von Atomkraftwerken zu bauen!

#### 5. Sosnovy Bor – Aus Tschernobyl nicht das Geringste gelernt

Hätte nach der Katastrophe von Tschernobyl der gesunde Menschenverstand regiert, dann würden heute, fast 20 Jahre später, keine Atomkraftwerke mehr am Netz sein und ganz sicher keine Reaktoren desselben Bautyps (RBMK-1000) mehr laufen.

Die ältesten Einheiten dieses Typs stehen 80 Kilometer westlich von St. Petersburg, in Sosnovy Bor. Eigentlich wäre die Laufzeit der Reaktoren Leningrad 1 bis 4 nach rund 30 Jahren Betrieb jetzt vorbei. Wer aber meint, die hochriskanten Meiler würden nun endgültig stillgelegt, der irrt: Alle vier Reaktoren wurden in letzter Zeit nacheinander modernisiert und werden noch für weitere 15 Jahre Strom produzieren.

Im Dezember 2005 fand auf dem AKW-Gelände ein Brand statt und lenkte kurz die Aufmerksamkeit auf die alten AKWs. Dort explodierte eine Metallhütte, die zu einem Komplex gehörte, wo illegal Atommüll wiederaufbereitet wurde. Drei Arbeiter wurden dabei schwer verletzt, radioaktive Strahlung soll aber nicht freigesetzt worden sein. Auch wenn dies nur einer von vielen Störfällen war, die sich jedes Jahr in Atomkraftwerken überall in der Welt ereignen, machte er schlagartig klar: Auch nach 20 Jahren laufen immer noch AKWs, die baugleich mit dem Katastrophenreaktor sind. Und durch die extreme Ausdehnung ihrer Lebenszeit steigt das ohnehin hohe nukleare Risiko für St. Petersburg und die gesamte Region um ein Vielfaches.

Es ist ein Irrtum zu glauben, die Laufzeitverlängerungen seien nötig, um Russland mit Strom zu versorgen. Vielmehr ist das Ziel, Strom nach Westeuropa zu exportieren. Über neue Leitungen, die aus dem Nordwesten Russlands über Finnland und Schweden gen Westen führen, soll der Strom in das europäische Verbund-Netz eingespeist werden.

Indem die EU die Vernetzung und Kooperation mit dem russischen Strommarkt vorantreibt, unterstützt sie die verantwortungslose Politik der russischen Behörden, die aus reinem Profitdenken heraus die Sicherheit der eigenen Bevölkerung aufs Spiel setzen und keinerlei Rücksicht auf die Umwelt nehmen.

#### 6. Der letzte Störfall vor Redaktionsschluss

Täglich kann eine Katastrophe passieren – wie dieser Störfall vom 21.03.2006:

„In Japan ist es erneut zu einem Zwischenfall in einem Atomkraftwerk gekommen. Wie japanische Medien am Mittwoch berichteten, wurde am Abend (Ortszeit) in einer Anlage für radioaktiven Müll im Atomkraftwerk Oi in der westlichen

Provinz Fukui Feueralarm ausgelöst. Zwei Arbeiter seien wegen inhaliertem Rauchs ins Krankenhaus gebracht worden. Die Anlage habe sich laut der Polizei mit Qualm gefüllt, doch gebe es nach Angaben der Betreibergesellschaft Kansai Electric Power kein radioaktives Leck. Die Ursache war unklar. Die Umstände würden untersucht, hieß es.“

### **7. Es gibt keine „friedliche“ Nutzung der Atomkraft**

Nicht erst das aktuelle Beispiel Iran zeigt, dass zivile und militärische Nutzung der Atomenergie nicht voneinander zu trennen sind. Alle Staaten, die nach den USA Atombomben gebaut haben, hatten zunächst ein ziviles Atomprogramm. Das zeigt: Der Export und die Verbreitung von Atomtechnologie erhöhen erheblich das Risiko der Verbreitung von Atomwaffen.

Die Befürworter der Atomenergie halten weiterhin an einem fatalen Irrtum fest: Die Nutzung der Atomtechnologie zur Stromproduktion sei eine gute Sache, die Entwicklung und Verbreitung von atomaren Waffen seien eine schlechte. Beide könne man voneinander trennen. Doch seit dem Beginn ihrer Entwicklung stand die so genannte „friedliche“ Nutzung der Atomenergie in unmittelbarem Zusammenhang mit der atomaren Rüstung.

Sowohl für Atomkraftwerke als auch für Atombomben wird so genanntes angereichertes Material benötigt, wie es in der Natur nicht vorkommt. Die Produktion einer Bombe mit hoch angereichertem Uran ist sehr teuer und aufwändig. Allerdings gibt es einen anderen Weg zur Atombombe, basierend auf Plutonium: Während des Betriebs von Atomkraftwerken wandelt sich ein Teil des Urans in Plutonium um. Die Reaktoren des Tschernobyl-Typs wurden extra zur Plutoniumerzeugung für den Bombenbau konstruiert, die Stromproduktion galt als Nebeneffekt. Druckwasserreaktoren, heute am häufigsten in AKWs verwendet, waren für den Antrieb von Atom-U-Booten konzipiert. Wiederaufbereitungsanlagen verfolgen immer auch einen militärischen Zweck, nämlich die Abtrennung des Atombomben-Plutoniums aus abgebrannten Brennelementen.

Der Internationalen Atomenergiebehörde wurden 2004 121 Fälle von illegalem Handel mit radioaktiven Materialien gemeldet, darunter auch ein Fall des Handels mit spaltbarem Material (hoch angereichertem Uran oder Plutonium). Dieses könnte für den Bau einer Atombombe verwendet werden. Seit 1993 sind insgesamt 18 Fälle von illegalem Handel mit waffenfähigem Material bekannt geworden, darunter einige Fälle mit substantiellen Mengen. Wie die IAEA in ihrer jährlichen Übersicht festgehalten hat (IAEA 2004), steckten hinter einer Vielzahl der Vorfälle kriminelle Machenschaften.

Etwa 50 dieser Vorkommnisse betreffen Substanzen und Mengen, die zwar nicht für den Bau einer Atombombe geeignet sind, aber durchaus für den Bau so genannter „schmutziger Bomben“. Dabei handelt es sich um Sprengsätze aus konventionellem Sprengstoff, dem radioaktives Material beigemischt wurde. Sicherheitsexperten befürchten Terroranschläge mit „schmutzigen Bomben“. Wenn diese auch nicht die enorme Sprengkraft einer echten Atombombe besitzen, da keine Nuklearexplosion ausgelöst wird, so ist es doch Ziel ihres Einsatzes, radioaktives Material über Städte und Landstriche zu verstreuen und diese auf lange Sicht unbewohnbar zu machen.

Die Nutzung der Atomkraft ist immer mit dem Risiko verbunden, dass waffenfähiges Material weitergegeben wird. Dieses Risiko könnte in den nächsten Jahren noch größer werden. Denn etliche neue AKWs sind in Ländern geplant, die nicht zu den politisch stabilen Regionen der Welt zählen.

### **8. Das Terror-Risiko**

Seit den Ereignissen vom 11. September 2001 gelten Atomkraftwerke als potenzielles Ziel terroristischer Anschläge. Gerade im dicht besiedelten Mitteleuropa könnten mit einem einzigen „geglückten“ Attentat, etwa dem gezielten Absturz einer voll getankten Passagiermaschine, unvorstellbare Schäden angerichtet werden. Weil neue Atomkraftwerke seit 1973 lediglich gegen Unfälle mit kleinen Militärmaschinen ausgerüstet wurden, sind die bisherigen Sicherheitsrichtlinien veraltet und entsprechen nicht den jetzigen Bedrohungsszenarien.

Im Oktober 2001 war diese Erkenntnis auch beim Bundesumweltministerium angekommen: Eine bei der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) in Auftrag gegebene unveröffentlichte Studie sollte herausfinden, wie sicher die deutschen AKWs im Falle eines Flugzeugabsturzes bzw. eines terroristischen Angriffs mit einem Passagierflugzeug wären. Die Ergebnisse der Studie lagen dem Ministerium ein Jahr später vor, sollten aber aus Sicherheitsgründen geheim gehalten werden.

Das ist verständlich, denn das Ergebnis der Studie war (und ist) dramatisch: Letztlich ist keiner der noch laufenden 17 Reaktoren gegen die Folgen eines Flugzeugabsturzes gefeit, eine atomare Katastrophe ist an keinem Standort völlig auszuschließen. Ein besonders hohes Risiko wurde den Reaktoren Biblis A, Brunsbüttel, Isar 1 und Philippsburg 1 attestiert.

Selbst die sieben neueren Druckwasser-Reaktoren sind nicht hundertprozentig gegen so ein Szenario geschützt. Obwohl ihre Betonhüllen dem Aufprall eines großen Passagierflugzeugs wahrscheinlich standhalten würden, wären die Folgen im Inneren der Anlage durch die schweren Erschütterungen nicht absehbar: „Beherrschung fraglich“ heißt es an entsprechender Stelle in der Untersuchung. Der BUND hatte die Zusammenfassung der Studie im Internet veröffentlicht.

Statt zumindest die am meisten gefährdeten AKWs schnell abzuschalten, wird in Deutschland ernsthaft darüber diskutiert, die AKWs durch schnelles Vernebeln vor Angriffen zu schützen.

Die Erfolgsaussichten der Vernebelungstaktik sind im Ernstfall mehr als fraglich, wenn man sich etwa einen Vorfall vom März 1988 ins Gedächtnis ruft: Damals war ein französisches Kampflugzeug des Typs Mirage nur zwei Kilometer (ca. fünf Flugsekunden) vor dem Reaktor Isar 1 in den Wald gestürzt. Wie sollte man in so kurzer Zeit ein ganzes AKW in Nebel einhüllen? Doch selbst wenn die von Hand auszulösenden (!) Nebelwerfer schnell genug wären, bliebe fraglich, ob ein trainierter Pilot das Terrorziel nicht trotzdem treffen würde. Im Zweifelsfall müsste er nur eine Warteschleife drehen, da die Nebelwand je nach Windverhältnissen nur zwei Minuten besteht. Außerdem gibt es für Terroristen auch andere Sabotagemöglichkeiten, die sich mit Nebel gar nicht ausschließen lassen.

Neben den AKWs selbst stellen auch Atommüll-Lager oder Wiederaufarbeitungsanlagen (WAA) ein denkbares Ziel terroristischer Angriffe dar. Nach einer Studie von WISE-Paris (WISE-Paris 2001) könnte etwa bei einem Flugzeug-Absturz auf die französische WAA in La Hague bis zu 60-mal so viel Caesium-137 frei werden wie in Tschernobyl 1986.

Man mag sich die Konsequenzen eines solchen Szenarios kaum ausmalen, aber zu den Lehren des 11. September 2001 gehört auch, das zuvor Undenkbare zu denken. Die verantwortungsvolle Antwort muss der schnelle Atomausstieg sein.

## 9. Das Menschheitsproblem Atommüll

Die Produktion von Atommüll ist unverantwortlich, weil wir den nachfolgenden Generationen ein gefährliches strahlendes Erbe hinterlassen.

In keinem Land der Erde ist bis heute ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Betrieb. Und ein „sicheres“ Endlager für Strahlenmüll mit Halbwertszeiten von mehreren zehntausend Jahren kann es ohnehin niemals geben. Kein Mensch kann heute sagen, wie die politischen und geologischen Verhältnisse auf der Welt in 500, geschweige denn in Tausenden von Jahren aussehen. Und hochradioaktiver Atommüll muss für eine Million Jahre sicher gelagert werden. Atommüll bleibt also eine tickende Zeitbombe für alle nachfolgenden Generationen.

Sollte es in Deutschland zu längeren Laufzeiten für die AKWs kommen, würde auch die Menge des strahlenden Mülls noch einmal deutlich ansteigen.

Da deutsche AKWs nur mit einem Entsorgungsnachweis betrieben werden dürfen, muss seit mehr als 30 Jahren die Erkundung des Salzstocks in Gorleben im niedersächsischen Wendland als Nachweis erhalten. Das Prinzip „Hoffnung“ kommt, wie bei Annahmen über die AKW-Sicherheit, auch bei der Atommüllentsorgung zum Einsatz. Fachlich ist der Zweckoptimismus jedoch nicht zu begründen: Namhafte Geologen bezweifeln in Gutachten, dass Gorleben für hochradioaktiven Müll geeignet ist.

Der „Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlager“ (AKEnd) hat im Auftrag der Bundesregierung vernünftige Kriterien für die Suche nach Alternativstandorten entwickelt. Die Ergebnisse liegen seit Jahren vor. Passiert ist wenig.

Noch immer setzt die Atomwirtschaft auf Gorleben. Schacht Konrad ist inzwischen vom Oberverwaltungsgericht als Endlager für schwach- und mittelradioaktiven Müll genehmigt worden. Und dies, obwohl es keine gesetzlichen Kriterien für ein Endlager gibt und erhebliche Zweifel an der Langzeitsicherheit des Salzstocks bestehen.

Gerade weil es bei der Suche nach einem Endlagerstandort immer nur um den bestmöglichen Standort gehen kann, wirkliche Sicherheit aber nicht garantiert werden kann, ist die wichtigste Voraussetzung für die Genehmigung eines Endlagers die Stilllegung der Atomkraftwerke. Seit 50 Jahren wird in Europa Atomstrom produziert, seit 50 Jahren fehlt das Endlager. Mehr ist eigentlich über das Verantwortungsbewusstsein der AKW-Betreiber nicht zu sagen.

Es besteht die große Gefahr, dass in vielen Ländern ungeeignete Lager genehmigt werden oder dass der Atommüll in wenige Länder exportiert wird, die sich hiervon einen kurzfristigen wirtschaftlichen Vorteil versprechen. Neben Russland kommt hier auch die Ukraine in Betracht. Der ukrainische Präsident musste seinen Vorschlag, das internationale Atommüllendlager doch in der ohnehin verseuchten Region Tschernobyl einzurichten, zwar auf Druck auch der eigenen Bevöl-

kerung wieder zurücknehmen. Aber dieser Vorschlag zeigt, dass es in den nächsten Jahren eine stärkere Debatte über den Export von westeuropäischem Atommüll geben kann.

## 10. Die Gefahrzeitverlängerung

Längere Laufzeiten erhöhen noch einmal das atomare Risiko. Die Debatte um längere Laufzeiten für Atomkraftwerke ist nicht auf Deutschland beschränkt. Die zusätzlichen Gefahren, die durch die Alterung der Reaktoren und den Weiterbetrieb von veralteten Atomkraftwerken entstehen, sind ein internationales Problem. Derzeit liegt das Durchschnittsalter von Atomkraftwerken bei der Abschaltung bei ca. 20 Jahren. Nach 20 Jahren Betrieb beginnen üblicherweise die Alterungseffekte. Nach dem geltenden Atom-Konsens sind für Deutschland Laufzeiten von etwa 32 Jahren vorgesehen. In vielen Ländern waren die Genehmigungen für Atomkraftwerke ursprünglich auf 30 Jahre befristet, so etwa in Frankreich. Jetzt werden Laufzeiten bis zu 60 Jahren ins Spiel gebracht. Wir halten das für unverantwortlich.

Die Alterungseffekte können viele wichtige Bereiche eines Atomkraftwerks betreffen: den Reaktordruckbehälter, die Röhren des Kühlkreislaufes, die Pumpen für diesen Kühlkreislauf, Dampf-Generatoren und Turbinen. Insgesamt führt dies zu einer zunehmenden Ausnutzung der Sicherheitsreserven.

Laufzeitverlängerungen in Deutschland könnten als Erstes AKWs wie Brunsbüttel oder Biblis A betreffen, die ihre Unsicherheit bereits mehrfach unter Beweis gestellt haben. Darüber hinaus auch AKWs, die nicht ausreichend gegen Flugzeugabstürze oder terroristische Angriffe gesichert sind. Diese bereits jetzt vorhandenen Risiken müssten eigentlich zu einem beschleunigten Atomausstieg führen.

Die Tendenz, dass Atomkraftwerke weltweit im Schnitt immer älter werden, hat Einfluss auf das Gesamtrisiko. Im Jahr 2025 wird der Anteil „moderner“ Reaktoren bei höchstens zwölf Prozent liegen. Das Durchschnittsrisiko eines Unfalls wird in den kommenden 20 Jahren vor allem durch die derzeit in Betrieb befindlichen AKWs bestimmt. Bei zunehmender Alterung der AKWs wird sich deshalb das Risiko eines Störfalls erhöhen.

## 11. Die Klimakatastrophe und Atomkraft

Die Klimakatastrophe ist für die Menschheit eine große Gefahr. Aber es wäre absolut unverantwortlich, dieser Gefahr mit Atomkraft begegnen zu wollen und somit deren Risiken in Kauf zu nehmen. Diese Alternative stellt sich allerdings so auch nicht.

Denn: Das umweltpolitische Argument, nur mit der Atomkraft sei eine globale Lösung der CO<sub>2</sub>-Problematik zu erreichen, ist schlicht Unsinn. Die Atomkraft kann keine Lösung für die Klimaproblematik sein. Die AKWs haben einen schlechten Wirkungsgrad und die begrenzten Uranvorkommen erlauben auch langfristig nur einen minimalen Anteil an der Weltenergieproduktion. Derzeit liegt der Anteil der Atomkraft am weltweiten Energieverbrauch nur bei knapp drei Prozent. Für einen relevanten Anteil müssten hunderte neuer AKWs gebaut werden. Dies ist glücklicherweise kein realistisches Szenario.

Auch für Deutschland ist die Atomkraft klimapolitisch kontraproduktiv: Denn durch den Weiterbetrieb der AKWs bleibt die Struktur zentraler, ineffizienter Großkraftwerke erhalten. Die Energiewende hin zu kleineren effizienteren Einheiten durch die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung und den ambitionierten Ausbau der erneuerbaren Energien wird gebremst.

## 12. Zusammenfassung

Der 20. Jahrestag der Tschernobyl-Katastrophe erinnert uns wieder daran, wie gefährlich und unverantwortlich die Atomkraft ist. Die Auswirkungen dieses einen Unfalls sind noch immer spürbar, die Menschen in der Ukraine leiden noch heute darunter. Die Gefahren werden nicht geringer, sondern die Risiken steigen. Zu den bestehenden Problemen kommt das Risiko der Alterung der Atomkraftwerke hinzu, und die Terrorgefahr ist seit dem 11. September 2001 zu einer neuen Realität geworden. Das ungelöste Problem der Endlagerung wäre allein Grund genug, sofort aus der Atomkraft auszusteigen.

**Atomkraftwerke stilllegen! Jeder Tag ihres Betriebs ist einer zu viel!**

## Literatur

Becker, O. und H. Hirsch (2006): Keine Lösung in Sicht – Die Lage am Standort Tschernobyl. Studie im Auftrag von Greenpeace. Hannover.

IAEO (2004): Illicit trafficking and other unauthorized activities involving nuclear and radioactive materials. IAEO. Wien.

WISE-Paris (2001): The consequences of the crash of an airliner on La Hague are unimaginable. WISE-Paris, 8 October 2001: [www.wise-paris.org](http://www.wise-paris.org).

## Nachhaltige Energieversorgung – Was kann die Kernenergie dazu beitragen?

Prof. Dr.-Ing. Alfred Voß

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart

### Zusammenfassung

Das dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung zugrunde liegende Prinzip der Mitverantwortung für die kommenden Generationen verlangt, ihnen nicht nur eine intakte Umwelt, sondern auch einen Bestand an technisch-wirtschaftlich nutzbaren Ressourcen (energetischen und nicht energetischen) zu hinterlassen, der ihnen einen Erhalt oder eine Verbesserung der Lebensbedingungen ermöglicht. Ein weiteres konstitutives Element von Nachhaltigkeit ist, dass die Energiedienstleistungen mit einem möglichst geringen Aufwand an Ressourcen, einschließlich der Ressource Umwelt, bereitgestellt werden.

Untersucht man die Ressourcen- und Umweltintensität von fossilen, nuklearen und erneuerbaren Stromerzeugungssystemen mittels Material-, Energie- und Stoffbilanzen, die den gesamten Lebensweg erfassen, so stellt sich die Kernenergie als ein sehr ressourceneffizientes Strombereitstellungssystem dar (was sich in den vergleichsweise geringen Gesamterzeugungskosten ausdrückt), das einen bedeutenden Anteil an einer nachhaltigen Energieversorgung haben kann.

Ein Verzicht auf die weitere Nutzung der Kernenergie würde nicht nur den Verzicht auf eine große technisch-wirtschaftlich verwertbare Energiebasis, sondern auch auf eine Energiebereitstellungsoption bedeuten, die durch eine geringe Ressourcenintensität sowie durch vergleichsweise kleine Umwelteffekte und Risiken gekennzeichnet ist und die einen wichtigen Beitrag zu einer wettbewerbsfähigen Strombereitstellung, zum Schutz des Klimas und damit zu einer nachhaltigen Energieversorgung leisten kann.

### Nachhaltigkeit und Energieversorgung

Obwohl festzustellen ist, dass das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung über die verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen hinweg eine breite prinzipielle Zustimmung findet, so weisen doch die Vorstellungen und Interpretationen des Leitbildes, sowohl hinsichtlich ihrer normativen bzw. theoretisch-naturwissenschaftlichen Fundierungen als auch hinsichtlich ihrer abgeleiteten Handlungsziele bzw. Handlungsanweisungen – dies gilt gerade für den Energiebereich – ein breites Spektrum auf.

Soll das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung nicht zur bloßen Worthülse werden, mit der Gefahr, für unterschiedliche Interessen instrumentalisiert zu werden, dann ist eine inhaltliche Konkretisierung dringend geboten. Diese ist auch unumgänglich, will man die verschiedenen Energieoptionen im Hinblick auf ihre Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung bewerten und einordnen, und sie ist notwendig, um Schritte in die richtige Richtung von irreführenden Wegen unterscheiden zu können.

Im Verständnis der Brundtland-Kommission sowie der Rio-Deklarationen von 1992 beinhaltet das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung die beiden sich scheinbar widersprechenden Forderungen nach schonender Umweltnutzung, die die Tragekapazität und den immateriellen Wert von Umwelt und Natur auf Dauer erhält, und nach weiterer wirtschaftlicher und sozialer Entwicklung. Die Brundtland-Kommission charakterisiert als nachhaltige Entwicklung eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre Bedürfnisse nicht befriedigen können.

Nachhaltige Entwicklung meint also eine Entwicklung, welche die Verbesserung der ökonomischen und sozialen Lebensbedingungen aller Menschen, der heute und zukünftig lebenden, mit der langfristigen Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang bringt. Nachhaltige Entwicklung als Leitbild geht also über die ökologischen Fragen weit hinaus und betrifft insbesondere auch den Erhalt bzw. die Verbesserung ökonomischer und sozialer Leistungsfähigkeiten. Es sind diese drei Dimensionen von Nachhaltigkeit, die gleichrangig zu beachten sind.

Diese allgemeinen inhaltlichen Beschreibungen von Nachhaltigkeit, die für viele zustimmungsfähig sind, sagen aber noch wenig darüber aus, worauf es bei einer nachhaltigen Entwicklung konkret, z.B. in Bezug auf die Energieversorgung, ankommt. Jede praktische Konkretisierung des Leitbildes Nachhaltigkeit kann nur dann tragfähig sein, wenn sie, was die materiell-energetischen Aspekte betrifft, den Naturgesetzen Rechnung trägt. In diesem Kontext kommt dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, den der Chemiker und Philosoph Wilhelm Ostwald „das Gesetz des Geschehens“ nannte, eine besondere Bedeutung zu.

Die wesentliche Aussage des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik ist, dass Leben und die dazu notwendige Befriedigung von Bedürfnissen, aber auch die Erbringung kultureller Leistungen unumgänglich mit dem Verbrauch von arbeitsfähiger Energie und verfügbarer Materie verbunden sind. Darüber hinaus ist der besonderen Rolle der Ressource Wissen

Rechnung zu tragen. Unser Wissen ist zwar zu jedem Zeitpunkt begrenzt, es wird aber nicht verbraucht, sondern ist sogar vermehrbar. Die durch Wissenszuwachs steigende Gestaltungsfähigkeit und die damit mögliche Weiterentwicklung von Technik sind die Basis, um die Entfaltungsspielräume für die kommenden Generationen zu erhalten und zu erweitern.

Im Kontext einer Konkretisierung des Leitbildes der Nachhaltigkeit lässt sich die Notwendigkeit der Begrenzung von ökologischen Belastungen und von Klimaänderungen wohl begründen. Schwieriger wird es schon bei der Frage, ob denn die Nutzung erschöpfbarer Energieressourcen mit dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung vereinbar ist, denn Erdöl und Erdgas oder auch Kernbrennstoffe, die wir heute verbrauchen, stehen zukünftigen Generationen ja nicht mehr zur Verfügung. Hieraus wird dann abgeleitet, dass nur die Nutzung erneuerbarer Energien oder erneuerbarer Ressourcen mit dem Leitbild Nachhaltigkeit vereinbar sei. Dies ist aus zwei Gründen nicht tragfähig. Zum einen ist auch die Nutzung erneuerbarer Energie, z.B. von solarer Energie, immer mit einer Inanspruchnahme von nicht erneuerbaren Ressourcen, z.B. nicht-energetischen Rohstoffen und Materialien, verbunden, deren Vorräte auch begrenzt sind. Und zum zweiten würde dies bedeuten, dass nicht erneuerbare Ressourcen überhaupt nicht, auch nicht von den zukünftigen Generationen genutzt werden dürften.

Wenn also eine unveränderte Weitergabe der nicht erneuerbaren Ressourcenbasis offensichtlich unmöglich ist, dann kommt es im Sinne des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung darauf an, den nachkommenden Generationen eine technisch-wirtschaftlich nutzbare Ressourcenbasis zu hinterlassen, die ihnen die Befriedigung ihrer Bedürfnisse mindestens entsprechend unserem heutigen Niveau erlaubt. Die jeweils verfügbare Energie- und Rohstoffbasis wird aber wesentlich durch die verfügbare Technik bestimmt. Energie- und Rohstofflagerstätten, die zwar in der Erdkruste vorhanden sind, aber mangels entsprechender Explorations- und Fördertechniken nicht gefunden bzw. nicht wirtschaftlich genutzt werden können, können keinen Beitrag zur Sicherung der Lebensqualität leisten. Es ist also der Stand des Wissens und der Technik, der aus wertlosen Ressourcen verfügbare Ressourcen macht und ihre Quantität mitbestimmt.

Für die begrenzten Energievorräte bedeutet dies, dass ihre Nutzung mit dem Leitbild Nachhaltigkeit so lange vereinbar ist, wie es gelingt, den nachfolgenden Generationen eine mindestens gleich große technisch-wirtschaftlich verwertbare Energiebasis zur Verfügung zu stellen. Anzumerken ist hier, dass in der Vergangenheit – trotz steigenden Verbrauchs fossiler Energieträger – die nachgewiesenen Reserven, d.h. die technisch und ökonomisch verfügbaren Energiemengen, zugenommen haben. Darüber hinaus konnten durch technisch-wissenschaftlichen Fortschritt neue Energiebasen, wie die Kernenergie oder ein Teil der erneuerbaren Energieströme, technisch-wirtschaftlich genutzt werden.

Was nun die Inanspruchnahme der Senkenfunktion der Ressource Umwelt betrifft, so müsste stärker beachtet werden, dass Umweltbelastungen, auch die im Zusammenhang mit unserer heutigen Energieversorgung, vorrangig durch anthropogen hervorgerufene Stoffströme, durch Stoffzerstreuung, d.h. Stofffreisetzung in die Umwelt, verursacht werden. Es ist also nicht die Nutzung der Arbeitsfähigkeit der Energie, die die Umwelt schädigt, sondern es sind vielmehr die mit dem jeweiligen Energiesystem verbundenen stofflichen Freisetzungen, wie z.B. das Schwefeldioxid oder das Kohlendioxid bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas, die zu Umweltbelastungen führen.

Dies wird deutlich an der Sonnenenergie, die mit ihrer zur Verfügung stehenden solaren Strahlung einerseits Hauptquelle allen Lebens auf der Erde ist, andererseits aber auch der bei weitem größte Entropiegenerator, weil nahezu die gesamte Energie der Sonne nach ihrer Entwertung als Wärme bei Umgebungstemperatur in den Weltraum wieder abgestrahlt wird. Da diese Strahlung nicht an einen stofflichen Energieträger gebunden ist, resultieren aus der Entropieerzeugung keine Umweltbelastungen im heutigen Sinn. Dies schließt natürlich Stofffreisetzungen und damit verbundene Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der Herstellung einer Solaranlage nicht aus. Der hier angesprochene Sachverhalt ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil er die Möglichkeit einer Entkopplung von Energieverbrauch (Verbrauch an Arbeitsfähigkeit) und Umweltbelastung beinhaltet. Ein wachsender Verbrauch an arbeitsfähiger Energie und sinkende Umwelt- und Klimabelastungen sind somit kein Widerspruch. Die Stofffreisetzungen, nicht die Energieströme, müssen begrenzt werden, will man die Umwelt und das Klima schützen.

Neben der Erweiterung der technisch-wirtschaftlich verfügbaren Ressourcenbasis kommt nach dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung natürlich auch dem haushälterischen Umgang mit Energie, oder besser gesagt, mit allen knappen Ressourcen eine besondere Bedeutung zu. Effiziente Ressourcennutzung im Zusammenhang mit der Energieversorgung betrifft dabei nicht nur die Ressource Energie, da die Bereitstellung von Energiedienstleistungen immer auch den Einsatz anderer knapper Ressourcen, wie nicht energetischer Rohstoffe, von Kapital, Arbeit und Umwelt, erfordert.

Die effiziente Nutzung aller Ressourcen, die aus dem Leitbild Nachhaltigkeit resultiert, entspricht aber auch dem allgemeinen ökonomischen Prinzip. Aus beiden folgt, dass ein Energiesystem oder eine Energiewandlungskette zur Bereitstellung von Energiedienstleistungen dann effizienter als eine andere ist, wenn sie für die Energiedienstleistung weniger Ressourcen einschließlich der Ressource Umwelt benötigt. In der Ökonomie dienen Kosten und Preise als Maß für die Inanspruchnahme knapper Ressourcen. Geringere Kosten bei gleichem Nutzen bedeuten eine ökonomisch effizientere, eine ressour-

censchonendere, d.h. nachhaltigere Lösung. Dieses Verständnis von Kosten, so scheint es, ist in der Energiediskussion weitgehend verloren gegangen.

Gegen Kosten als Maß für Nachhaltigkeit von Energiesystemen mag man einwenden, dass gegenwärtig die externen Effekte, z.B. von Umweltschäden, in den Kostenkalkülen noch nicht erfasst werden. Diesem Umstand kann durch die Internalisierung externer Kosten, d.h. eine Inwertsetzung von Umwelt und Natur, abgeholfen werden. Wenn wir uns bewusst machen, dass Kosten, die externe Effekte so weit wie möglich mit berücksichtigen, das derzeit beste Maß für die Inanspruchnahme knapper Ressourcen sind, dann kommt ihnen auch eine besondere Bedeutung bei der Beurteilung von Energietechniken im Hinblick auf das Leitbild Nachhaltigkeit zu. Nachhaltige Energiesysteme sind also solche, deren Vollkosten oder gesamtwirtschaftliche Kosten möglichst gering sind.

Ökonomische Effizienz ist deshalb auch ein zentrales Prinzip für die Verwirklichung einer nachhaltigen Energieversorgung. Hierauf wird später im Zusammenhang mit dem Ordnungsrahmen für die Energiewirtschaft noch einmal Bezug genommen. Kosteneffizienz ist darüber hinaus die Basis einer wettbewerbsfähigen Energieversorgung zur energieseitigen Sicherung der wirtschaftlichen Entwicklung und ausreichender Beschäftigung in unserem Land, und sie ist der Schlüssel zur Vermeidung nicht tolerierbarer Klimaveränderungen. Beide sind ja zentrale Aspekte des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung.

Aus dem bisher Gesagten lassen sich für eine Operationalisierung des Leitbildes Nachhaltigkeit im Hinblick auf die Energieversorgung die folgenden Orientierungs- und Handlungsregeln ableiten:

1. Die Nutzung erneuerbarer Ressourcen darf auf Dauer nicht größer sein als ihre Regenerationsrate.
2. Nicht erneuerbare Energieträger und Rohstoffe sollen nur in dem Umfang verwendet werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger wirtschaftlich nutzbarer Ersatz verfügbar gemacht wird, in Form neu erschlossener Vorräte, erneuerbarer Ressourcen oder einer höheren Produktivität der Ressourcen.
3. Stoffeinträge in die Umwelt dürfen auf Dauer die Aufnahmekapazität bzw. Assimilationsfähigkeit der natürlichen Umwelt nicht überschreiten.
4. Die Gefahren und Risiken für die menschliche Gesundheit müssen kleiner sein als die durch die Energienutzung vermiedenen natürlichen Gefahren und Risiken.
5. Die Bereitstellung von Energiedienstleistungen soll zu möglichst geringen gesamtwirtschaftlichen Kosten (private plus externe Kosten) erfolgen.

Abgesehen von der besonderen Betonung unserer Verantwortung für die kommenden Generationen ist das Leitbild Nachhaltigkeit durchaus kompatibel mit den allgemein verfolgten energiepolitischen Zielen, Energie

- bedarfsgerecht und sicher,
- mit möglichst geringen volkswirtschaftlichen Kosten
- und umweltverträglich

bereitzustellen.

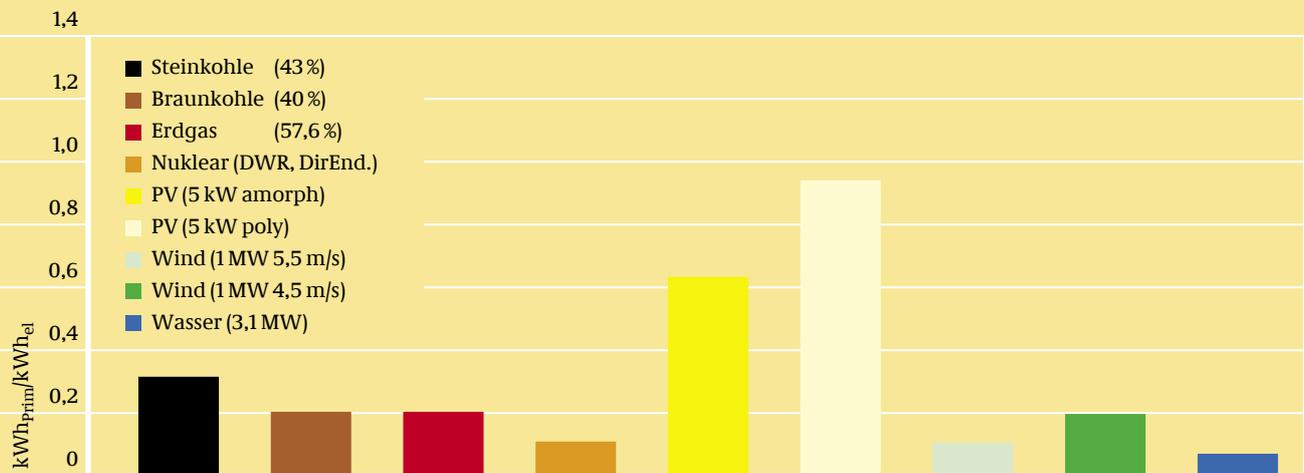
### **Nachhaltigkeit verschiedener Stromerzeugungssysteme**

Ausgehend von der inhaltlichen Konkretisierung des Leitbildes „Nachhaltige Entwicklung“ sollen nun exemplarisch verschiedene Stromerzeugungssysteme bezüglich ihrer relativen Nachhaltigkeit, d.h. in Bezug auf ihre Ressourcen- und Umweltinanspruchnahme sowie ihre Kosten, verglichen werden. Dazu werden Ergebnisse von Material-, Energie- und Stoffbilanzen erläutert, die alle Stufen und Prozesse erfassen, die für die Energiebereitstellung notwendig sind. Die Bilanzierung erfolgt also über den gesamten Lebensweg und erfasst alle vor- bzw. nachgelagerten Prozessschritte der Bereitstellung des Energieträgers sowie der Materialien für die involvierten technischen Anlagen, insbesondere die Energiewandler. Dies entspricht einer Betrachtung von der Wiege bis zur Bahre. Die exemplarischen Darstellungen beschränken sich auf Stromerzeugungssysteme, die dem Stand der Technik im Jahr 2000 entsprechen und mit heutigen Produktionsstrukturen hergestellt werden.

**Energieaufwand**

Die Bereitstellung von Energie ist immer mit einem investiven Energieaufwand für die Errichtung der Anlagen und im Falle der fossilen und nuklearen Energieträger auch für die Bereitstellung des Brennstoffs sowie für die Entsorgung verbunden.

Abbildung 1: Spezifischer kumulierter Energieaufwand (KEA)



Quelle: Marheineke 2002

Der kumulierte Energieaufwand, der in Abbildung 1 für verschiedene Stromerzeugungssysteme dargestellt ist, erfasst den Aufwand an Primärenergie für die Herstellung und Entsorgung des Kraftwerks und die Gewinnung und Bereitstellung des Brennstoffes, um eine kWh Elektrizität bereitzustellen. Für die Windenergie liegt er im Bereich von 0,1 bis 0,2 kWh<sub>prim</sub>/kWh<sub>el</sub>. Bei der Steinkohle, Braunkohle und beim Erdgas wird er wesentlich durch den Energieaufwand für die Gewinnung, Aufbereitung und den Transport des Brennstoffs bestimmt. Bei der Wasserkraft und der Kernenergie liegt er im Bereich von 0,1 kWh<sub>prim</sub>/kWh<sub>el</sub> und bei der Photovoltaik derzeit noch knapp um einen Faktor 6 bis 10 höher. Dies schlägt sich dann auch in der energetischen Amortisationszeit nieder, die bei der Photovoltaik etwa sechs bis neun Jahre beträgt und damit deutlich länger als bei allen anderen Systemen ist.

**Materialaufwand**

Tabelle 1 zeigt für ausgewählte Materialien die Ressourcenintensität der hier betrachteten Stromerzeugungssysteme. Erfasst ist der jeweilige Materialaufwand für den Bau des Kraftwerks sowie für alle Prozessschritte zur Bereitstellung des Brennstoffs.

Tabelle 1: Rohstoff- und Materialaufwand

	Eisen kg/GWh <sub>el</sub>	Kupfer kg/GWh <sub>el</sub>	Bauxit kg/GWh <sub>el</sub>
Steinkohle (43%)	2.308	2	20
Braunkohle (40%)	2.104	8	19
Erdgas GuD (57,6%)	969	3	15
Nuklear (DWR, DirEnd.)	445	6	27
PV (5 kW) poly	6.708	251	2.100
PV (5 kW) amorph	8.153	338	2.818
Wind (1 MW) 5,5 m/s	5.405	66	54
Wind (1 MW) 4,5 m/s	10.659	141	110
Wasser (3,1 MW)	2.430	5	10

Quelle: Marheineke 2002

Die Tabelle erfasst nur einen kleinen Teil der Rohstoffressourcen und stellt daher keine vollständige Materialbilanz dar. Sie lässt aber erkennen, dass die geringere Energiedichte der solaren Strahlung und des Windes über die notwendigen großen Energiesammelungsflächen zu einem vergleichsweise hohen Materialbedarf führt.

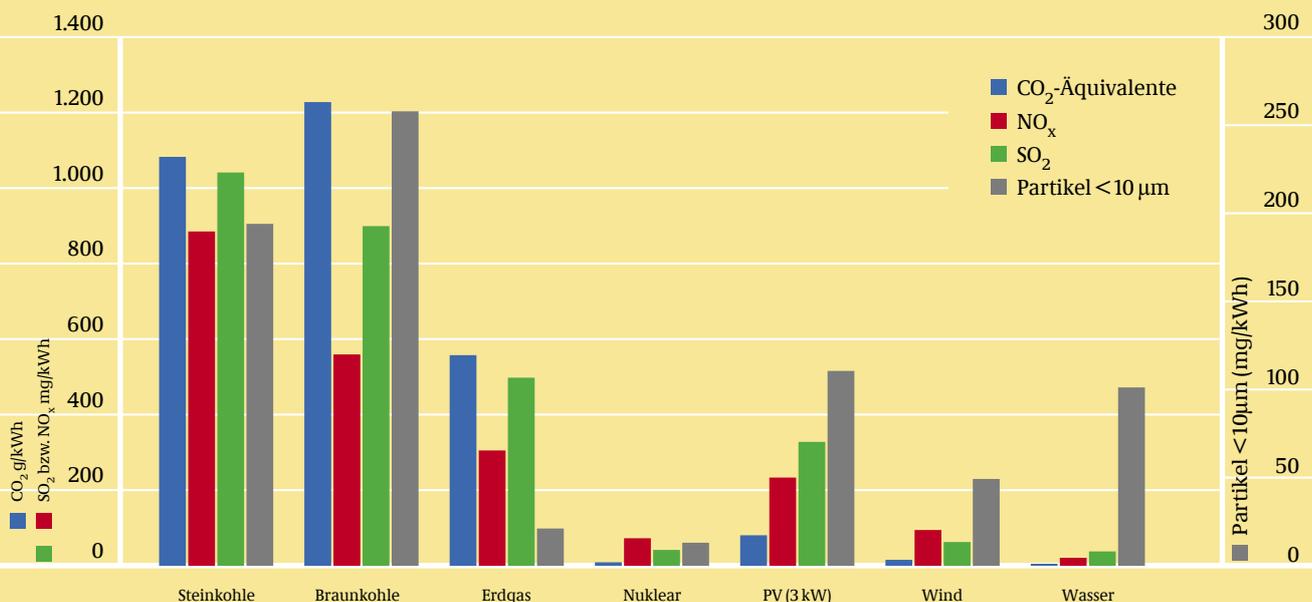
Dem hohen Materialaufwand bei Wind und Photovoltaik steht gegenüber, dass die Stromerzeugung nicht an die Umsetzung eines stofflichen Energieträgers gebunden ist. Diesbezügliche Stofffreisetzungen, die zu Umweltbelastungen führen, treten somit nicht auf. Umweltbelastungen, die aus Stoffemissionen resultieren, können demnach nur im Zusammenhang mit der Herstellung und Entsorgung des Kraftwerks entstehen.

#### Kumulierte Emissionen

In Abbildung 2 sind die kumulierten, über den gesamten Lebensweg aufsummierten Emissionen ausgewählter Schadstoffe der hier betrachteten Stromerzeugungssysteme einander gegenübergestellt.

Bei den hier erfassten Schadgasen sind die auf die erzeugte kWh bezogenen Emissionen der Kernenergie, der Wasserkraft (bis auf die Partikelemissionen) und der Windstromerzeugung vergleichsweise niedrig. Verglichen mit dem Erdgas sind die kumulierten Emissionen der Photovoltaik durchaus beachtlich.

Abbildung 2: Kumulierte Emissionen



Quelle: Hirschberg (PSI, 2004)

Hier drückt sich der Umstand aus, dass ein hoher kumulierter Energieaufwand und eine hohe Materialintensität auch bei energierohstofflosen Energiebereitstellungssystemen mit hohen indirekten Schadstoffemissionen verbunden sein können.

#### Gesundheitsrisiken

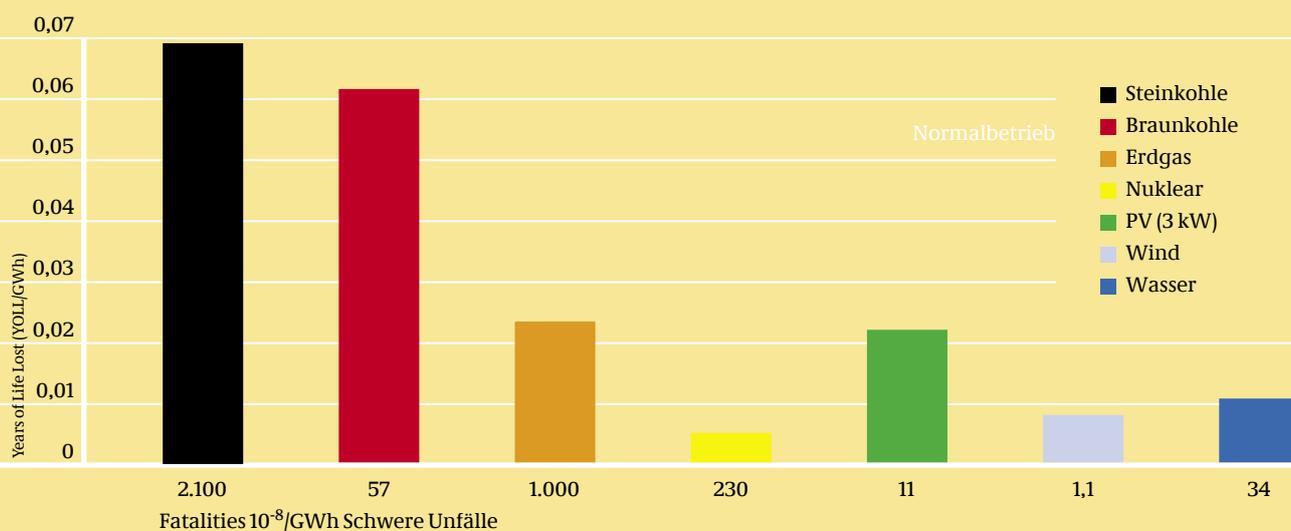
Die Stromerzeugung mittels fossiler oder nuklearer sowie aus erneuerbaren Energien ist mit direkten oder indirekten Emissionen von Luftschadstoffen bzw. Belastungen durch ionisierende Strahlung verbunden, die zu Krankheiten führen können. Ausgehend von den mittels einer Lebensweg-Analyse ermittelten kumulierten Emissionen lassen sich die Gesundheitsrisiken abschätzen. In Abbildung 3 ist das durch die hier betrachteten Stromerzeugungstechniken verursachte zusätzliche Sterblichkeitsrisiko, ausgedrückt in verlorenen Lebensjahren je GWh, dargestellt.

Die gesundheitlichen Risiken der Verstromung von Braun- und Steinkohle in Dampfkraftwerken sind vergleichsweise hoch. Obwohl der Prozess der Stromerzeugung in photovoltaischen Anlagen emissionsfrei ist, sind die Risiken wegen der hohen Aufwendungen für die Materialherstellung und die Komponentenfertigung ähnlich hoch wie die eines modernen Erdgas-GuD-Kraftwerkes. Die Stromerzeugung mittels Kernenergie, Windenergie und Wasserkraft weist die geringsten Risiken auf. Offen bleibt, ob Risiken mit unterschiedlichem Schadenspotenzial unterschiedlich zu werten sind.

#### Externe Kosten

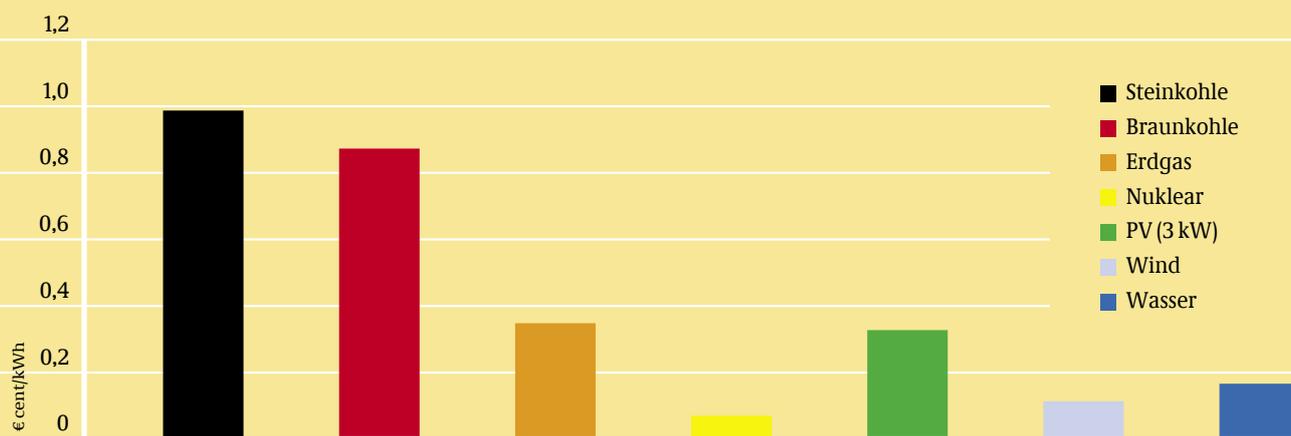
Wenn Kosten als Maß für die Nachhaltigkeit von Energiesystemen verwendet werden sollen, müssen auch die Kosten der Umweltinanspruchnahme in die Kostenermittlung mit einbezogen werden. Bezüglich der Ermittlung dieser so genannten externen Kosten sind zwar in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht worden, dennoch sind die Unsicherheiten für Teilbereiche wie z.B. die Klimaveränderung vergleichsweise groß. Die gesamten Kosten der Stromproduktion werden durch die Summierung der internen und externen Kosten abgeschätzt.

Abbildung 3: Gesundheitsrisiken



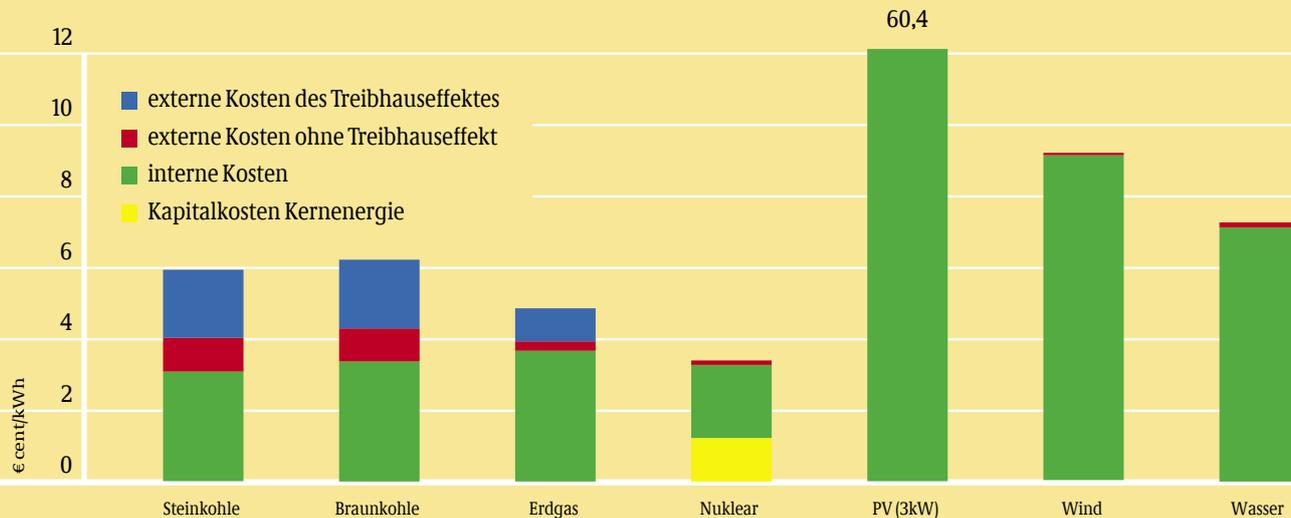
Quelle: Hirschberg (PSI, 2004)

Abbildung 4: Externe Kosten (ohne Treibhauseffekt)



Quelle: Hirschberg (PSI, 2004)

Abbildung 5: Gesamtkosten



Quelle: Hirschberg (PSI, 2004)

Die externen Kosten sind für die Kohlekraftwerke am höchsten und für die Kernenergie, die Wind- und Wasserkraftnutzung am geringsten. Die externen Kosten der derzeitigen photovoltaischen Stromerzeugung sind recht hoch, was an den hohen Kosten für die Produktion von Solarzellen liegt. Sie sind insgesamt von derselben Größenordnung wie die der Stromerzeugung aus Erdgas.

#### *Stromgestehungskosten (Produktions- und externe Kosten)*

Kosten sind ein Maß für die Inanspruchnahme knapper Ressourcen. Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, dass ein hoher Rohstoff- und Energieaufwand sowie hohe Umweltbelastungen sich in den Kosten niederschlagen.

Die in Abbildung 5 dargestellten Gesamtkosten weisen aus, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit höheren, im Fall der Photovoltaik sogar deutlich höheren Kosten verbunden ist, als die in fossilen und nuklearen Kraftwerken.

Die Internalisierung externer Kosten verbessert die Kostenrelationen von Wind- und Wasserkraftwerken im Vergleich zu fossilen Kraftwerken. Gleichzeitig wird aber auch deutlich, dass die Einbeziehung von Umweltexternalitäten die Wirtschaftlichkeitsposition der Kernenergie verbessert.

### **Schlussfolgerungen**

Wenn wir unter nachhaltiger Entwicklung der Energieversorgung eine Entwicklung verstehen, die die nicht substituierbaren Funktionen von Umwelt und Natur auf Dauer erhält, die Stoffeinträge in die Umwelt entsprechend ihrer Assimilationsfähigkeit begrenzt, die technisch-wirtschaftlich nutzbare Energie- und Rohstoffbasis erweitert und mit den nicht erneuerbaren Rohstoffen effizient und haushälterisch umgeht, um den heutigen und kommenden Generationen keine Lebens- und Entwicklungschancen vorzuenthalten, dann kann die Kernenergie hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten.

Untersucht man die Ressourcen- und Umweltintensität von fossilen, nuklearen und erneuerbaren Stromerzeugungssystemen mittels Material-, Energie- und Stoffbilanzen, die den gesamten Lebensweg erfassen, so stellt sich die Kernenergie als ein sehr ressourceneffizientes Strombereitstellungssystem dar (was sich in den vergleichsweise geringen Gesamterzeugungskosten ausdrückt), das einen bedeutenden Anteil an einer nachhaltigen Energieversorgung haben kann.

Ein Verzicht auf die weitere Nutzung der Kernenergie würde nicht nur den Verzicht auf eine große technisch-wirtschaftlich verwertbare Energiebasis, sondern auch auf eine Energiebereitstellungsoption bedeuten, die durch eine geringe Ressourcenintensität sowie durch vergleichsweise kleine Umwelteffekte und Risiken gekennzeichnet ist und die einen wichtigen Beitrag zu einer wettbewerbsfähigen Strombereitstellung, zum Schutz des Klimas und damit zu einer nachhaltigen Energieversorgung leisten kann.

### **Literatur**

Enquête-Kommission (2001): Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung, Erster Bericht. Drucksache 14/7.509 Berlin, November 2001.

Hauff, V. [Hrsg.] (1987): Unsere gemeinsame Zukunft: Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven.

Hirschberg, S., Dones, R., Heck, T., Burgherr, P., Schenler, W. und C. Bauer. (2004): Sustainability of electricity supply technologies under German conditions: A comparative evaluation. PSI Report 04-15, Villigen.

Knizia, K. (1992): Kreativität, Energie und Entropie: Gedanken gegen den Zeitgeist. ECON Verlag.

Marheineke, T. (2002): Lebenszyklusanalyse fossiler, nuklearer und regenerativer Stromerzeugungstechniken, IER-Forschungsbericht, Band 87, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart.

Marheineke, T., W. Krewitt, Neubarth, J., Friedrich, R. und A. Voß (2000): Ganzheitliche Bilanzierung der Energie- und Stoffströme von Energieversorgungstechniken. IER-Forschungsbericht, Band 74, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart.

Voß, A. (1997): Leitbild und Wege einer umwelt- und klimaverträglichen Energieversorgung, in: H.G. Brauch [Hrsg.], Energiepolitik. Springer Verlag.

Voß, A. (2002): LCA and external costs in comparative assessment of electricity chains. Decision support for sustainable electricity provision? In: OECD, Externalities and energy policies: The life cycle analysis approach, 163-181, Paris.

Voß, A. und A. Greßmann (1998): Leitbild „Nachhaltige Entwicklung“ – Bedeutung für die Energieversorgung. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48(8): 486-491.



## Atomenergie – Vorwärts in die Vergangenheit?

Reinhard Bütikofer

Bundesvorsitzender von Bündnis 90/Die Grünen

Meine Damen und Herren,

wenn man als Letzter in einer solchen Runde spricht, hat man natürlich den Vorteil: Ich kann mich auf drei Vorredner zumindest teilweise positiv beziehen. Aber ich möchte mich auf einige kontroverse Punkte konzentrieren.

Ich teile den Anspruch von Prof. Voß<sup>2</sup>, dass wir hier keinen prinzipiell unentscheidbaren Kampf um jeweils subjektive Wahrheitsansprüche ausfechten sollten. Stattdessen sollten wir eine vernünftige Diskussion führen, die sich nachvollziehbarer Argumente bedient. Sie, Prof. Voß, haben das auf Ihre Weise getan. Ich will es auf meine tun. Deutlich widerspreche ich daher der Auffassung, die Position der Atomkraftkritiker von vornherein unter die Überschrift „vernünftigen Argumenten nicht zugänglich“ zu stellen.

Ich bin auch in einem zweiten Punkt mit Ihnen, Prof. Voß, völlig einig: Der Begriff der Nachhaltigkeit muss dynamisch verstanden werden. In der Tat kann es keine unveränderte Weitergabe der uns vererbten Umwelt geben. Das gilt natürlich auch für die Energiepolitik. Aber es gibt natürlich ein paar prinzipielle Kriterien, die Nachhaltigkeit definieren. Die Realität nur auszugsweise abzubilden, verkürzt die Diskussion. Das haben Sie mindestens an einer Stelle getan.

In Ihrer Darstellung der Emissionsrisiken fehlt eine Emissionsart vollständig – die Strahlungsemission! Aber Sie können doch diese entscheidende Sicherheitsfrage nicht einfach weglassen! Ich finde es bemerkenswert, wie an der Frage der Sicherheit sowohl in der Öffentlichkeit als auch zum Teil hier im Podium, insbesondere von Herrn Hohlefelder<sup>3</sup>, vorbeigeredet wird. Ich teile da die Auffassung von Frau Zahrnt<sup>4</sup>, dass wir diese Debatte noch einmal ernsthaft führen müssen. Und zwar deshalb, weil neue Sicherheitsrisiken hinzugekommen sind. Wir müssen heute die Gefahr des internationalen Terrorismus ernst nehmen. Viele Atomkraftwerke, auch etliche deutsche, sind noch nicht einmal gegen den Absturz einer Militärmaschine gesichert. Ganz zu schweigen von dem Risiko, das mit dem Absturz einer voll getankten B747 verbunden wäre. Biblis, zum Beispiel, ist nur fünf Minuten von Frankfurt entfernt.

Die Bundesregierung hat in einer Antwort auf eine kleine Anfrage darauf hingewiesen, dass die Reaktoren Biblis A und B, Neckarwestheim und Brunsbüttel, nicht dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Das heißt, sie wären heute nicht mehr genehmigungsfähig.

Ich könnte, Herr Hohlefelder, in einer viel entspannteren Weise mit Ihrem Argument umgehen, die dritte und vierte Generation der Atomkraftwerke sei sicherer, wenn Sie aus diesem Argument die Konsequenz ziehen würden zu sagen, dass die sicherheitsrelevanten praktischen Schritte in Bezug auf die existierenden AKW unternommen werden. Bei denen also, die noch nicht einmal gegen den Absturz einer Militärmaschine geschützt sind. Sie können doch nicht ausschließlich hohe Sicherheitsstandards für Reaktoren der dritten Generation versprechen, und über die Risiken von, zum Beispiel, Biblis A und B sagen Sie nichts. Ist das nicht zumindest inkonsequent?

Wir müssen zur Kenntnis nehmen, dass Umweltaktivisten längst nachgewiesen haben – 2003 in Großbritannien, 2004 in Deutschland –, wie leicht es ist, in ein Atomkraftwerk einzudringen. In Großbritannien hat es 25 Minuten gedauert, bis irgendjemand reagiert hat. Ich will das nicht ausweiten, ich will nur sagen, wenn wir eine ernsthafte Debatte führen wollen, dann müssen wir die Konsequenzen aus dieser neuen Realität ziehen. Meine Konsequenz ist, dass wir darüber reden müssen, ob wir nicht im Rahmen des Atomkonsens bestimmte Atomreaktoren beschleunigt stilllegen sollten.

Wenn es wirklich die Renaissance der Atomkraft gäbe, von der so viel geredet wird, dann müsste sie nicht beschworen werden. Und wenn ich genau hinhöre, höre ich zwei verschiedene Diskussionen. Die eine wurde u.a. angestoßen von Herrn Oettinger aus Baden-Württemberg, der, glaube ich, ein wenig anders argumentiert, als es Herr Hohlefelder hier getan hat. Herr Oettinger redet ja nicht von der großen – fast hätte ich gesagt strahlenden – Zukunft der Atomkraft als einem langfristig notwendigen Bestandteil der Energieversorgung. Herr Oettinger redet von einer Übergangstrategie. Er sagt, wir seien nicht schnell genug mit den erneuerbaren Energien, und daher brauche man noch etwas länger Atomkraftwerke.

---

1 Dieser Beitrag ist ein redaktionell bearbeitetes Transkript der gehaltenen Rede.

2 Vgl. den Beitrag von Prof. Dr. Alfred Voß, Wissenschaftler am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart, in diesem Band.

3 Vgl. den Beitrag von Dr. Walter Hohlefelder, Präsident des Deutschen Atomforums, in diesem Band.

4 Vgl. den Beitrag von Dr. Angelika Zahrnt, Vorsitzende des BUND, in diesem Band.

Herr Hohlefeldler hat eine ganz andere Debatte eröffnet, deren Dimension in der Öffentlichkeit bisher kaum wahrgenommen wird. Nämlich eine Debatte darüber, tatsächlich neu in die Atomkraft einzusteigen und neue Atomkraftwerke zu bauen.

Wenn ich die Argumente im Einzelnen verfolge, habe ich den Eindruck, als spielte man ein bisschen Hase und Igel. Bei manchen Argumenten für die Atomkraft gilt das Übergangsszenario, bei anderen das langfristige Szenario.

Nehmen wir z.B. das Argument der Sicherheit der Uranversorgung: Wenn man davon ausgeht, dass Atomkraft weiterhin auf dem gegenwärtigen Niveau genutzt wird, dann kann man fröhlich darüber spekulieren, ob die Uranvorkommen noch länger als 60 Jahre reichen. Unterstellt man aber, dass tatsächlich Atomkraftwerke in einem größeren Umfang neu gebaut werden sollten, bricht das Argument sofort in sich zusammen. Was für ein Szenario für eine Strategie, die den Anspruch erhebt, mehr als eine Übergangstrategie zu sein! Die Internationale Energiebehörde geht übrigens davon aus, dass der Anteil der Atomenergie an der Weltenergieversorgung sinkt und nicht steigt.

Auch bei dem Argument, Atomstrom sei billiger Strom, gebe ich bestenfalls Herrn Oettinger Recht: Ein Atomkraftwerk, das beschrieben ist, liefert tatsächlich billigen Strom. Aber um welchen Preis! Das neue aber, das Herr Hohlefeldler gerne bauen würde, liefert mit Sicherheit keinen billigen Strom. Da ist Gas allemal günstiger. Was nun? Wollen wir billigen Strom, dann hat jedenfalls die Strategie von Herrn Hohlefeldler keine Perspektive.

Zum Argument des Klimaschutzes: Da gebe ich Herrn Oettinger ganz sicher nicht Recht. Die Übergangstrategie, die er vorschlägt, hat ja strategisch überhaupt keine Bedeutung. Welche Energiestrategie kommt denn, wenn die gewünschte Laufzeitverlängerung für AKW abgelaufen ist? Eine weitere Laufzeitverlängerung? Zu welchen Kosten und Risiken? Und wie viel Zeit verlieren wir dabei für eine ernsthafte Energiewende?

Herr Hohlefeldler dagegen behauptet: „Wenn wir ganz viele Atomkraftwerke bauen würden, dann würde das vielleicht zu einer Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen relevant beitragen“. Aber das ist ganz illusorisch! Da muss man nur konkrete Zahlen nennen: Um durch den Einsatz von Atomkraft bis 2050 eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 20 Prozent zu erreichen, müssten ab 2010 innerhalb von zehn Jahren ungefähr 200 Atomkraftwerke gebaut werden. Das hieße, alle 18 Tage müsste ein Atomkraftwerk ans Netz. Da wünsche ich – ganz abgesehen von allen Fragen der Wirtschaftlichkeit – einfach eine fröhliche Verrichtung.

Ich glaube, was in dieser Debatte über die Renaissance tatsächlich passiert, ist ein merkwürdiges argumentatives Ringelreiß, in dem die Argumente nicht wirklich systematisch durchdacht werden. Ich gewinne dabei den Eindruck, dass es dabei auch nicht um Argumente geht, sondern um Lobbying.

Ich bin für einen ganz klaren anderen Kurs. Wenn wir bei den erneuerbaren Energien große Fortschritte erzielen wollen, die wir brauchen, um eine langfristige CO<sub>2</sub>-Verringerung zu erreichen, müssen wir alles, was wir an Investitionen aufbringen können, auf die Entwicklung der erneuerbaren Energien fokussieren. Wir können nicht in zwei „Zukünfte“ parallel investieren. Das leistet diese Gesellschaft nicht.

Ich glaube, am Ende werden die Atomkraftbefürworter die Debatte verlieren – aus zwei Gründen: Sie werden sie verlieren wegen der Sicherheitsfrage, aber Sie werden sie zusätzlich wegen der Innovationsfrage verlieren.

Die erneuerbare Energie ist die Energie der Innovation, ist die Energie der Innovationsoffensive. Die Atomenergie ist die Energie der Innovationsgrenze. Und ich glaube, vor diesem Hintergrund muss einem angesichts der Versuche, eine Renaissance der Atomenergie herbeizureden, nicht bange sein.

**Plenum:****Atomkraft - ein weltweites Sicherheits-, Terrorismus- und Proliferationsrisiko****Moderation:**

Harald Schumann

Journalist

**Atomausstieg und europäische Außenpolitik**

Martin Schulz

MdEP, Vorsitzender der Sozialdemokratischen Fraktion im Europäischen Parlament

**Die Risiken der Atomreaktoren weltweit**

Stefan Schurig

Leiter des Klima- und Energiebereichs bei Greenpeace Deutschland

**Die Reaktorsicherheit in der Ukraine - 20 Jahre nach der Katastrophe in Tschernobyl**

Olena Mykolaichuk

Leiterin der Ukrainischen Atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde (SNRCU)



*Plenum „Atomkraft – ein weltweites Sicherheits-, Terrorismus- und Proliferationsrisiko“ mit Martin Schulz, Vorsitzender der Sozialdemokratischen Fraktion im Europäischen Parlament, Stefan Schurig, Leiter des Klima- und Energiebereichs bei Greenpeace Deutschland, Harald Schumann, Journalist und Moderator des Plenums, Otfried Nassauer, Leiter des Berliner Informationszentrums für Transatlantische Sicherheit, Olena Mykolaichuk, Leiterin der Ukrainischen Atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde und Prof. Dr. Wolfgang Kromp, Leiter des Instituts für Risikoforschung der Universität Wien (v.l.n.r.)*



## Atomausstieg und europäische Außenpolitik

Martin Schulz

Vorsitzender der Sozialdemokratischen Fraktion im Europäischen Parlament

Meine Damen und Herren,

der Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Jahre 1986, bei dem große Mengen von radioaktiven Teilchen über weiten Teilen von Weißrussland, der Ukraine und der russischen Föderation, aber auch über Westeuropa freigesetzt wurden, war der schwerwiegendste in der Geschichte der Kernkraftindustrie. 20 Jahre nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl sind die Menschen in den am meisten betroffenen Ländern immer noch ohne klaren wissenschaftlichen Befund über dessen gesundheitliche, ökologische und sozioökonomische Auswirkungen. Die bedeutendste Studie über die Katastrophe wurde im vergangenen Jahr von den Vereinten Nationen, der Internationalen Atomenergiebehörde, der Weltgesundheitsorganisation, dem UN-Entwicklungsprogramm und den Regierungen der Ukraine, Russlands und Weißrusslands veröffentlicht. Der Bericht „Das Erbe von Tschernobyl: gesundheitliche, ökologische und sozioökonomische Folgen“ kam zu dem Schluss, dass die gesundheitlichen Auswirkungen geringfügiger sind als angenommen. Der Bericht wurde von Strahlungsexperten und Hilfsorganisationen für Tschernobyl scharf kritisiert. Ihm wurde vorgeworfen, das wahre Ausmaß der Katastrophe herunterzuspielen, und mehrere Schlussfolgerungen der Studie wurden als „nachweisbar falsch“ angefochten. Ich denke, dieser Fall zeigt deutlich, wie schwierig die Debatte über die Rolle und die Konsequenzen von Kernenergie weltweit ist.

Die derzeitige Lage bei der Energieversorgung wird sicherlich die Kernkraftbefürworter bestärken. Innerhalb der Europäischen Union wird über die Entwicklung der Kernenergie nach wie vor auf nationaler Ebene entschieden. Was wir trotz allem brauchen, ist eine offene Diskussion der ganzen Thematik, insbesondere über die Sicherheit und Endlagerung von Kernmaterial. Aber betrachten wir doch einige der Risiken der Kernenergie und die Erfahrungsgeschichte der Industrie.

Zum Ersten: die erheblichen Risiken der Verbreitung von Kernmaterial. Der Fall Iran zeigt, wie die Entschlossenheit zur Entwicklung von Kernkraftkapazitäten für friedliche Zwecke mit der Entwicklung von Kernwaffen einhergehen kann. In der jüngsten Geschichte finden sich zuhauf Erkenntnisse über die Verbreitung von Kernmaterial. In Reaktoren in Indien, Pakistan, Israel und Nordkorea kann Material zur Herstellung von Atomwaffen gewonnen werden. Allzu oft tragen Länder, die die Erforschung, Gewinnung und Nutzung von Kernenergie vorantreiben, zur Verbreitung von Kernmaterial und -technologie bei, was allzu leicht zur Entwicklung von Kernwaffen führen kann. Sicherheitsgarantien haben wiederholt ihre Unzuverlässigkeit bewiesen, während die Verfügbarkeit über Rohmaterial für Kernwaffen stetig wächst und so selbst zu einer Sicherheitsbedrohung wird.

Zum Zweiten wirft das Problem der radioaktiven Abfälle, insbesondere ihre Endlagerung, viele, bis heute unbeantwortete Fragen auf. Größere Aufbereitungsanlagen erfordern den Transport von Kernmaterial zwischen den verschiedenen Anlagen. Abfälle werden zwischen Kernkraftanlagen, Aufbereitungsanlagen und Endlagern hin- und hertransportiert. Die durch die Aufbereitung entstehenden Abfälle mit geringer oder hoher Gefahrenstufe müssen ebenfalls transportiert und gelagert werden. Der Transport von radioaktiven Abfällen und verbrauchtem Brennstoffmaterial ist mit vielen Risiken verbunden und trifft in der Öffentlichkeit auf heftigsten Widerstand. Obwohl seit Jahrzehnten über eine Reihe von Lagerungsmethoden diskutiert wird, hat die Atomindustrie noch keine Lösung für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen gefunden. Die meisten Vorschläge zur Lagerung von radioaktiven Abfällen bestehen in der Vergrabung in tief liegenden geologischen Schichten. Man kann unmöglich sagen, ob das Umland, die Lagerungsbehälter und die Einlagerungen selbst ausreichenden Schutz gegen die Entweichung von Radioaktivität aus der Lagerstätte bieten.

Zum Dritten: die Risiken einer Verstrahlung. Es gibt zahlreiche Fälle, in denen die Atomindustrie Menschen durch verseuchtes Wasser oder verseuchte Luft schädlichen Strahlungen ausgesetzt hat. Weltweit leiden viele Menschen unter gesundheitlichen Problemen, die von solchen Unfällen herrühren. Die genauen Auswirkungen von Strahlung auf die menschliche Gesundheit sind wegen der zahlreichen Vertuschungen und Fehlinformationen durch Atomindustrie und Regierungen immer noch nicht bekannt.

Ich denke, diese Risiken sollten nicht vergessen werden, wenn wir den Ausstieg aus der Kernenergie und dessen Folgen für die europäische Außenpolitik diskutieren. Wie ich bereits sagte, bleibt die Entwicklung der Kernenergie innerhalb der EU nationale Entscheidungssache. Ich bin fest davon überzeugt, dass Deutschland bei seiner Entscheidung bleiben muss, aus der Kernenergie auszusteigen, angesichts der soeben genannten Risiken und angesichts der zahlreichen Technologien für erneuerbare Energien, die die Kernenergie ersetzen können und eine sichere, saubere und billige Alternative darstellen.

Aber lassen Sie mich später darauf zurückkommen und nun ein paar Worte zur europäischen Dimension der Kernenergie sagen. Diese sollten wir diskutieren, da eine Reihe von EU-Mitgliedstaaten neue Programme für Kernkraftanlagen erwägt. Auf europäischer Ebene sollten wir die Vor- und Nachteile eines europaweiten Lizenzsystems mit gegenseitiger Anerkennung von Sicherheitsstandards abwägen. Es ist außerdem an der Zeit, über ein europaweites Kontrollsystem nachzuden-

ken. Die EU muss auch ihre Gesetzgebung zur Kernenergie modernisieren – dies liegt im Interesse des ganzen Kontinents, nicht nur in dem der Kernkraftbefürworter.

Die EU-Mitgliedsländer sollten eine kohärente gemeinsame Strategie zur Kernenergie entwickeln, insbesondere sollte man sich nachdrücklich für ein multilaterales oder multilateral kontrolliertes System zur Urananreicherung und Endlagerung von Kernenergieabfällen einsetzen. Es ist erforderlich, die Vorschläge der IAEA aufzugreifen, den Nachschub von spaltbarem Material für die Energieproduktion zu multilateralisieren sowie die Lagerung allen verbrauchten Brennstoffmaterials unter internationale Kontrolle zu stellen. Bei der Atomenergie müssen neue Entwicklungen auf den Weg gebracht werden, um die Möglichkeiten zu verringern, dass Uran oder Atomabfälle zur Herstellung von Kernwaffen gebraucht bzw. missbraucht werden. Es gibt Ideen für neue Technologien, mit denen verhindert werden kann, dass angereichertes Uran zur Herstellung der Bombe verwendet wird. Dieses Prinzip des „Candle-Burn-up“ würde das Risiko der Kernwaffenverbreitung erheblich vermindern. Aber auch die Multilateralisierung der Kernenergieproduktion unter Aufsicht der Internationalen Atomenergiebehörde könnte helfen, die Risiken der Verbreitung zu senken. Dies könnte direkt durch die IAEA bzw. durch die bestehenden Atomkräfte unter Aufsicht der IAEA erfolgen.

Ich möchte nun auf die Frage des Ausstiegs aus der Kernenergie und seine Folgen für die europäische Energiepolitik und die europäische Außenpolitik zurückkommen. Ich möchte Sie in diesem Zusammenhang an ein paar wichtige Fakten und Zahlen erinnern. Der Verbrauch an Primärenergie betrug in der EU-25 im Jahr 2005 1700 Millionen Tonnen. Dieser setzt sich zusammen aus 38 Prozent Öl, 23 Prozent Gas, 18 Prozent Kohle/festem Brennstoff, 15 Prozent Kernenergie und sechs Prozent erneuerbaren Energien. In der EU-25 werden 31 Prozent der Bruttoelektrizität mit Kernenergie erzeugt, 25 Prozent mit festen Brennstoffen (vornehmlich Kohle), 18 Prozent mit Gas, 14 Prozent mit erneuerbaren Energien und fünf Prozent mit Öl.

Meine Damen und Herren, die Tatsachen sind uns bekannt: 31 Prozent der Elektrizität werden aus Kernenergie gewonnen und lediglich 14 Prozent stammen aus erneuerbaren Energiequellen. Ich glaube jedoch, dass das Beispiel Deutschlands zeigt, dass eine Regierung mit politischem Willen und Engagement diese Verhältnisse umkehren und sich Alternativen zur Kernenergie zuwenden kann – den erneuerbaren Energien, der Energieeinsparung und Energieeffizienz.

In ihrem Grünbuch aus dem Jahr 2005 über Energieeffizienz hat die Kommission gezeigt, dass bis zu 20 Prozent der in der EU verbrauchten Energie eingespart werden könnten: Das entspräche einer Kosteneinsparung von 60 Milliarden Euro, wodurch gleichzeitig ein beträchtlicher Beitrag zur Energiesicherheit und zur Schaffung von einer Million neuer Arbeitsplätze in den direkt betroffenen Bereichen geleistet würde.

Eine wirklich effiziente Energiepolitik führt nicht zu einer Einbuße an Komfort oder Zweckdienlichkeit. Es geht auch nicht darum, die Wettbewerbsfähigkeit zu reduzieren. Bei einer effektiven Politik in diesem Bereich ist das Gegenteil der Fall: Kosteneffiziente Investitionen zur Verringerung des Energieverbrauchs führen zu einer Erhöhung des Lebensstandards und zur Einsparung von Geldern und, durch vom Preis ausgehende Signale, zu verantwortungsvollerer, wirtschaftlicher und rationaler Verwendung von Energie. Marktorientierte Instrumente einschließlich des gemeinschaftlichen Rahmens zur Energiesteuer können hierbei ein effizientes Mittel sein.

Hinzu kommt, dass die EU seit 1990 einen ehrgeizigen Plan verfolgt – zum Weltführer bei erneuerbaren Energien zu werden. Um nur ein Beispiel zu nennen: Die EU hat Windkraftanlagen installiert, die 50 kohlebefeuerten Kraftwerken entsprechen, mit einer 50-prozentigen Kostensenkung in den letzten 15 Jahren. Der EU-Markt für erneuerbare Energien hat einen jährlichen Umsatz von 15 Milliarden Euro (die Hälfte des Weltmarktes), beschäftigt um die 300.000 Menschen und ist ein bedeutender Exporteur. Erneuerbare Energien beginnen nun, preislich gesehen, mit herkömmlichen Brennstoffen zu konkurrieren. Damit ihr Potenzial ausgeschöpft werden kann, braucht es unterstützende politische Maßnahmen und insbesondere Anreize, um ihre Wettbewerbsfähigkeit bei gleichzeitiger Beachtung der Wettbewerbsregeln zu erhöhen. Das ganze Potenzial der erneuerbaren Energien kann nur über eine langfristige Verpflichtung zu ihrer Entwicklung und Verwendung genutzt werden.

Zur Erinnerung: Die EU hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2010 den Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch auf zwölf Prozent, den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromproduktion auf rund 22 Prozent und den Anteil von Biokraftstoffen am Kraftstoffverbrauch auf 5,75 Prozent zu erhöhen. Trotz ermunternder Beispiele für Energieeinsparung und Investition in erneuerbare Energiequellen innerhalb der EU zögert eine Reihe von EU-Mitgliedstaaten, die bereits bestehenden politischen Vorgaben umzusetzen, was dazu führen wird, dass die EU beide Ziele um ein bis zwei Prozentpunkte verfehlen wird. Falls sie ihre längerfristigen Klimaschutzziele erreichen und die Abhängigkeit von herkömmlichen Brennstoffimporten reduzieren will, muss sie diese Ziele erreichen und sogar noch darüber hinausgehen.

Ich freue mich wirklich über das neue Grünbuch der Kommission über „Eine sichere, wettbewerbsfähige und nachhaltige Energiepolitik für Europa“, bin aber trotzdem der Meinung, dass hierin keine neuen längerfristigen Engagements vorge-

schlagen werden, um der Abhängigkeit von importierten Kraftstoffen ein Ende zu setzen, genauso wenig wie nach umweltfreundlichen Alternativen zur Kernenergie gesucht wird. Die Sozialdemokratische Fraktion im Europäischen Parlament hat Kommission und Rat aufgefordert, neue und ehrgeizige Ziele und Aktionen auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien und des effizienten Energieverbrauchs ins Auge zu fassen und eine schnellere Entwicklung in jedem Mitgliedstaat sicherzustellen.

Meine Damen und Herren, ich glaube fest daran, dass der Ausstieg aus der Kernenergie erforderlich und machbar ist, und komme nun zum letzten Punkt. Es gibt viele Fragen, die die Mitgliedstaaten auf Gemeinschaftsebene anpacken müssen, wie ich soeben dargelegt habe. Es mangelt der heutigen EU-Energiepolitik an Ehrgeiz und ausreichender Koordinierung. Wir brauchen einen Qualitätssprung bei dem Herangehen an die Energiepolitik. Dies kann nur ein kollektives Herangehen sein, da isolierte Reaktionen von Mitgliedstaaten auf gemeinsame Probleme nicht die nötige Wirkung haben. Obwohl die Umrisse eines solchen Ansatzes der Energiepolitik noch nicht klar sind, müssen wir Kommission und Rat auffordern, für ein rasches politisches Vorgehen zu sorgen, um so schnell wie möglich über eine ehrgeizige europäische Energiepolitik einschließlich eines konkreten Aktionsplans verfügen zu können.

Meine Damen und Herren, ich hoffe, mein Beitrag hat gezeigt, dass der Ausstieg aus der Kernenergie machbar ist, wenn die EU-Mitgliedstaaten gemeinsam handeln und Strategien für ihre Energieversorgung entwickeln und dabei besondere Aufmerksamkeit auf erneuerbare Energiequellen und Energieeffizienz legen. Auf Gemeinschaftsebene muss die noch offene Frage der Sicherheit der Produktion, Nutzung und Lagerung von Kernmaterial ernsthaft erörtert werden. Ich habe auch darauf hingewiesen, dass die Kommission, der Rat und die Mitgliedstaaten neue Strategien entwickeln sollten, um die Möglichkeiten der Verwendung von Uran und radioaktiven Abfällen zur Herstellung und Verbreitung von Kernwaffen zu verringern. Ich bin der Auffassung, dass – sollte Europa aus der Erfahrung Deutschlands lernen und mit vereinten Kräften im Energiebereich tätig werden – wir Katastrophen wie die in Tschernobyl nie mehr sehen werden!



## Die Risiken der Atomreaktoren weltweit

Stefan Schurig

Leiter des Bereichs Klima und Energie bei Greenpeace Deutschland

### Einleitung

Vor 20 Jahren geschah am 26. April das, was viele befürchtet, einige nicht erwartet und wenige ausgeschlossen hatten. Eine Kette von Fehlern, technischen wie menschlichen, führte zu einer Kernschmelze in einem Atomkraftwerk, infolgedessen Teile Europas radioaktiv kontaminiert wurden. Tschernobyl gilt seitdem als abschreckendes Beispiel für die Nutzung der Atomenergie. Das Kraftwerk war erst kurz zuvor in Betrieb genommen und in der internationalen Fachpresse als sicher dargestellt worden. Die gesundheitlichen Folgen der Katastrophe von Tschernobyl sind bis heute unüberschaubar. Ein Bericht, den Greenpeace im April 2006 publizierte<sup>1</sup>, zeigt aber, dass die 2005 veröffentlichte Zahl der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) von 4.000 Toten ein zu harmloses Bild zeichnet. Die Strahlenbelastung hat ein sehr breites Spektrum von Krankheiten hervorgerufen. Die im Bericht berücksichtigten neuesten Studien der Russischen Akademie der Wissenschaften kommen auf 270.000 zusätzliche Krebserkrankungen, von denen voraussichtlich 93.000 tödlich enden werden. Weitere Studien vermuten noch weitaus schlimmere Folgen.<sup>2</sup>

In den vergangenen Jahren hat sich über die Katastrophe scheinbar ein Mantel des Vergessens gelegt, so dass heute Politiker und Konzernchefs versuchen, die Kernenergie verbal zu rehabilitieren. Den „Nuclear Hazard Report“<sup>3</sup> hat Greenpeace bei international anerkannten Atomwissenschaftlern in Auftrag gegeben. Ziel war es, die Risiken von Atomkraftwerken gebündelt darzustellen und einem „Rückfall ins Atomzeitalter“ entgegenzusetzen.

### Risiken der Atomkraft

#### Reaktortypen

Anfang 2005 waren weltweit 441 Atomkraftwerke in insgesamt 31 Ländern in Betrieb. Ungeachtet mehrerer Dutzend unterschiedlicher Reaktortypen und -größen lassen sich die gegenwärtig in Betrieb oder in Entwicklung befindlichen Anlagen in vier grobe Kategorien unterteilen:

**Generation-I-Reaktoren** sind Prototypen kommerzieller Reaktoren, die in den 1950er und 1960er Jahren entwickelt wurden; bei ihnen handelt es sich um modifizierte oder vergrößerte militärische Reaktoren, die ursprünglich für den Antrieb von Unterseebooten oder zur Plutoniumherzeugung gebaut wurden.

Als **Generation-II-Reaktoren** wird die große Mehrzahl der heute in kommerziellem Betrieb befindlichen Reaktoren klassifiziert.

**Generation-III-Reaktoren** werden derzeit in einigen Ländern, insbesondere in Japan, gebaut.

**Generation-IV-Reaktoren** werden gegenwärtig mit dem Ziel einer kommerziellen Nutzung in 20 bis 30 Jahren entwickelt.

#### Generation-I-Reaktoren

Der britische **Magnox-Reaktor** ist ein gasgekühlter und graphitmoderierter Natururan-Reaktor. Aufgrund der geringen Leistungsdichte haben Magnox-Reaktoren einen vergleichsweise großen Reaktorkern. Im Primärkreislauf zirkuliert gasförmiges Kohlendioxid. Der Reaktorkern befindet sich innerhalb eines voluminösen Druckbehälters. Einige Magnox-Reaktoren sind mit korrosionsanfälligen Druckbehältern aus Stahl ausgerüstet.

Dazu kommt noch das Problem der thermischen Alterung und der Materialversprödung durch Neutronenstrahlung. Ein Spröbruch des Druckbehälters könnte zu einem vollständigen Verlust des Primärkühlmittels und in der Folge zu einer massiven Freisetzung radioaktiver Stoffe führen. Obwohl aus diesen und anderen Gründen bereits mehrere Magnox-Anlagen stillgelegt wurden, werden etliche andere bis 2010 weiterbetrieben und damit eine Gesamtlaufzeit von rund 40 Jahren erreichen.

---

1 Gesundheitsreport – 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl. Greenpeace International. A. Yablokov, I. Labunska, I. Blokoy (Editors), April 2006.

2 Aufgeführt im Gesundheitsreport – 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl. Greenpeace International. A. Yablokov, I. Labunska, I. Blokoy (Editors), April 2006.

3 Nuclear Reactor Hazards. Ongoing Dangers of Operating Nuclear Technology in the 21st Century. Report prepared for Greenpeace International by Helmut Hirsch, Oda Becker, Mycle Schneider, Antony Froggatt, April 2005.

Da Generation-I-Reaktoren kein sekundäres Containmentsystem haben – das den Reaktorkern vor externen Ereignissen schützt und im Falle eines Unfalls die Freisetzung von Radioaktivität verhindern soll –, geht von diesen Reaktoren ein hohes Risiko massiver radioaktiver Freisetzungen aus. Aufgrund zahlreicher Sicherheitsmängel müssen die britischen Magnox-Reaktoren als besonders gefährlich eingestuft werden.

Der russische RBMK-Reaktor ist ein graphitmoderierter Siedewasser-Druckröhrenreaktor, wie er auch in Tschernobyl zum Einsatz kam.

Dieser Reaktor weist neben mehreren grundsätzlichen Designproblemen, namentlich einem positiven Void-Koeffizienten und Kerninstabilität, eine Reihe weiterer Schwächen auf, die diese Probleme noch verstärken, wobei insbesondere die große Anzahl der Druckröhren (1693 im RBMK-1.000) zu erwähnen ist.

Ein Teil der Bauartmängel der **RBMK-Reaktoren** wurde auf Grundlage der Erfahrungen aus dem Tschernobyl-Unfall behoben; so wird inzwischen höher angereichertes Uran eingesetzt und die Regelstäbe wurden modifiziert. Allerdings bleiben aus technischen und ökonomischen Gründen andere Probleme bestehen. Beispielsweise verfügen nur zwei der noch betriebenen RBMK-Reaktoren über voll unabhängige sekundäre Abschaltssysteme, was bedeutet, dass die anderen Einheiten den IAEO-Sicherheitsanforderungen nicht entsprechen.

RBMK-Reaktoren enthalten nicht nur mehr Zirkalloy im Kern als sämtliche andere Reaktortypen (über 50 Prozent mehr als ein konventioneller Siedewasserreaktor), sondern auch große Mengen an Graphit (über 1.700 Tonnen). Ein Graphitbrand kann einen Störfall massiv verschlimmern – und Graphit kann bei höheren Temperaturen heftig mit Wasser reagieren und explosiven Wasserstoff erzeugen.

Der Ausfall einer einzelnen Druckröhre in einem RBMK hat nicht notwendigerweise katastrophale Auswirkungen. Doch die große Anzahl von Röhren und Leitungen bedingt eine entsprechend hohe Anzahl an Schweißstellen und bildet ein System, das sich nur schwer inspizieren und warten lässt. Aufgrund der verbesserten Fähigkeit der Containmentsysteme der RBMKs zur Druckentlastung können heute simultane Brüche von bis zu neun Druckröhren beherrscht werden. Allerdings können bei einem Kühlmittelverlust so hohe Temperaturen auftreten, dass es in bis zu 40 Röhren zu einem Bruch und in der Folge zur Zerstörung des gesamten Reaktorkerns kommen könnte.<sup>4</sup>

Aufgrund der prinzipiellen bauartbedingten Schwächen dieser Reaktoren hat die internationale Gemeinschaft beschlossen, sie als „nicht modernisierbar“ zu deklarieren und ihre Stilllegung anzustreben.

Während in Litauen und der Ukraine RBMK-Reaktoren stillgelegt wurden (beziehungsweise werden sollen), plant Russland offenbar, die Laufzeit seiner RBMK-Reaktoren zu verlängern, statt sie, wie vom Westen gefordert, vorzeitig stillzulegen.

### Generation-II-Reaktoren

Der am weitesten verbreitete Bautyp ist der **Druckwasserreaktor (DWR)**, von dem derzeit weltweit 215 in Betrieb sind. Da das DWR-Design ursprünglich als Antrieb für militärische U-Boote entwickelt wurde, sind die Reaktoren bei – im Vergleich zu anderen Reaktortypen – hoher Energieabgabe sehr klein. Das bedingt eine (im Vergleich zu anderen Reaktortypen) hohe Temperatur des Kühlwassers und einen hohen Druck im Primärkreislauf des Reaktors, was einer stärkeren Korrosion der Komponenten Vorschub leistet und dazu führt, dass inzwischen insbesondere die Dampferzeuger häufig ersetzt werden müssen. Druckwasserreaktoren werden mit niedrig angereichertem Uran betrieben. Umfangreich dokumentiert ist heute das Problem der Rissbildung im Reaktordruckbehälterdeckel, z.B. gravierend beim Davis-Besse Reaktor<sup>5</sup>. Dieser auf dem Reaktordruckbehälter aufliegende Deckel enthält die Röhren, durch die die Regelstäbe zur Kontrolle der Kettenreaktion in den Reaktorkern eingeführt werden. Nachdem in den frühen 90er Jahren in den Druckbehälterdeckeln einiger Reaktoren in Frankreich erstmals Risse aufgetaucht waren, wurden bei weltweiten Untersuchungen ähnliche Probleme in Schweden, der Schweiz und den Vereinigten Staaten festgestellt.

Obwohl Druckwasserreaktoren von allen kommerziellen Reaktortypen die höchste Anzahl an Betriebsjahren auf sich vereinen, tauchen immer wieder neue Probleme auf. Ein Zustand, der sich aufgrund des Alterungsprozesses noch verschärfen könnte, wenn die Anlagen über die ursprünglich geplante Laufzeit hinaus betrieben werden würden.

4 TSO Assistance Towards the Improvement of Nuclear Safety in Lithuania: Achievements and Perspectives. EUROSAFE 2001, Seminar 1., Butcher et al., November 6, 2001.

5 Siehe u.a. die entsprechenden Schriftstücke der U.S. Nuclear Regulatory Commission und der IAEO, siehe auch Punkt 2.2.

Der russische **WWER**-Reaktortyp ähnelt von seiner Bauweise und Geschichte her dem Druckwasserreaktor. Gegenwärtig befinden sich von den drei wichtigsten WWER-Reaktortypen insgesamt 53 Einheiten in sieben osteuropäischen Ländern im Einsatz. Der älteste Bautyp, der WWER 440-230, wird als Generation-I-Reaktor klassifiziert. Mit der Generation-II-Baureihe, dem WWER 440-213, wurde ein verbessertes Notkühlsystem eingeführt, das zwar über kein vollständiges sekundäres Containment, aber zumindest über ein System verfügt, das darauf ausgelegt ist, freigesetzte Radioaktivität durch einen Blasenkondensationsturm zurückzuhalten – vor externen Ereignissen schützt es den Reaktorkern jedoch nicht.

Obwohl der dritte WWER-Bautyp, der 1.000-320, weitere Neuerungen und eine Leistungssteigerung auf 1.000 MW brachte, gilt er als weniger sicher im Vergleich zu modernen Druckwasserreaktoren. Nach der Wiedervereinigung Deutschlands wurde aufgrund sicherheitstechnischer und wirtschaftlicher Überlegungen beschlossen, sämtliche in Ostdeutschland betriebenen WWERs stillzulegen oder den Bau daran einzustellen.

Der nach dem Druckwasserreaktor am weitesten verbreitete und auf diesem basierende Reaktortyp ist der **Siedewasserreaktor (SWR)**, von dem weltweit 90 Einheiten in Betrieb sind. Die Modifikationen gegenüber dem DWR zielten auf eine Vereinfachung des Designs und eine höhere thermische Effizienz durch die Reduzierung auf einen einzigen Kreislauf und die Dampferzeugung direkt im Reaktorkern ab, was allerdings kaum Sicherheitsgewinne gebracht hat. Abgesehen davon, dass SWR-Reaktoren die meisten risikobehafteten Eigenschaften mit DWR-Reaktoren teilen, weisen sie noch eine Reihe zusätzlicher Schwachstellen auf.

Siedewasserreaktoren weisen eine hohe Energiedichte im Kern sowie einen hohen Druck und hohe Temperaturen im Kühlkreislauf auf, wobei alle diese Parameter etwas geringer als in Druckwasserreaktoren ausfallen. Allerdings ist das Notkühlsystem weitaus komplexer und die Regelstäbe werden von unten in den Reaktorkern eingeführt. Da deshalb bei einer Notabschaltung die Schwerkraft nicht genutzt werden kann, sind zusätzliche aktive Sicherheitssysteme erforderlich. In vielen Siedewasserreaktoren wurden massive Korrosionsprobleme beobachtet. In den frühen 90er Jahren wurden bei einer Reihe deutscher Siedewasserreaktoren zahlreiche Rissbildungen festgestellt – und zwar in einem Rohrleitungsmaterial, das als resistent gegen die so genannte Spannungsrisikorrosion galt. Im Jahr 2001 trat ein weiteres anhaltendes Problem von Siedewasserreaktoren zutage: Rohrleitungsbrüche in den Reaktoren Hamaoka 1 (Japan) und Brunsbüttel (Deutschland), in beiden Fällen verursacht durch die Explosion eines Wasserstoff/Sauerstoff-Gemischs, das sich durch Hydrolyse im Kühlwasser gebildet hatte. Falls eine Knallgasexplosion zentrale Komponenten des Kontroll- und Sicherheitssystems des Reaktors und/oder die Containmenthülle beschädigen würde, würde das zu einem schwerwiegenden Unfall – vergleichbar dem in Tschernobyl – führen, mit einer katastrophalen Freisetzung radioaktiver Stoffe.

Der dritthäufigste Reaktortyp ist der **Schwerwasser-Druckwasserreaktor (PHWR, Pressurized Heavy Water Reactor)** mit derzeit 39 operativen Einheiten in sieben Ländern. Der wichtigste Bautyp ist der kanadische CANDU-Reaktor, ein mit schwerem Wasser gekühlter und moderierter Druckröhren-Natururan-Reaktor. Das primäre Reaktorgefäß enthält 390 einzelne Druckröhren.

Der Bautyp weist einige inhärente Konstruktionsmängel auf, insbesondere einen positiven Void-Koeffizienten, was bedeutet, dass bei einem Kühlmittelverlust die Reaktorreaktivität zunimmt. Weil Natururan als Brennstoff verwendet wird, ist das Uranvolumen im Kern deutlich höher, was zu Instabilitäten führen kann. Außerdem sind die Druckröhren, die die Uranstäbe enthalten, einem starken Neutronenbeschuss ausgesetzt. In Kanada hat die Erfahrung gezeigt, dass sie infolgedessen ermüden, was in manchen Fällen bereits nach 20 Jahren Laufzeit kostspielige Reparaturprogramme erforderlich gemacht hat. Diese und andere Nachteile haben im Umgang mit den CANDU-Reaktoren gewaltige sicherheitstechnische und ökonomische Probleme hervorgerufen. Im Juni 1990 waren sechs der zehn Reaktoren mit der weltweit höchsten Laufzeitleistung CANDU-Reaktoren, vier davon von Ontario Hydro. Binnen der nächsten sechs Jahre fiel die Leistungsausnutzung der CANDUs aufgrund eines Vorgangs, den eine Fachzeitschrift als „Wartungskernschmelze“<sup>6</sup> bezeichnete, jedoch drastisch ab. In den späten 90er Jahren beschloss Ontario Hydro, den Betrieb von acht seiner CANDU-Reaktoren auszusetzen oder auf unbestimmte Zeit hinauszuschieben (allerdings wurden seitdem einige dieser Reaktoren wieder in Betrieb genommen).

**Fortgeschrittene gasgekühlte Reaktoren (AGR, Advanced Gas Reactor)** werden ausschließlich in Großbritannien betrieben und stellen eine modifizierte und modernisierte Version des Magnox-Reaktors dar, die nichtsdestotrotz einige der inhärenten Probleme des Vorläufermodells aufweist, insbesondere das Fehlen eines sekundären Containmentsystems und alterungsbedingte Materialermüdung. So wurden erst unlängst im Reaktorkern eines AGR-Reaktors Risse in zwei Graphitziegeln entdeckt – ein Problem, das, sollte es sich bei anderen Einheiten wiederholen, die vorzeitige Stilllegung von Reaktoren erzwingen könnte.

---

6 Maintenance Meltdown: Why we'll all pay for Ontario Hydro's nuclear neglect. Plant Engineering and Maintenance. Todd Phillips, September 1998.

## Ausblick

### Generation-III-Reaktoren

Bei Generation-III-Reaktoren handelt es sich um so genannte „Advanced Reactors“ – fortgeschrittene Reaktoren, von denen drei in Japan bereits in Betrieb und weitere im Bau oder geplant sind. Berichten zufolge befinden sich derzeit über 20 unterschiedliche Generation-III-Reaktortypen in der Entwicklung. Die meisten von ihnen sind „evolutionäre“, sprich weiterentwickelte Reaktortypen, die auf modifizierten Generation-II-Reaktortypen basieren, ohne aber massiv von ihnen abzuweichen. Nur ein paar repräsentieren wirklich innovative Ansätze. Laut Angaben der World Nuclear Association<sup>7</sup> sind für Generation-III-Reaktoren folgende Eigenschaften charakteristisch:

- ein standardisiertes Design für jeden Reaktortyp, um den Genehmigungsprozess zu beschleunigen und Kapitalkosten sowie Bauzeit zu reduzieren,
- ein simpleres und robusteres Design, das den Reaktorbetrieb vereinfacht und die Anfälligkeit der Anlage für Betriebsstörungen senkt,
- eine höhere Verfügbarkeit und längere Laufzeiten – normalerweise bis zu 60 Jahren,
- ein vermindertes Risiko einer Kernschmelze,
- minimale Auswirkungen auf die Umwelt,
- ein höherer Abbrand und dadurch eine Verminderung des Brennstoffeinsatzes und der Abfallmenge,
- abbrennbare Neutronenabsorber („Reaktorgifte“) zur Erhöhung der Brennstofflebensdauer.

Ganz offenkundig zielen diese Veränderungen hauptsächlich auf eine höhere Wirtschaftlichkeit. Inwieweit sie zu höheren Sicherheitsstandards beitragen, ist unklar.

Der **Europäische Druckwasserreaktor** (EPR, European Pressurized Reactor) ist ein Druckwasserreaktor, der auf der französischen N4- und der deutschen Konvoi-Reaktorbaureihe basiert, den modernsten Generation-II-Reaktoren, die in diesen Ländern in Betrieb genommen wurden.

Die erklärten Ziele bei der Entwicklung des EPRs lauteten, das Sicherheitsniveau des Reaktors zu verbessern (und insbesondere die Wahrscheinlichkeit eines ernststen Unfalls um den Faktor 10 zu reduzieren), die radiologischen Folgen schwerwiegender Unfälle auf die Anlage selbst zu beschränken und die Kosten zu begrenzen. Im Vergleich zu seinen Vorgängern weist der EPR allerdings mehrere Modifikationen auf, die zu einer Verminderung der Sicherheitsabstände führen:

- Das Volumen des Reaktorgebäudes wurde durch die Vereinfachung des Notkühlsystems und auf Grundlage neuer Berechnungen verringert, laut denen während eines Unfalls weniger Wasserstoff entsteht.
- Die thermische Leistung der Anlage wurde im Vergleich zum N4 durch eine höhere Kühlmittelaustrittstemperatur, die höhere Kapazität der Hauptkühlmittelpumpen und die Modifikation der Dampferzeuger um 15 Prozent erhöht.
- Im Gegensatz zu den Konvoi-Reaktoren hat der EPR eine geringere Redundanz der Sicherheitssysteme, zum Beispiel verfügt das Notkühlsystem nur über vier statt acht Drucktanks.

Mehrere Modifikationen werden als wichtige Sicherheitsfortschritte gepriesen:

- Der Tank des Notspeisewassersystems innerhalb des Containments befindet sich am Boden des Reaktorgebäudes und dient zugleich als Kühlmitteltank und „Sumpf“, was bei einem Kühlmittelverlustunfall die Umschaltung von der Reserve-Notspeisung auf die Sumpffrezirkulation überflüssig macht und dadurch gleich mehrere Fehlerquellen ausschließt. Insgesamt betrachtet erscheint der Sicherheitsgewinn allerdings eher gering.
- Die Kernschmelzrückhalteeinrichtung dient bei einem Kernschmelzunfall zum Auffangen und Kühlen des geschmolzenen Reaktorkerns. Im EPR sammelt sich die Kernschmelze im unteren Bereich des Reaktordruckbehälters.

<sup>7</sup> Advanced Nuclear Power Reactors. World Nuclear Association. November 2004.

Nachdem sie sich, wie zu erwarten, durch den Boden gebrannt hat, fließt die Kernschmelze durch die Schwerkraftwirkung in die Reaktorgrube, wo sich das geschmolzene Metall verteilt und abkühlt. Mittels passiver Vorrichtungen wird dann das Wasser aus dem Notspeisewassersystem zur Flutung und Abkühlung der Schmelzmasse in diesem Bereich freigesetzt. Um exzessive Temperaturen in der Betonkonstruktion des Reaktorgebäudes zu vermeiden, ist der Boden der Reaktorgrube mit einem Kühlsystem ausgerüstet. Allerdings könnte sich, noch bevor die Kernschmelze die Kernschmelzrückhalteeinrichtung erreicht, bei einem Versagen des Sicherheitsbehälters im Reaktor-druckbehälter eine verheerende Dampfexplosion ereignen. Darüber hinaus könnte es im späteren Verlauf des Unfalls zu Dampfexplosionen kommen, wenn die Schmelze im Ausbreitungsbereich mit dem Notspeisewasser in Kontakt kommt. Und selbst wenn das nicht passiert, ist unklar, ob eine effektive Kühlung der sich verteilenden Kernschmelzmasse möglich ist. So könnte sich auf der Oberfläche der Kernschmelze eine feste Schicht bilden, die die Wärmeableitung verhindert, was dazu führen würde, dass der Kern den Beton unterhalb der Reaktorgrube durchdringt.

- Das Containment-Kühlsystem basiert auf dem N4-Design. Das System soll den Druck im Sicherheitsbehälter verringern, um ein Überdruckversagen zu vermeiden und eine kontinuierliche Kühlung zu gewährleisten. Bislang liegen noch keine Informationen über seine Versagenswahrscheinlichkeit vor.
- Wasserstoffrekombinatoren reduzieren durch passive katalytische Prozesse die Wasserstoffkonzentration im Containment. Derartige Rekombinatoren, die weltweit in vielen Druckwasserreaktoren zum Einsatz kommen, verringern zwar das Risiko von Wasserstoffexplosionen, vollständig ausschließen können sie es aber nicht.
- Der EPR ist mit einem digitalen Steuer- und Kontrollsystem ausgerüstet. Abgesehen davon, dass ein solches System sehr hohe Ansprüche an die Entwickler stellt, lässt sich seine einwandfreie Implementation nur sehr schwer überprüfen. Nachdem ein vergleichbares System im Jahr 2000 bei dem deutschen Druckwasserreaktor Neckar 1 installiert worden war, war die Fähigkeit zur Reaktorschnellabschaltung eine Zeit lang blockiert. Beim britischen Druckwasserreaktor Sizewell B, der von Anfang an mit einem digitalen Steuer- und Kontrollsystem ausgerüstet war, kam es im April 1998 zu schwerwiegenden Ausfällen des Reaktorschutzsystems.

Der Schutz des EPR gegen Flugzeugabstürze entspricht dem der deutschen Konvoi-Reaktoren und stellt damit keine Verbesserung gegenüber dem bisherigen Sicherheitsstandard dar.

Alles in allem gibt es keine Garantie, dass das Sicherheitsniveau des EPRs im Vergleich zu den N4- und Konvoi-Reaktoren deutlich höher ist; insbesondere ist die Reduzierung der Wahrscheinlichkeit eines Kernschmelzunfalls um den Faktor 10 nicht erwiesen.

Darüber hinaus bestehen erhebliche Zweifel, ob die Eindämmung und Kontrolle eines Kernschmelzunfalls mit Hilfe des „Kernschmelzrückhalteeinrichtung“-Konzepts tatsächlich wie vorhergesagt funktionieren werden.

Beim **Kugelhaufenreaktor** (PBMR, Pebble Bed Modular Reactor) handelt es sich um einen gasgekühlten Hochtemperaturreaktor (HTR, High Temperature Gas Cooled Reactor). Die Entwicklung des HTR-Bautyp wurde bis in die späten 80er Jahre in mehreren Ländern verfolgt, allerdings gingen nur ein paar Prototypenanlagen ans Netz, von denen es keine auf eine lange Laufzeit brachte: Peach Bottom 1 und Fort St. Vrain (Vereinigte Staaten), gelaufen von 1966 bis 1974 beziehungsweise von 1974 bis 1989, Winfrith (Großbritannien), stillgelegt 1976 nach zwölfjähriger und der THTR Hamm-Uentrop in Deutschland, abgeschaltet 1988 nach nur dreijähriger Laufzeit. Im Gegensatz zu Leichtwasserreaktoren, die Wasser und Dampf verwenden, treibt in Kugelhaufenreaktoren unter Druck stehendes Helium, das im Reaktorkern aufgeheizt wird, eine Reihe von Turbinen an, die an Stromgeneratoren angeschlossen sind. Das Helium wird in einem Wärmetauscher durch einen sekundären Heliumkreislauf abgekühlt und dann wieder in den Reaktorkern gepumpt. Das Helium hat beim Kernaustritt über 900 °C und steht unter einem Druck von 69 bar. Der sekundäre Heliumkreislauf ist wassergekühlt.

### Generation-IV-Reaktoren

Generation-IV-Reaktoren stehen für die Entwicklung innovativer nuklearer Systeme (Reaktoren und Brennstoffkreisläufe), die bis 2030 technisch ausgereift sein sollen (ein Datum, das weithin für äußerst optimistisch gehalten wird). Die Generation-IV-Reaktoren seien sehr wirtschaftlich und deutlich sicherer, erzeugten nur minimale Mengen an Atom Müll und stellten kein Proliferationsrisiko dar – die Akzeptanz der Atomenergie in der Öffentlichkeit soll mit dieser Art der Kommunikation der Problemfelder verbessert werden.

Entsprechend werden die Ziele für Reaktoren der Generation IV in vier allgemeine Bereiche unterteilt:

- Nachhaltigkeit (Umweltverträglichkeit/Zukunftsfähigkeit),

- Wirtschaftlichkeit,
- Sicherheit und Zuverlässigkeit,
- Proliferationsbarrieren und physischer Schutz.

Insgesamt wurden rund 100 verschiedene mögliche Reaktortypen identifiziert, darunter Konzepte, die eigentlich zu den Reaktoren der Generation III+ gehören, aber auch neue, die sich von allen bekannten Technologien unterscheiden. Am Ende des Auswahlprozesses wurden sechs Konzepte für die weitere Entwicklung empfohlen. Einige der Konzepte könnten sich als nicht realisierbar oder kommerziell einsetzbar erweisen.

#### *Für die Generation IV ausgewählte Konzepte*

**Gasgekühlte schnelle Reaktorsysteme (GFR):** GFR-Systeme (Gas-Cooled Fast Reactor) bestehen aus einem heliumgekühlten Reaktor mit schnellem Neutronenspektrum und einem geschlossenen Brennstoffkreislauf, der primär der Stromerzeugung und dem Aktinidenmanagement dient. Der GFR ist nicht für die Wasserstoffherzeugung gedacht. Trotz erheblicher technologischer Lücken rangiert der GFR dank seines geschlossenen Brennstoffkreislaufs und seines exzellenten Aktinidenmanagements im Hinblick auf Nachhaltigkeit ganz oben. Auch hinsichtlich der Aspekte Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, Proliferationsbarrieren und physischer Schutz wird der Reaktortyp hoch bewertet. Man geht davon aus, dass der GFR bis 2025 einsatzfähig sein wird.

**Bleigekühlte schnelle Reaktorsysteme (LFR):** LFRs (Lead-Cooled Fast Reactor) sind Reaktoren mit einer Flüssigmetallkühlung (Blei oder Blei und Wismut), die über ein schnelles Neutronenspektrum verfügen und sich durch einen geschlossenen Brennstoffkreislauf zur effizienten Umwandlung von bruttfähigem Uran und Verwertung von Aktiniden auszeichnen. Geplant ist eine große Leistungsbandbreite von „Batterie-Kraftwerken“ mit 50 bis 150 MWe über modulare Blöcke von 300 bis 400 MWe bis hin zu großen Einzelanlagen mit 1.200 MWe. Die LFR-Batterien sind als kleine, industriell vorgefertigte Anlagen mit sehr langen Abbrandzyklen (zehn bis 30 Jahre) geplant. Zielgruppe sollen kleine Netze und Entwicklungsländer sein, die keine eigene Brennstoffkreislaufinfrastruktur aufbauen wollen.

**Salzschmelze-Reaktor-System (MSR):** Das MSR-System (Molten Salt Reactor) basiert auf einem thermischen Neutronenspektrum und einem geschlossenen Salzschmelze-Brennstoffkreislauf. Der Uranbrennstoff ist in flüssigem Natriumfluoridsalz gelöst, das als Kühlmittel durch die Graphit-Kernkanäle zirkuliert. Die direkt in dem geschmolzenen Salz erzeugte Wärme wird über ein sekundäres Kühlmittelsystem und durch einen tertiären Wärmetauscher zu den Stromgeneratoren geleitet. Der Bautyp soll primär der Stromerzeugung und der Aktinidenverbrennung dienen. Die Referenzanlage hat eine Leistung von 1.000 MWe.

**Leichtwasserreaktor mit überkritischen Dampfzuständen (SCWR):** Der SCWR (Supercritical Water-Cooled Reactor) ist ein Hochtemperaturreaktor, der mit unter hohem Druck stehendem Wasser gekühlt und oberhalb des thermodynamisch kritischen Punkts des Wassers betrieben wird (d.h. bei einem Druck und bei Temperaturen, bei denen es keinen Unterschied mehr zwischen der flüssigen und der Dampfphase gibt). Die Referenzanlage hat eine Leistung von 1.700 MWe und wird bei einem Druck von 25 MPa sowie einer Kernaustrittstemperatur von 550 °C betrieben. Als Brennstoff dient Uranoxid.

**Natriumgekühlter schneller Reaktor (SFR):** Das SFR-System (Sodium-Cooled Fast Reactor) verfügt über ein schnelles Neutronenspektrum und einen geschlossenen Brennstoffkreislauf. Es lassen sich zwei Grundversionen voneinander unterscheiden: das modulare Reaktorsystem (150 bis 500 MWe) mit metallischem Brennstoff, wobei der Brennstoff pyrometallurgisch direkt in einer angeschlossenen Anlage wiederaufbereitet wird, und mittlere bis monolithische Reaktoren (500 bis 1.500 MWe) mit MOX-Brennstoff (Uran-Plutonium-Mischoxid) und einer technologisch aufwändigen Aufarbeitung der Brennstoffe in einer zentralen Anlage, die mehrere Reaktoren versorgt.

**Höchsttemperaturreaktor (VHTR):** Das VHTR-System (Very High-Temperature Reactor) verfügt über ein thermisches Neutronenspektrum und einen offenen Uranbrennstoffzyklus. Der Referenzreaktor hat einen 600 MWth graphit-moderierten und heliumgekühlten Kern, der entweder auf dem prismatischen Kern des GT-MHR oder dem Kugelhaufen des PBMR basiert. Es gilt als das vielversprechendste und effizienteste System für die Wasserstoffproduktion, entweder unter Verwendung des thermochemischen Jod-Sulfat-Prozesses oder von Wärme, Wasser und Erdgas durch nukleare Dampfpreformation bei Kernaustrittstemperaturen von über 1.000 °C.

## Alterung

Alterungsprozesse können auch in dem Zeitraum auftreten, der als typische kommerzielle Betriebszeit (30 bis 40 Jahre) gilt. Naturgemäß spielen bei einer Laufzeitverlängerung die Alterungsmechanismen eine immer größere Rolle und führen zu einer deutlichen Erhöhung des Anlagengesamtrisikos.

Die wichtigsten Faktoren, die den Alterungsprozess in einem Atomkraftwerk beschleunigen, sind:

- Strahlenexposition,
- thermische Belastungen,
- mechanische Belastungen,
- korrosive, abrasive und erosive Prozesse,
- Kombinationen und Wechselwirkungen der oben genannten Prozesse.

Da Änderungen der mechanischen Eigenschaften bei zerstörungsfreien Prüfungen häufig gar nicht erkannt werden können, fällt es schwer, eine zuverlässige Bewertung des tatsächlichen Materialzustands zu erhalten. In vielen Fällen können mit zerstörungsfreien Prüfungen Rissentwicklungen, Oberflächenveränderungen und Wanddicken überwacht werden, doch wegen der aus baulichen Gründen und/oder der hohen Strahlungsbelastung begrenzten Zugänglichkeit können nicht alle Komponenten vollständig untersucht werden. Daher versucht man mit Modellberechnungen die Belastungen und ihre Auswirkungen auf die Werkstoffe zu ermitteln. Der Nachteil solcher Modelle ist, dass sie sich nur anhand simplifizierter Systeme, Stichproben oder Nachbildungen validieren lassen und somit nicht quantifizierbare Unsicherheiten enthalten. Und selbst die komplexesten Rechenmodelle können nicht alle denkbaren synergistischen Auswirkungen berücksichtigen.

Ein dramatisches Beispiel für die Alterung ist der Fall des Davis-Besse-Reaktors in Ohio, USA. Eine Rissbildung blieb hier trotz Routineprüfungen über ein Jahrzehnt unbemerkt. Der Riss, als er schließlich doch entdeckt wurde, durchzog den 160 Millimeter dicken Druckbehälter, und nur noch die fünf Millimeter dicke Stahlmantelung – die sich bereits unter dem Druck ausbeulte – verhinderte einen Bruch des Primärkühlsystems und damit des wichtigsten Sicherheitsmechanismus.

Alterungsprozesse lassen sich nur schwer feststellen, da sie sich üblicherweise auf der mikroskopischen Ebene der inneren Struktur von Materialien vollziehen. Häufig werden sie erst offenkundig, nachdem es zum Versagen einer Komponente – zum Beispiel einem Rohrbruch – gekommen ist.

Typischerweise sind die Ausfallraten unmittelbar nach Inbetriebnahme einer Anlage höher, weil in dieser Phase Baufehler und Konstruktionsmängel ans Tageslicht kommen. Da ein hoher ökonomischer Anreiz besteht, so schnell wie möglich ein reibungsloses Funktionieren der Anlage zu erreichen, werden in dieser Phase zumeist erhebliche Anstrengungen zur Behebung sämtlicher Probleme unternommen.

Im „mittleren Alter“ einer Anlage sinkt die Ausfallrate üblicherweise auf ein Minimum. Später dagegen treten Alterungsprozesse auf und die Ausfallrate steigt langsam wieder an. Das Resultat ist eine „Badewannenkurve“ in der in Abbildung 1 dargestellten Art:

Dieser Vorgang, der nicht immer problemlos zu erkennen und zu verfolgen ist, erhöht das Anlagenrisiko ganz beträchtlich. Bei Atomkraftwerken beginnt die Alterungsphase unabhängig vom Reaktortyp nach rund 20 Betriebsjahren, wobei diese Zahl nur als Faustregel betrachtet werden sollte und Alterungsphänomene auch früher auftreten können.

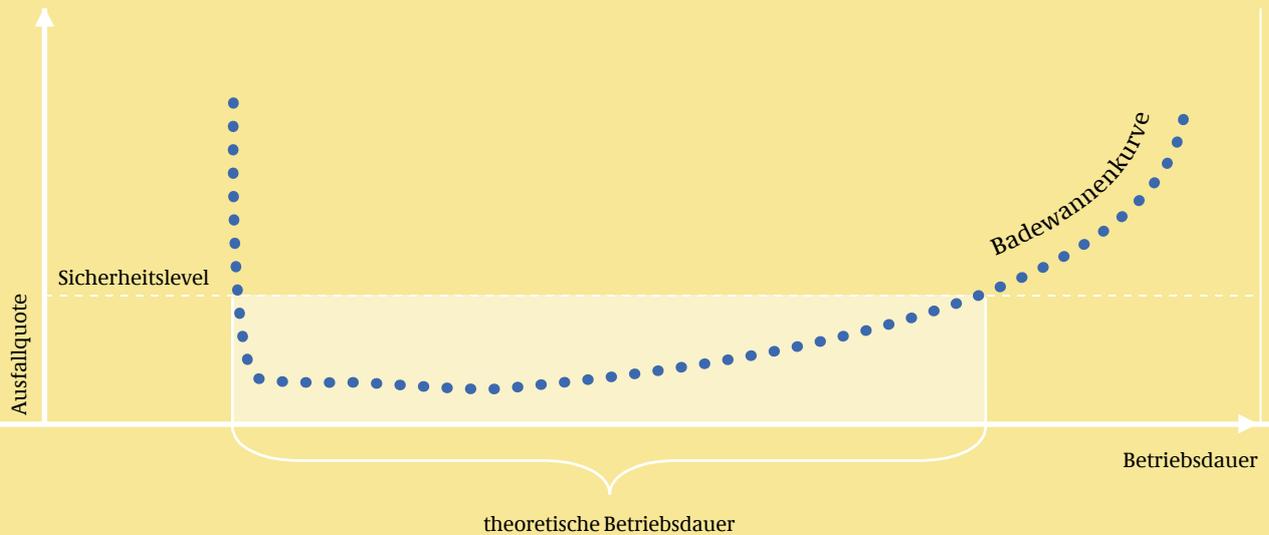
## Terrorgefahr

Obwohl bereits das 20. Jahrhundert von zahllosen Terroranschlägen erschüttert wurde, scheint die Terrorgefahr zu Beginn des 21. Jahrhunderts, vor allem seit dem 11. September 2001, besonders groß.

Es gibt zahllose potenzielle Ziele für Terroristen; Atomkraftwerke bieten sich aus folgenden Gründen als Terrorziele an:

**Symbolischer Gehalt:** Atomstrom lässt sich als Sinnbild für die technologische Entwicklung verstehen, als „Hochtechnologie“ in Reinkultur. Da die Atomenergie eine zivil wie militärisch nutzbare Technologie ist, wird sie von vielen Menschen – und das mit gutem Grund – als potenziell sehr gefährlich betrachtet. Deswegen hätten Anschläge auf Atomkraftwerke eine besonders starke psychologische Wirkung.

Abbildung 1: Ausfallquote von Atomanlagen im Zeitverlauf



**Langfristige Auswirkungen:** Ein Anschlag kann zu einer großflächigen radioaktiven Kontamination mit langlebigen Radionukliden führen. Der angegriffene Staat wäre lange Zeit von den Zerstörungen gezeichnet. Darüber hinaus fielen für Jahrzehnte ökonomische Schäden an. Große Areale (Städte, Industriegebiete) müssten auf Dauer evakuiert werden, was ganze Regionen destabilisieren könnte.

**Unmittelbare Folgen für die Stromerzeugung in der betroffenen Region:** Atomkraftwerke sind in allen Ländern große und zentralisierte Komponenten im Stromversorgungssystem. Würden solche großen Anlagen unvermittelt abgeschaltet, könnte das zu einem Zusammenbruch des lokalen Stromnetzes führen.

**Langfristige Folgen für die Stromerzeugung** (und zwar nicht nur in der betroffenen Region, sondern auch in anderen und möglicherweise sogar allen Regionen, wo Atomkraftwerke in Betrieb sind): Ein Anschlag auf ein Atomkraftwerk in einem Land stellt zugleich einen Anschlag auf alle Atomkraftwerke weltweit dar. Ist durch einen Anschlag die Verwundbarkeit eines Atomkraftwerks bewiesen, ist es wahrscheinlich, dass nicht nur im betroffenen Land, sondern auch in anderen Ländern weitere Atomkraftwerke abgeschaltet werden.

Andererseits gibt es – vom Standpunkt einer Terrorgruppe aus betrachtet – sicher auch eine Reihe von Gründen, die gegen Anschläge auf Atomkraftwerke sprechen: Atomkraftwerke sind weniger verwundbar als andere Ziele, radiologische Schäden könnten über große Entfernungen hinweg auch verbündete Länder betreffen, das attackierte Land könnte mit extremer Gewalt reagieren. Allerdings lässt sich kaum abschätzen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmtes Ziel angegriffen wird oder nicht. Fest steht nur, dass Terroranschläge auf Atomkraftwerke möglich sind.

Solche Anschläge können mit einer Vielzahl von Mitteln ausgeführt werden. Es ist unmöglich, eine Liste aller denkbaren Szenarien zu erstellen, da man schlichtweg die Produkte der menschlichen Fantasie nicht vorhersehen kann. Von allen kerntechnischen Anlagen und anderen Einrichtungen mit toxischem Inventar wie beispielsweise Chemiefabriken stellen Atomkraftwerke wahrscheinlich die „attraktivsten“ Ziele für terroristische oder militärische Angriffe dar. Sie sind weit verbreitet (zumindest in zahlreichen Industrieländern), enthalten ein beträchtliches radioaktives Inventar und sind, wie bereits erwähnt, wichtige Komponenten des Stromversorgungssystems. Darüber hinaus handelt es sich bei ihnen um große Bauwerke mit typischer Struktur, die selbst aus der Ferne deutlich sichtbar sind. Das Gelände eines Atomkraftwerks umfasst üblicherweise mehrere zehntausend Quadratmeter. Das Kernstück der Anlage ist das Reaktorgebäude, das den Reaktor mit etwa 100 Tonnen hochradioaktivem Kernbrennstoff sowie wichtige Kühl- und Sicherheitssysteme enthält. Im Falle eines Anschlags dürfte das Reaktorgebäude das primäre Ziel sein. Ist der Reaktor zum Zeitpunkt eines Anschlags in Betrieb und fällt das Kühlsystem aus, kann es in sehr kurzer Zeit (ungefähr einer Stunde) zu einer Kernschmelze kommen. Selbst wenn der Reaktor abgeschaltet wird, ist die Zerfallswärme immer noch so hoch, dass der Kernbrennstoff – wenn auch langsamer – schmelzen wird.

Bei einer Zerstörung des Reaktorgebäudes mit gleichzeitigem Versagen der Kühlsysteme droht ein Kernschmelzunfall der gefährlichsten Kategorie: eine rapide Kernschmelze bei offenem Containment, was zu einer sehr hohen und frühzeitigen radioaktiven Freisetzung führt.

Das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente ist eine weitere anfällige Komponente mit beträchtlichem radioaktivem Inventar. In manchen Anlagen enthält es ein Mehrfaches an Kernbrennstoff (und damit auch an langlebigen radioaktiven Substanzen) der wie der Reaktorkern selbst. In einigen Atomkraftwerken befindet sich dieses Becken innerhalb des Containments und ist gegen äußere Einwirkungen durch eine Betonhülle geschützt (zum Beispiel in deutschen Druckwasserreaktoren). In vielen Fällen allerdings ist das Lagerbecken in einem schlechter abgesicherten separaten Gebäude untergebracht (etwa bei vielen US-Atomkraftwerken). Auch bei deutschen Siedewasserreaktoren befindet sich das Lagerbecken zwar innerhalb des Reaktorgebäudes, aber außerhalb des Containments und ist deutlich weniger geschützt als der Reaktor selbst.

Abgesehen vom Reaktorgebäude und dem gegebenenfalls externen Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente gibt es weitere Gebäude und Einrichtungen die unterschiedlichen Sicherheitsstufen unterliegen. Bei modernen Druckwasserreaktoren (die einschließlich der WWER-Reaktoren rund 60 Prozent aller weltweit in Betrieb befindlichen Kernreaktoren stellen) sind das insbesondere:

- Schaltanlagegebäude mit Kraftwerkswarte sowie den zentralen elektrischen und elektronischen Anlagen,
- Reaktorhilfsanlagegebäude mit Wasserreinigungs- und Lüftungsanlagen,
- Maschinenhäuser mit Turbine und Generator,
- Transformatorenstationen mit Netzeinspeisung und Eigenbedarfs-Transformator,
- Notstromgebäude mit Notstromaggregat und Kaltwasserzentrale,
- Notspeisegebäude mit Einrichtungen zur Notbespeisung der Dampferzeuger (d.h. Kühlung des Reaktors über den sekundären Kühlkreislauf) einschließlich der Notsteuerstelle,
- Abluftkammine,
- Werkstatt- und Sozialgebäude,
- Kühltürme (bei Rückkühlung),
- Kühlwasserentnahme- und Rückgabebauwerke.

Die Gegebenheiten bei Siedewasserreaktoren sind ähnlich. Allerdings haben diese keine Notspeisegebäude, da sie nur einen Kühlkreislauf und somit keine Dampferzeuger aufweisen. Stattdessen verfügen Siedewasserreaktoren über eine Notsteuerstelle, von der aus die wichtigsten Sicherheitsfunktionen kontrolliert werden. Bislang sind nicht alle Atomkraftwerke speziell auf den Schutz gegen externe, von Menschen verursachte Ereignisse (beispielsweise Flugzeugabstürze) ausgelegt. Bei den Anlagen, die darauf ausgelegt sind, wurde nur die Einwirkung auf einen Punkt berücksichtigt (beispielsweise der Aufprall eines kleinen Militärflugzeugs). Die räumliche Trennung sicherheitsrelevanter Einrichtungen war die zentrale Gegenmaßnahme. Dadurch soll gewährleistet werden, dass bei einem solchen Ereignis nur eine Sicherheitseinrichtung zerstört wird und ein Ersatz möglich ist. Beispielsweise könnten bei einem Ausfall der Hilfsstromquelle über den entsprechenden Umspanner immer noch die Notstromdiesel aktiviert werden. Doch selbst wenn bei einem Angriff das Reaktorgebäude intakt bliebe, könnte die Situation immer noch außer Kontrolle geraten, falls mehr als eine sicherheitsrelevante Einrichtung der Anlage zerstört werden würde. Das könnte sogar im Falle der räumlichen Trennung wichtiger Komponenten passieren, sofern die Folgen des Angriffs größere Bereiche des Standorts betreffen.

### Zusammenfassung der Risiken

- Alle in Betrieb befindlichen Reaktoren weisen schwerwiegende inhärente Sicherheitsmängel auf, die sich auch durch nachträgliche Verbesserungen der Sicherheitsmaßnahmen nicht beheben lassen.
- Ein größerer Unfall in einem Leichtwasserreaktor – Leichtwasserreaktoren stellen die große Mehrheit der Reaktoren – kann zu radioaktiven Freisetzungen führen, die das Mehrfache dessen betragen, was beim Tschernobyl-Unfall freigesetzt wurde (und über das Tausendfache dessen, was bei der Explosion einer Atombombe freigesetzt wird).

- Die als prinzipiell sicher gepriesenen neuen Reaktortypen weisen nicht nur ganz eigene spezifische Sicherheitsprobleme auf, ihre Entwicklung würde auch – bei ungewissen Ergebnissen – enorme Geldsummen verschlingen.
- Das Durchschnittsalter der Reaktoren weltweit liegt bei rund 21 Jahren, und viele Länder planen, die Laufzeit ihrer Reaktoren über die ursprünglich geplante Betriebsdauer hinaus zu verlängern. Längere Laufzeiten führen zum Verschleiß kritischer Komponenten und damit zu einem höheren Risiko schwerer Zwischenfälle. Angesichts unseres begrenzten Wissens über altersbedingte Abnutzungsprozesse lassen sich diese nur schwer vorhersagen.
- Im Zuge der Liberalisierung der Strommärkte haben die nuklearen Energieversorger ihre Investitionen in Sicherheitsmaßnahmen reduziert und Personal abgebaut. Parallel dazu steigern sie die Reaktorleistung durch die Erhöhung des Reaktordrucks, der Betriebstemperatur und des Abbrands, was die Alterung beschleunigt und Sicherheitsabstände vermindert. Dazu kommt, dass die Atomaufsichtsbehörden nicht immer in der Lage sind, auf diese Änderungen angemessen zu reagieren.
- Atomreaktoren lassen sich nicht ausreichend gegen Terroranschläge schützen. Neben dem Absturz eines Verkehrsflugzeugs auf ein Atomkraftwerk gibt es mehrere andere Szenarien, die zu einem größeren Reaktorunfall führen können.

#### **Folgen eines Atomunfalls: Ist die Nutzung der Atomkraft zu verantworten?**

Bei der Abwägung der Risiken der Atomkraft und der Frage der weiteren Nutzung von Atomenergie müssen die Folgen eines möglichen Unfalls mit in die Betrachtungen einbezogen werden. Die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl hat gezeigt, dass die Konsequenzen und der Umfang eines schweren Unfalls in einem Atomkraftwerk nicht absehbar sind. Selbst 20 Jahre nach dem Unglück lässt sich kein genaues Bild der Auswirkungen auf die Menschen, die Umwelt und die Wirtschaft zeichnen. Sollte eine derartige Katastrophe in dichter besiedelten Gebieten stattfinden, so überstiegen die Nachteile den gewünschten Nutzen der Atomenergie bei weitem.

## Die Reaktorsicherheit in der Ukraine - 20 Jahre nach der Katastrophe von Tschernobyl

Olena Mykolaichuk

Leiterin der Ukrainischen Atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde

### Die Katastrophe von Tschernobyl - eine bittere Erfahrung

20 Jahre sind vergangen seit dem Tage des schweren Unfalls im Block IV des KKW Tschernobyl. Die Beseitigung der Folgen der wohl größten technischen Katastrophe der Menschheit ist noch nicht abgeschlossen. Es macht uns traurig, aber es ist leider so: Die Ukraine wird auch heute noch von vielen Menschen mit „Tschernobyl“ assoziiert.

Die Katastrophe von Tschernobyl zeigt, wie zerstörerisch das „friedliche Atom“ sein kann, und rückt die Reaktorsicherheit in den Fokus der Menschen.

Das Ereignis von Tschernobyl war nicht der erste Störfall in einem kerntechnischen Objekt und auch nicht der erste Unfall mit einer Zerstörung des Reaktorkerns. Es war aber der Unfall mit der bis heute breitesten Resonanz.

### Wie steht es um das KKW Tschernobyl?

Der Unfall besiegelte das Schicksal auch der übrigen drei Blöcke am Standort. Allerdings mussten Lösungen zur Kompensation des Energieverlustes von 3.000 MW für das ohnehin krisengeschüttelte Land und für die Finanzierung der Außerbetriebnahmen gefunden werden. Zur Finanzierung trug das im Dezember 1995 zwischen den Regierungen der Ukraine und der „Großen Sieben“ in Ottawa abgeschlossene „Memorandum zur Schließung des KKW Tschernobyl“ bei.

Ein Jahr später wurde die damals unpopuläre Stilllegung eingeleitet. Am 15. Dezember 2000 wurde in Tschernobyl die Kernenergieerzeugung mit der Abschaltung des letzten Blockes eingestellt. Zum Zeitpunkt der Betriebseinstellung waren nicht alle im Ottawaer Memorandum zugesagten Maßnahmen zur Linderung der Schließungsfolgen für die Ukraine realisiert.

Die Strahlung kann leider nicht wie der Strom per Knopfdruck abgeschaltet werden. Noch heute, fünf Jahre nach dem Stopp der Energieerzeugung, befinden sich Brennelemente und radioaktive Abfälle in den Blöcken, weil die Infrastruktur für die sichere Aufbereitung und Lagerung nicht wie geplant fertig gestellt worden ist. Es treten leider sehr viele Fehler auf, die den planmäßigen Fortgang stören. Wie es mit den abgebrannten Brennelementen weitergehen soll, ist am wenigsten geklärt.

Ich möchte bemerken, dass selbst nach erfolgreicher Fertigstellung aller geplanten Anlagen einschließlich des „Neuen sicheren Sarkophags“ das Sicherheitsproblem am Standort Tschernobyl nicht vollständig gelöst sein wird. Nachdem der „Shelter Implementation Plan“ verwirklicht sein wird, verbleibt die Beseitigung der abgebrannten Brennelemente und der hochradioaktiven Abfälle. Darum muss sich die Ukraine alleine kümmern.

### Die Kernenergie in der Ukraine nach Tschernobyl

Die Katastrophe von Tschernobyl hatte immense Folgen für die gesamte Kernenergienutzung in der Ukraine. 1990 wurde ein fünfjähriges Moratorium für den weiteren Ausbau der Kernenergie und die geplante Leistungserhöhung beschlossen. Allerdings musste das Moratorium wegen einer das ganze Land lähmenden Wirtschafts- und Energiekrise bereits nach drei Jahren aufgehoben werden. Anschließend wurden die drei Anlagen an den Standorten Saporoshje, Rowno und Khmelnytsky fertig gestellt. Die Bauarbeiten an weiteren 16 Reaktoren wurden nicht wieder aufgenommen.

Die Ukraine hat die Lehren aus dem Unfall gezogen. Heute gibt es Folgendes:

- eine fachlich kompetente und unabhängige Aufsichtsbehörde,
- ein Atomgesetz,
- ein modernisiertes kerntechnisches Regelwerk,
- einen offenen und aktiven Dialog mit der Bevölkerung zu allen Sicherheitsfragen bei der Nutzung der Kernenergie.

Internationale Sicherheitsuntersuchungen bestätigen, dass alle derzeit in der Ukraine betriebenen KKW zu den Reaktorbaulinien gehören, die bis zu einem weltweit akzeptierten Sicherheitsniveau verbessert werden können. Die dafür not-

wendigen Modernisierungen werden in allen ukrainischen Anlagen schrittweise eingebaut. Dies erfolgt offen und transparent unter Einbeziehung internationaler Experten, darunter auch deutsche.

Die Erbringung des Nachweises, dass die ukrainischen KKW sicher sind, ist eine Bedingung des kürzlich von der Ukraine und der EU unterschriebenen „Memorandums zur Energie“. Die Ergebnisse dieser Sicherheitsüberprüfung werden Auskunft geben, inwieweit das bereits erreichte Sicherheitsniveau in den ukrainischen Kernkraftwerken dem internationalen Standard entspricht und wo gegebenenfalls weitere Maßnahmen erforderlich sind.

Die beiden Neuanlagen Rowno-4 und Khmelnyzky-2 erfüllen das ukrainische Atomgesetz und stellen Referenzanlagen für die Modernisierung aller übrigen ukrainischen KKW dar. Mit der Realisierung eines von internationalen Experten geprüften Modernisierungsprogramms werden die ursprünglichen Defizite der Reaktorbaulinie WWER-1.000 behoben. EU-Experten verfolgen die Umsetzung des Programms. So wurden sie kürzlich von ukrainischen Behörden zur Teilnahme an Inspektionen in den KKW eingeladen.

Abschließend möchte ich erwähnen, dass die Modernisierung der beiden Anlagen in Rowno und Khmelnyzky planmäßig voranschreitet, obwohl die dafür zugesagten westlichen Kredite noch nicht ausgezahlt wurden. Dies zeugt davon, dass die Ukraine Sicherheit nicht deklariert, sondern umsetzt. Diesem Anspruch wollen wir auch in Zukunft gerecht werden.

### **Schlussfolgerungen**

Aufgrund der zu erwartenden weiteren Preiserhöhungen für Erdöl und Gas, des beschränkten eigenen Vorkommens an diesen Rohstoffen sowie der Anfang des Jahres besonders deutlich gewordenen Unsicherheit des Gasimportes aus Russland kann es die ukrainische Regierung nicht verantworten, auf die weitere Kernenergienutzung zu verzichten. Die kürzlich für die Ukraine bis 2030 beschlossene Energiestrategie setzt deshalb auf den Ausbau der Kernenergie.

Ich versichere Ihnen, dass die Ukraine für die neu zu errichtenden KKW nur Anlagen mit höchstem nachgewiesenem Sicherheitsniveau auswählt. Alle Fragen zur Auswahl des Reaktortyps und des Standortes werden offen und transparent behandelt. Der Lösung der Probleme der Beseitigung der abgebrannten Brennelemente und des radioaktiven Abfalls werden dabei höchste Priorität eingeräumt.

Die Katastrophe von Tschernobyl mit den menschlichen Opfern, den großen unmittelbaren und nachfolgenden materiellen Schäden zeigt schmerzhaft deutlich, welcher Preis für Konstruktions-, Bau- und Betriebsfehler sowie für Unterlassungen bei der Überwachung der Reaktorsicherheit zu zahlen ist. Große Katastrophen verursachen menschliches Leid, ökologische Zerstörungen und wirtschaftliche Verluste in allen Staaten der Unfalleinflusszone.

Gestatten Sie mir, Ihnen zu sagen, dass wir die Lehren gezogen haben und sich die Regierung der Ukraine mit höchster Verantwortung und Offenheit um alle Fragen der Reaktorsicherheit und des Strahlenschutzes kümmert. Der Sicherheit beim Betreiben unserer KKW gilt heute und in Zukunft die höchste Priorität. Von ganzem Herzen bedanke ich mich bei der deutschen Bevölkerung und ihrer Regierung für die große Hilfe bei der Behebung der Folgen der Katastrophe von Tschernobyl, den wirksamen Beiträgen zur Sicherheitsverbesserung in unseren KKW und zur sicheren Verwahrung von radioaktiven Materialien.

Vielen, vielen Dank.

## Plenum: Energie- und klimapolitische Herausforderungen weltweit

### Moderation:

Jörg Michel  
Journalist

### Aktueller Stand der Klimafolgenforschung: Vermeidung oder Anpassung?

Prof. Dr. Wolfgang Cramer  
Leiter der Abteilung Globaler Wandel und Natürliche Systeme des  
Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK)

### Herausforderungen und Perspektiven der internationalen Energiepolitik

Matthias Machnig  
Staatssekretär, Bundesumweltministerium

### Neue Wege und Strategien zur Lösung der Energiefrage: die Energierevolution

Dr. Gerd Leipold  
Geschäftsführer von Greenpeace International

### Curbing climate change - an outline of a framework leading to a low carbon emitting society

Lars G. Josefsson  
Präsident und Vorstandsvorsitzender von Vattenfall AB



*Plenum „Energie- und klimapolitische Herausforderungen weltweit“  
mit Chris Flavin, Präsident des Worldwatch Institute,  
Lars G. Josefsson, Präsident und Vorstandsvorsitzender von Vattenfall AB,  
Jörg Michel, Journalist und Moderator des Plenums,  
Matthias Machnig, Staatssekretär, BMU,  
Dr. Gerd Leipold, Geschäftsführer von Greenpeace International und  
Prof. Dr. Wolfgang Cramer, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (v.l.n.r.)*



## Der aktuelle Stand der Klimafolgenforschung – Vermeidung oder Anpassung?

Prof. Dr. Wolfgang Cramer

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und Institut für Geoökologie, Universität Potsdam

### Zusammenfassung

Der vom Menschen verursachte Klimawandel hat schon jetzt zu deutlichen Veränderungen in der Natur sowie zu ökonomischen Verlusten und zu Todesopfern geführt – eine Zunahme und Beschleunigung dieser Veränderungen ist zu erwarten.

### Vorbemerkung zum Klimawandel

Die Auswertung aller verfügbaren Beobachtungen zeigt, dass das globale Klima sich in den letzten Jahrzehnten schneller gewandelt hat als in vielen Jahrtausenden zuvor. Es gibt unter seriösen Wissenschaftlern keinen Zweifel mehr daran, dass die aktuelle globale Erwärmung, ebenso wie viele mit ihr zusammenhängende regionale Klimaveränderungen, primär durch den vom Menschen verursachten Anstieg der Treibhausgaskonzentration bedingt ist. Diese Zuordnung beruht sowohl auf statistischen Analysen als auch auf dem wachsenden Verständnis der Prozesse, welche die Strahlungsbilanz der Atmosphäre verändern und damit das Klima beeinflussen.

Durch die Betonung einiger offener Fragen der Rekonstruktion weiter zurückliegender Epochen (etwa des Mittelalters) wird gelegentlich der Eindruck erweckt, auch der derzeitige Trend sei „umstritten“. Dies ist aber irreführend, denn die Veränderungen der letzten Jahrzehnte sind besser beobachtet und auch deutlicher als die rekonstruierten Veränderungen aus der Zeit vor dem Quecksilberthermometer. Bemerkenswert ist, dass die Feststellung des anthropogenen Klimawandels durch einen wissenschaftshistorisch beispiellosen Konsensfindungsprozess (das Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) laufend überprüft wird.

Der Einfluss des Menschen auf die Treibhausgaskonzentration der Atmosphäre und damit auf das Klima besteht zu rund vier Fünfteln aus den Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Zementproduktion. Das letzte Fünftel entsteht bei der Rodung und Verbrennung von Wäldern, insbesondere in den Tropen. Weniger als die Hälfte dieser Emissionen verbleibt in der Atmosphäre und führt zum Klimawandel, denn der überwiegende Teil wird vom Ozean und der Landbiosphäre aufgenommen. Eine fortgesetzte Emission dieser Treibhausgase würde – selbst im unrealistischen Fall einer gleichbleibenden jährlichen Menge – unweigerlich zu weiterem Klimawandel führen. Tatsächlich aber steigen die Gesamt-Emissionen weiterhin an und es sind keine natürlichen Prozesse bekannt, die zu einer erhöhten Speicherung von Kohlenstoff an Land führen könnten. Eine Beschleunigung des Anstieges der Treibhausgaskonzentration und damit des Klimawandels ist daher für die kommenden Jahrzehnte zu erwarten.

### Beobachtete Wirkungen des Klimawandels

Die für Menschen bedeutsamen Wirkungen des globalen Klimawandels treten primär lokal und regional auf. Eine häufig gestellte Frage ist, ob ein bestimmtes Wetter-Ereignis (z.B. der Tropensturm „Katrina“) vom Klimawandel verursacht wird oder nicht. Aufgrund des starken „Rauschens“ im schnell wechselnden Wettergeschehen ist eine solche Aussage in der Regel nur im Sinne einer statistischen Wahrscheinlichkeit zu treffen. Einzelereignisse werden oft erst in der Summe zum Indikator, z.B. dann, wenn sich Trockenperioden oder Tropenstürme häufiger einstellen als vorher. Hinzu kommt, dass die Feststellung einer statistisch gesicherten Änderung nicht automatisch die Zuordnung zum anthropogenen Klimawandel belegt, denn regionale Klimaänderungen können auch andere Ursachen haben.

Trotzdem gilt für eine Reihe von beobachteten Veränderungen, dass sie mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf den vom Menschen geschaffenen Klimawandel zurückgeführt werden können. Das vermutlich deutlichste Beispiel hierfür ist der erhebliche Rückgang des arktischen Meereises, der seit mindestens den 1970er Jahren anhält und der nur durch den beschleunigten Klimawandel erklärt werden kann. Eine Folge hiervon ist die Bedrohung vieler Tierarten der Arktis, bis hin zum Eisbären – aber auch die Gefährdung der traditionellen Kultur der Inuit. Mit dem Meereis schmelzen auch Eismassen andernorts schneller als erwartet, etwa die großen Eisschilde in Grönland und der Antarktis sowie zahlreiche kleinere Gletscher in allen Klimazonen, aber auch die Permafrostschicht in arktischen Böden. Zu den Auswirkungen dieses Auftaus gehört eine allgemeine Destabilisierung von Böden im Gebirge und in der arktischen Tundra, die zu Erdbeben und anderen Schäden führt.

Diese Änderungen der Kryosphäre werden im Allgemeinen als Gefahr betrachtet – sie sind aber auch ein gutes Beispiel für Trends, die von verschiedenen Interessengruppen sehr unterschiedlich bewertet werden: Für die marine Artenvielfalt ist der Eisrückgang sehr negativ – gleichzeitig eröffnet er neue kommerzielle Schifffahrtsrouten und damit den Zugang zu geologischen Ressourcen der Region.

Eine andere gut belegte Folge des bisherigen Klimawandels ist die Beschleunigung des Meeresspiegelanstieges. Obwohl es sich um einen globalen Trend handelt, sind dessen Wirkungen doch räumlich heterogen, denn sie hängen von lokalen Gegebenheiten ab, z.B. von der Topographie im Küstenbereich oder der lokalen Dynamik der Landoberfläche. In Gebieten mit natürlich absinkender Landoberfläche führt der Meeresspiegelanstieg zur gefährlichen Beschleunigung des ohnehin vorhandenen lokalen Trends, während er in anderen Regionen nur von geringer Bedeutung ist. Die küstennahe Infrastruktur ist regional unterschiedlich gut gegen Sturmfluten und höhere Mittelwasserstände geschützt. In vielen Gebieten erhöhen andere negative Trends die Empfindlichkeit gegenüber dem Anstieg des Meeresspiegels, beispielsweise die Zerstörung der Mangrovenwälder. In der Summe ist die Gefährdung von Menschen und Siedlungen in den kleinen Inselstaaten des Pazifiks und des Indischen Ozeans besonders hoch – andererseits sind in den bevölkerungsreichen Staaten mit flachen, dicht besiedelten Küstenzonen (Bangladesh, Indonesien) noch erheblich mehr Menschen direkt gefährdet.

Klimabedingte Änderungen des Wasserkreislaufes an Land können in zahlreichen Regionen beobachtet werden. Ein Indiz hierfür ist beispielsweise die Zunahme des Abflusses aus den großen sibirischen Flüssen in den arktischen Ozean. Diese Zunahme lässt sich durch den abschmelzenden Permafrost der nördlichen Regionen, aber auch durch regionale Niederschlagsänderungen erklären. Andererseits gibt es auch viele Trockengebiete, in denen der Klimawandel die latente Wasserknappheit verstärkt. In den Wäldern des Mittelmeerraums oder der sibirischen Taiga hat dieser Trend bereits zu größeren und immer schwerer zu kontrollierenden Waldbrandereignissen geführt.

Die Ökosysteme haben in den letzten Jahren in vielfältiger Weise auf den Klimawandel reagiert. Die meisten Pflanzen- und Tierarten sind in ihrem Jahreszeiten- und Lebenszyklus an bestimmte Temperatur- und/oder Feuchtebedingungen angepasst. Schwankungen der Witterung führen aber dennoch keineswegs direkt zu Beeinträchtigungen der Populationen oder gar zum Aussterben, denn ein früherer Blattaustrieb oder Brutbeginn ist nicht automatisch ein Nachteil für die Art. Die zahllosen Untersuchungen der biologischen Reaktionen auf den Klimawandel liefern aber einen unabhängigen Indikator für den schnellen Klimawandel – auch dort, wo Messdaten nur in geringer Menge vorliegen. Viele ökosystemare Reaktionen erreichen derzeit einen Punkt, von dem an definitiv von negativen Änderungen gesprochen werden muss. Man kann zwei Hauptgruppen von ökologischen Änderungen unterscheiden: die Gefährdung des Überlebens von Arten oder besonderen Ökosysteme und die Veränderung großer Stoffkreisläufe, insbesondere der Kohlenstoffbilanz.

Ein eindeutiger Nachweis dafür, dass eine Art bereits aufgrund des anthropogenen Klimawandels ausgestorben ist, ist sehr schwer zu führen, denn viele gefährdete Arten sind durch mehr als einen Faktor bedroht. Die allgemeine Änderung der Landnutzung und die Verschmutzung von Atmosphäre, Gewässern, Böden und Ozeanen stellen ein komplexes Gefahrenpotenzial dar, zu dem der Klimawandel als zusätzliche Kraft hinzutritt, die allerdings entscheidend sein kann. Bei einigen Amphibien und Insektenarten sprechen starke Anzeichen dafür, dass der Klimawandel eine direkte Bedeutung für ihr Aussterben hatte. Es sprechen aber auch zahlreiche Gründe dafür, dass der globale Anstieg der Aussterberate immer stärker klimabedingt ist. Statistisch sind daher viele Arten durch den Klimawandel ausgestorben. Natürlich finden manche Arten durch den Klimawandel auch neue Lebensräume, aber dieser Prozess verläuft wesentlich langsamer als der Verlust von Habitaten und ist daher von geringerer Bedeutung. Oft wird davon gesprochen, dass sich die möglichen Verbreitungsareale von Arten nach Norden und ins Hochgebirge verschoben haben – dies kann aber nur für Arten mit kurzem Lebenszyklus und schneller Verbreitung direkt beobachtet werden. Für die meisten dauert die Wanderung zu lange, bzw. sie wird durch Barrieren oder konkurrierende Arten verhindert.

Der Klimawandel bewirkt nicht nur den Verlust von Arten, sondern er verändert auch die Funktion von Ökosystemen. Dies wiederum beeinflusst die Kohlenstoff- und Wasserbilanz der Landbiosphäre. Solche Veränderungen werden durch Messungen mit Satelliten und mikrometeorologischen Messtürmen untersucht und mit Hilfe von Simulationsmodellen analysiert. Die Untersuchungen zeigen, dass viele Schwankungen des großräumigen Klimas direkt auf die Stoffbilanzen einwirken. Hinzu kommt die direkte Wirkung des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ , das die Photosynthese beschleunigt und vielen Pflanzen erlaubt, mit knappen Wasserressourcen effizienter umzugehen. Generell speichert die Landbiosphäre seit längerer Zeit mehr Kohlenstoff als sie an die Atmosphäre abgibt und übt daher eine klimaregulierende Funktion aus. Andererseits hat z.B. die Hitze- und Trockenperiode des Jahres 2003 in Europa und Asien zu einer Abnahme der Kohlenstoffspeicherung in Böden und Pflanzenmaterial (und damit zu einer Beschleunigung des  $\text{CO}_2$ -Anstieges in der Atmosphäre) geführt.

Die Auswirkungen dieser biogeochemischen Änderungen auf Land- und Forstwirtschaft sind teils positiv, teils negativ. Viele Wälder der gemäßigten und nördlichen Zonen zeigen seit einigen Jahrzehnten eine höhere Produktivität, die auf mehrere Ursachen zurückgehen kann, u.a. auf die Erhöhung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts und der Temperatur. Die Landwirtschaft hat aber nur in manchen Spezialkulturen nachweisbar von den Änderungen der Atmosphäre profitiert, u.a. im Weinbau. Generell sind Land- und Forstwirtschaft eher von Verschlechterungen der Wachstumsbedingungen in Trockenregionen betroffen.

Die marinen Ökosysteme werden ebenfalls von der Erwärmung beeinflusst, insbesondere die tropischen Korallenriffe, die großflächig absterben („Bleiche“). Ein Phänomen, welches primär mit dem Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Konzentration und nur

indirekt mit der Erwärmung zu tun hat, ist die zunehmende Versauerung der Ozeane durch den Anstieg des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre. Die Auswirkungen hiervon sind zum heutigen Zeitpunkt nur unvollkommen bekannt, aber die Versauerung trägt möglicherweise zur Korallenbleiche bei, und sie verschlechtert mit großer Wahrscheinlichkeit die Überlebensmöglichkeiten für kalkschalenbildende Organismen.

Menschen leiden vor allem unter Hitzewellen, wie etwa 2003 in Europa überdeutlich wurde, als mehr als 15.000 Menschen hitzebedingt starben. Viele Untersuchungen deuten auch darauf hin, dass sich die Übertragungswege von Infektionskrankheiten klimabedingt ändern, wie etwa die der Meningo-Enzephalitis über Zecken, die sich in Europa immer mehr nach Norden ausbreiten.

Von den extremen Wetterereignissen, die durch den Klimawandel bedingt häufiger oder intensiver auftreten als sonst zu erwarten wäre, stehen die tropischen Wirbelstürme an erster Stelle – diese erreichten im Jahre 2005 einen Höhepunkt, der auf ansteigende Meerestemperaturen und andere Phänomene des Klimawandels zurückzuführen ist.

Die vorgenannten, bereits heute beobachteten Änderungen im Erdsystem haben gemeinsam, dass sie zu einem überwiegenden Anteil durch den vom Menschen geschaffenen Klimawandel ausgelöst oder beschleunigt worden sind. Sie gehören zu den nach heutigem Kenntnisstand für die Menschheit wichtigsten Indikatoren, aber sie sind auch gleichzeitig nur eine Auswahl. Die vom IPCC und an anderer Stelle zusammengestellten Analysen liefern zahlreiche weitere Beispiele. Gleichzeitig bleibt es wichtig, in jedem Einzelfall kritisch zu evaluieren, ob der Nachweis der Zuordnung zur menschlichen Aktivität belastbar genug ist.

### **Zu erwartende Wirkungen in der Zukunft**

Die lineare Fortschreibung der oben genannten und anderer Trends von Klimawirkungen in die Zukunft wird von vielen immer noch als ausreichend gesicherte Methode zur Entwicklung von Szenarien zu zukünftigen Schäden gesehen. Sie entspricht aber schon seit langem nicht mehr dem Stand der Forschung. Wichtig ist zunächst festzuhalten, dass „Prognosen“ im eigentlichen Sinne nicht möglich sind – für solche wäre es erforderlich, die zukünftigen Treibhausgasemissionen zu kennen, die wiederum eine Funktion der ökonomischen und sozialen Entwicklung sind, welche nicht exakt prognostiziert werden kann. An die Stelle von Prognosen treten daher Szenarien, welche die Auswirkungen bestimmter Handlungsoptionen thematisieren. So genannte Business-as-usual-Szenarien beschreiben zum Beispiel die Wirkung von klimapolitischem „Nicht-Handeln“ – andere Szenarien stehen für bestimmte Ziele der Treibhausgas-Reduktion. Um eine gut auswertbare Information über die Empfindlichkeit von Systemen zu erhalten, werden immer häufiger zahlreiche Szenarien parallel ausgewertet und die Ergebnisse miteinander verglichen.

Die Szenarienanalyse beinhaltet primär die Fortschreibung der Antriebe des Klimasystems (technisch/industrielle Entwicklung, Emissionen, Landnutzungswandel). Die Wirkungen dieser Antriebe werden nicht durch Fortschreibung, sondern durch die Auswertung des Kenntnisstandes zu den Wirkungsmechanismen untersucht, häufig unter Nutzung von so genannten prozessbasierten Simulationsmodellen. In der Regel werden mehrere solcher Modelle in einer logischen Sequenz verwendet, z.B. zunächst ein Modell der atmosphärischen Dynamik (um aus Treibhausgasemissionen lokale und regionale Änderungen von Temperatur und Niederschlag zu bestimmen), danach ein Modell der physikalisch-biologischen Wirkungen des Klimas (um zu ermitteln, ob die Änderung etwa der Temperatur eine wesentliche Wirkung auf das betrachtete System hat, z.B. auf das Wachstum einer Kulturpflanze) und zuletzt ein Modell der sozioökonomischen Bedeutung solcher Änderungen.

Die sequentielle Bearbeitung erzeugt dabei nicht, wie oft behauptet, ein Problem der „Genauigkeit“, denn erst die sozioökonomische Analyse am Ende kann klären, ob die mit den vorgeschalteten Abschätzungen notwendig verbundene Unsicherheit von Bedeutung für die Entwicklung von politischen oder privaten Handlungsoptionen ist oder nicht. Hierfür ist der Begriff der „Vulnerabilität“ geprägt worden – er definiert den Wertebereich bei den abgeschätzten Wirkungen, der von realer Bedeutung für die Betroffenen ist, und er ist damit wesentlich durch die sozioökonomischen Anpassungsmöglichkeiten bestimmt. Ein Beispiel hierfür liefert der Meeresspiegelanstieg, dessen verträgliches Ausmaß in unterschiedlichen Ländern, je nach Wirtschaftskraft und küstennaher Infrastruktur, sehr verschieden ist. Diese Anpassungskapazität zu definieren, kann für die Nutzbarkeit der Szenarienanalyse wichtiger sein als die „Präzision“ der exakten Abschätzung des klimabedingten Anstieges.

Für die oben genannten Trends der bereits beobachteten Klimawirkungen kann hier aus Platzgründen nur summarisch eine Szenarienanalyse angedeutet werden – für detaillierte Angaben muss auf den 2007 erscheinenden Vierten Sachstandsbericht des IPCC verwiesen werden.

Die in jüngerer Zeit beobachteten Veränderungen der Kryosphäre werden sich mit größter Wahrscheinlichkeit fortsetzen und beschleunigen. Es wird in den meisten Szenarien erwartet, dass das arktische Meereis und die großen Inlandeismassen

weiter zurückgehen werden. Daraus ergeben sich bedeutende negative Folgen sowohl für die Fauna und Flora als auch für die indigene Bevölkerung der Arktis. Die Auswirkungen des Auftauens arktischer Permafrostböden könnten besonders stark sein, denn ihre Auflösung könnte neben der Erosion der Küste und der Destabilisierung von technischen Einrichtungen (Siedlungen, Pipelines etc.) zur Freisetzung großer Mengen des Treibhausgases Methan führen, die wiederum eine Beschleunigung des Klimawandels bedeuten würde.

Es wird erwartet, dass die wesentlichen beobachteten Veränderungen in den Ozeanen (Erwärmung, Anstieg der Oberfläche, Versauerung) fortschreiten werden, je nach Emissionsszenario schneller oder langsamer, in allen Fällen aber mit erheblichen nachteiligen Wirkungen für viele Küstenregionen, tropische Korallenriffe, Fischbestände und andere Lebensgemeinschaften. Aufgrund der großen physikalischen und biogeochemischen Trägheit der Weltmeere muss erwartet werden, dass selbst deutliche Emissionsreduktionen nachteilige Wirkungen des Klimawandels im Ozean nicht werden verhindern können.

An Land sind zahlreiche, primär nachteilige, Wirkungen des Klimawandels zu erwarten, vor allem in der Küstenzone. Ein Meeresspiegelanstieg von einem Meter pro Jahrhundert, der vor wenigen Jahren noch unrealistisch erschien, ist inzwischen denkbar geworden. Bei einer weitergehenden Destabilisierung der Eismassen in Grönland und der Westantarktis sind auch deutlich höhere Raten möglich. Die Abschätzungen sowohl der Infrastrukturkosten und des Landverlustes für küstennah lebende Menschen als auch der Todesopfer bei deutlich höheren Sturmfluten sind noch sehr unvollkommen. Es gibt aber einen breiten Konsens darüber, dass die zu erwartenden Veränderungen die Anpassungsfähigkeit der meisten Länder überfordern werden, vor allem in den Tropen (Indonesien, andere Inselstaaten), aber auch in Europa. Es ist nicht mehr unrealistisch, dass ein Rückzug aus Teilen der Niederlande oder der Themse- und Elbeästuar erwogen werden muss.

Klimabedingte Probleme größeren Ausmaßes außerhalb der Küstenzone sind schwerer abschätzbar, denn die regionalen Veränderungen der Niederschläge werden nur ungenügend durch Klimamodelle abgebildet, und über mehrere Jahrzehnte ist eine lineare Interpolation der vorhandenen Trends nicht belastbar. Auch bei gleichbleibenden Niederschlägen führt eine deutliche Temperaturerhöhung in semiariden Gebieten zu verstärkter Trockenheit. Wenn zum Beispiel in den Alpen Teile der bisher als Schnee fallenden Niederschläge in Zukunft als Regen fallen, dann ergeben sich daraus erhebliche Veränderungen im Abfluss- und Überflutungsregime vieler Flusssysteme.

Sicher ist, dass unterschiedliche Zustände der atmosphärischen Zirkulation erhebliche Veränderungen der Niederschlagsmuster bewirken. Für zahlreiche Systeme besteht daher die Problematik vor allem in der abnehmenden Vorhersagbarkeit der Niederschläge – eine Anpassung an zunehmende Trockenheit oder zunehmende Starkniederschläge ist schwer zu erreichen. Klimamodelle zeigen auch die Möglichkeit wirklich großräumiger Verschiebungen der Zirkulation und damit der Niederschläge, etwa im Amazonas-Gebiet. Dort ist es denkbar, dass gegen Mitte des 21. Jahrhunderts die Schwankungen zwischen feuchteren und trockeneren Jahren massiv zunehmen könnten, mit der Folge einer weitgehenden Verwandlung der verbliebenen Regenwälder in ein Savannen-Ökosystem.

### Ausblick

In der Öffentlichkeit wird zu Recht die Frage gestellt, ob die derzeitige Klima- und Energiepolitik – vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Szenarien – für die Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung der globalen Gesellschaft und ihrer Naturressourcen zu sorgen in der Lage ist. Der derzeitige Stand der „Vulnerabilitätsforschung“ legt den Schluss nahe, dass dies nicht der Fall ist. Keiner der im Augenblick eingeschlagenen Politikpfade erscheint geeignet, die Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration auf einem „vertretbaren Niveau“ zu erreichen. Wo dieses Niveau liegen könnte, ist ebenfalls unsicher. In der Wissenschaftlergemeinschaft setzt sich aber immer mehr die Auffassung durch, dass das in der Politik häufig als möglicher Kompromiss präsentierte Niveau von 550 ppm CO<sub>2</sub>-Äquivalent<sup>1</sup> zu hoch sei und unvermeidbare Folgen des Klimawandels mit sich bringen würde. Diese Einschätzung fußt nicht auf Zielen einer „besonders vorsichtigen“ Umweltpolitik („precautionary principle“), sondern vielmehr auf der in jüngerer Zeit deutlich werdenden besonderen Vulnerabilität der Küstengebiete und der Kryosphäre. Die Extremereignisse der Jahre 2003 und 2005 (Hitzewelle, Katrina) haben nicht nur die Öffentlichkeit auf mögliche Folgen des Klimawandels aufmerksam gemacht, sondern sie haben auch in der wissenschaftlichen Forschung die Sensibilität dafür erhöht, dass besonders große Schäden durch Umweltveränderungen häufig mit nicht-linearen Wirkungsketten zusammenhängen, die sich für die Zukunft nur mit Wahrscheinlichkeitsüberlegungen analysieren lassen.

Insofern ist die Lektion, die uns vor 20 Jahren durch die Katastrophe von Tschernobyl erteilt wurde, zunehmend auch auf Aspekte des Klimawandels anwendbar: Die Eintreffwahrscheinlichkeiten bestimmter Extremsituationen mögen gering

1 „550 ppm CO<sub>2</sub>-Äquivalent“ bedeutet eine Konzentration aller Spurengase in der Atmosphäre, die der Strahlungsbilanzwirkung von 550 ppm CO<sub>2</sub> entspricht.

sein, aber gesellschaftliche Akzeptanz der Folgen eines einzigen Ereignisses ist nahe null. Vor diesem Hintergrund im Jahre 20 nach Tschernobyl die Nukleartechnologie wieder als mögliche „Lösung des Klimaproblems“ darzustellen, zeugt deshalb nicht nur von geringer Kenntnis der technischen und ökonomischen Grenzen dieser Technologie, sondern legt auch nahe, dass die ethische Dimension des Problems nicht wirklich ernst genommen wurde.



## Herausforderungen und Perspektiven der internationalen Energiepolitik

Matthias Machnig

Staatssekretär, Bundesumweltministerium

----- Es gilt das gesprochene Wort -----

Sehr geehrte Damen und Herren,  
wir stehen in der internationalen Energiepolitik vor bedeutsamen Entwicklungen, die die Rahmenbedingungen für unser Handeln darstellen:

1. **Globalisierung und Industrialisierung** in den Entwicklungs- und Schwellenländern führen zu einer stetig steigenden Energienachfrage und verschärfen die globale Konkurrenz um die fossilen Brennstoffe massiv. Mit **443 Exajoule** liegt der Weltenergieverbrauch gegenwärtig doppelt so hoch wie vor 30 Jahren. Im Jahr 2004 haben die Statistiker von BP zudem das „größte je gemessene Jahreswachstum an weltweitem Primärenergiekonsum“ festgestellt. Allein in China ist von 2001 bis 2004 der Energiebedarf um 65 Prozent gestiegen, das macht mehr als die Hälfte des weltweiten Bedarfswachstums aus.
2. Noch streitet die Fachwelt darüber, wann wir den „Depletion Mid Point“, das heißt das Plateau der Hubbert'schen Glockenkurve bei der globalen Ölförderung, erreichen werden – in zehn, in 20 oder erst in 30 Jahren. Fest steht jedenfalls, dass schon seit Jahren mehr Öl verbraucht wird, als neue Vorkommen erschlossen werden. Damit wird eine Wahrheit deutlich, die wir fast schon vergessen hatten: Die Energieressourcen Erdöl, Kohle, Erdgas und Uran sind **endliche Rohstoffe**, die nur für einen begrenzten Zeitraum zur Verfügung stehen.
3. Unter dem Stichwort „**Versorgungssicherheit**“ müssen wir feststellen, dass die Abhängigkeit der deutschen Energieversorgung von Importen im Zeitverlauf ständig gestiegen ist. Sie beträgt bei Uran 100 Prozent, bei Mineralöl nahezu 97 Prozent, bei Gas 83 Prozent und bei Steinkohle 61 Prozent. Lediglich bei Braunkohle und bei den erneuerbaren Energien greift Deutschland vollständig auf einheimische Quellen zurück. Für die nahe Zukunft ist abzusehen, dass die Abhängigkeit von Öl- und Gasimporten aus politisch und ökonomisch instabilen Förderregionen zunimmt.
4. Der Ölpreis steigt seit 2001 stetig an und liegt gegenwärtig auf einem Niveau von 60 Dollar pro Barrel. Ähnliches gilt für die mit den Ölpreisen verknüpften Gaspreise, und auch bei Steinkohle ist ein Anstieg zu verzeichnen. Die massiv gestiegenen **Energie- und Strompreise** belasten Privathaushalte und Unternehmen; in den letzten zehn Jahren haben sich die Preise für Heizöl und Gas zum Teil sogar mehr als verdoppelt. Damit stellt sich zunehmend die soziale Frage.
5. Hinzu kommt der **Klimaschutz**. Beinahe täglich erhalten wir neue Forschungsergebnisse, die signalisieren, dass die Erde sich noch schneller erwärmt als bislang erwartet. Unser Ziel ist es, dass die globale Oberflächentemperatur der Erde nicht mehr als 2 °C gegenüber der vorindustriellen Zeit erwärmt wird. Um dies zu erreichen, muss der steigende Trend bei der Emission von Treibhausgasen gebrochen werden. Bis zum Jahr 2050 müssen die Emissionen weltweit halbiert werden.
6. In den letzten Jahren hat es große **Innovationsschübe** in der Kraftwerkstechnik gegeben, besonders bei den erneuerbaren Energien. In den vergangenen zwölf bis 15 Jahren sind ohne Inflationsbereinigung die Kosten für Windstromanlagen um über 30 Prozent, die Kosten für die Solarthermie-Anlagen um rund 50 Prozent und die Kosten für Photovoltaik-Anlagen um über 60 Prozent gesunken. Gleichzeitig hat sich auch in der konventionellen Kraftwerkstechnik die Effizienz verbessert, bei Gaskraftwerken um über 20 Prozent. Und die Techniken sind noch lange nicht ausgereizt.

Vor dem Hintergrund dieser Rahmenbedingungen wollen und müssen wir also die Energiepolitik neu justieren.

Was sind die Kernelemente einer solchen nachhaltigen Energiepolitik? Ich will den sechs Rahmenbedingungen fünf Strategien einer nachhaltigen Energiepolitik entgegensetzen, die aufzeigen, wie wir der Herausforderung gerecht werden können. Diese lauten:

1. Energieeffizienzpotenziale nutzen;
2. Investitionen in die Erneuerung des Kraftwerksparks – in Deutschland und weltweit;
3. Erneuerbare Energien ausbauen;

4. Klimaschutzpolitik weiterentwickeln;
5. Geordneter Ausstieg aus der Atomenergie.

Lassen Sie mich diese Strategien jeweils kurz skizzieren:

### 1. Energieeffizienzpotenziale nutzen

Größte Potenziale liegen in einer kontinuierlichen Steigerung der Energieproduktivität. Was wir brauchen, ist eine stärkere Konzentration auf Energieeffizienz und Energieeinsparung – der schlafende Riese der Energiepolitik.

Die bestehenden Effizienzpotenziale sind enorm:

- Durch **effiziente Stromanwendung in der Industrie**, den privaten Haushalten und im Dienstleistungsbereich können **rund 25 Prozent** unserer heutigen Stromproduktion wirtschaftlich eingespart werden.
- Im **Gebäudebestand** können zwischen **20 und 30 Prozent** des Energieverbrauchs wirtschaftlich eingespart werden. Der Niedrigenergiestandard und das „**Drei-Liter-Haus**“ sind auch im Bestand erreichbar.
- Der ADAC hat ermittelt, dass allein durch ein geändertes Fahrverhalten **rund 20 Prozent Benzin** eingespart werden können. Neue, effizientere Motoren senken darüber hinaus den Spritverbrauch der Neufahrzeuge.
- Nach Berechnungen der EU-Kommission kann die **Verschwendung** von Energie in Europa um **20 Prozent gesenkt** werden – und das ohne den geringsten Verzicht.

Unser Ziel lautet: **Verdopplung der Energieproduktivität in 2020 gegenüber 1990!**

Die zitierten Beispiele stammen aus Deutschland. Sie sind jedoch ohne weiteres auf die globale Ebene übertragbar – **gerade in den USA sind die Energieeffizienzpotenziale noch riesig**. Denn pro Kopf verbraucht ein Mensch in den USA mit 330 Gigajoule pro Jahr etwa doppelt so viel Energie wie jemand in Deutschland. Hier anzusetzen heißt auch, einen riesigen Markt für energieeffiziente Produkte zu erschließen.

### 2. Investitionen in die Erneuerung des Kraftwerksparks

Nicht nur bei der Effizienz des Energieverbrauchs, sondern auch bei der Energieerzeugung – insbesondere der Stromerzeugung – müssen wir Fortschritte erzielen. Wenn wir in Deutschland im Jahr 2020 **rund 25 Prozent** des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energien decken, dann ist dies ein wichtiger Schritt – aber es bleiben **75 Prozent** übrig für die fossilen Energien.

Ähnlich sieht es im globalen Maßstab aus: Die weltweite Energieversorgung stützt sich zu **über 85 Prozent** auf fossile Energieträger. Deshalb benötigen wir Investitionen in moderne, hocheffiziente Gas- und Kohlekraftwerke. Was wir weltweit brauchen, ist

- mehr Effizienz bei der Energieausbeute durch mehr Kraft-Wärme-Kopplung,
- eine stetige Verbesserung der Effizienz der Kraftwerkstechnologien,
- eine rasche Einführung von „Clean-Coal-Technologien“, bei denen das Treibhausgas CO<sub>2</sub> abgetrennt und in der Erde gelagert wird.

Die Bundesregierung hat mit dem Entwurf eines Emissionshandels-Allokationsplans für die Periode 2008 bis 2012 einen Vorschlag vorgelegt, wie dies in Deutschland unterstützt werden kann. Für die internationale Dimension ist insbesondere bedeutsam, dass deutsche Unternehmen künftig bis zu **zwölf Prozent** ihrer Emissionshandelszertifikate aus CDM- und JI-Projekten einbringen können. Das heißt: Wer klimaschonende, effiziente Techniken weltweit einführt und dadurch das Klima schont, kann sich dies beim Emissionshandel anrechnen lassen. Ziel des Instruments: der verbreitete Einsatz von Effizienz-Technologien weltweit!

### 3. Erfolgreichen Ausbau der erneuerbaren Energien fortführen

Das dritte wichtige Element einer nachhaltigen Energiepolitik ist der Ausbau der erneuerbaren Energien. Wir werden weltweit die Klimaschutzziele nur erreichen können, wenn wir sowohl den Gesamtenergieverbrauch senken als auch CO<sub>2</sub>-neutrale Energien einsetzen.

In Deutschland sind wir in den letzten Jahren **sehr erfolgreich beim Ausbau der erneuerbaren Energien** gewesen:

- Mit einem Anteil von **4,6 Prozent am Primärenergieverbrauch** im letzten Jahr haben wir bereits heute das Ziel für 2010 erreicht. Jetzt gilt es, auf die Ausbauziele für 2020 hinzuarbeiten.
- Beim Strom liegen wir mit rund 10 Prozent Erneuerbaren gut auf Kurs. Ziel ist es, **bis 2010 12,5 Prozent zu erreichen**.
- Auch bei der Wärme und bei den Biokraftstoffen ist der Anteil der erneuerbaren Energien erneut gewachsen.

#### Warum tun wir das alles?

- Um Versorgung sicherzustellen,
- um Abhängigkeit von importierten und nur begrenzt verfügbaren Energieträgern zu verringern,
- um Klimaschutz zu betreiben,
- um Innovationen voranzutreiben,
- um Geld zu sparen.

Zum anderen steht gerade die Branche der erneuerbaren Energien für innovative Konzepte und Unternehmen, die in großem Maße Arbeitsplätze schaffen und für Wirtschaftswachstum sorgen. Bis 2012 sind 30 Milliarden Euro an Investitionen geplant. Im Jahr 2004 arbeiteten bereits 157.000 Menschen in diesem Bereich, 2005 werden es wohl 170.000 sein.

Auch international ist der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien ein wichtiges Ziel – nicht zuletzt, weil wir die Exportchancen für die deutsche Wirtschaft nutzen müssen. Die Internationale Konferenz für erneuerbare Energien, die renewables 2004 in Bonn, war der globale Aufbruch in ein neues Energiezeitalter. Die erfolgreiche Umsetzung des Internationalen Aktionsprogramms von Bonn wird große Auswirkungen auf das globale Klima und die soziale Entwicklung haben:

- Ab dem Jahr 2015 sollen **1,2 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr weniger** emittiert werden, dies entspricht etwa fünf Prozent der globalen Emissionen im Jahre 2015.
- Die Umsetzung führt zu Investitionen von mehr als 300 Milliarden Euro, und bis zu 300 Millionen Menschen bekommen erstmals Zugang zu Strom.
- In 2004 wurden weltweit ca. 30 Milliarden US-Dollar in erneuerbare Energien (ohne große Wasserkraft) investiert; damit stehen ca. 160 Gigawatt (GW) elektrische Leistung zur Verfügung.
- Durch die Umsetzung des Internationalen Aktionsprogramms werden bis 2015 Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien mit einer elektrischen Leistung von 163 GW neu installiert. Hierfür sind Investitionen von 326 Milliarden US-Dollar notwendig.

Das bietet deutschen Unternehmen hervorragende Exportchancen. So lag der Wertschöpfungsanteil Deutschlands an den 2004 weltweit installierten Windenergieanlagen bei deutlich über 40 Prozent, bei Photovoltaik bei rund 25 Prozent und bei Biomasseanlagen bei rund 15 Prozent. Für den Export dürfte ein Umsatz von mindestens sechs Milliarden Euro pro Jahr bis 2015 erreichbar sein. Um die Exportchancen noch konsequenter zu nutzen, wird die Exportinitiative für erneuerbare Energien erweitert und verbessert.

#### 4. Klimaschutzpolitik umsetzen und international fortentwickeln

Das vierte Element einer nachhaltigen Energiepolitik ist der Klimaschutz. Klimaschutz setzt unzweifelhaft den Rahmen für die Energiepolitik.

Wir verbrennen heute in nur einem Jahr Rohstoffe, für deren Aufbau in der Erdgeschichte 500.000 Jahre erforderlich waren. Einen derartigen Substanzverzehr kann sich niemand lange leisten!

Das gravierendste Problem ist der durch die Emission von Treibhausgasen verursachte Klimawandel. Dies ist nicht erst ein Problem der Zukunft, sondern bereits heute bittere Realität. Gegenüber vorindustrieller Zeit ist die globale Temperatur bereits um 0,7 Grad C gestiegen.

Die ökonomischen Schäden extremer Wetterereignisse sind in den letzten 30 Jahren laut der Versicherungsgesellschaft Münchener Rück **um den Faktor 15** gestiegen. Insgesamt haben Hurrikane 2005 weltweit mehr als **3500 Todesopfer** gefordert. Die wirtschaftlichen Schäden beliefen sich auf **200 Milliarden US-Dollar**. Die Prognosen lauten: Bis 2100 erhöht sich

- die Temperatur um 1,4 bis 5,8 Grad C,
- der Meeresspiegel um 10 bis 90 cm,
- die Häufigkeit und Intensität von Orkanen, Fluten und Dürren.

Die Aufgabe ist klar. Wir wollen den Klimawandel in Grenzen halten. Das heißt: Die Erderwärmung darf nicht mehr als zwei Grad C betragen! Weltweit müssen dafür die Emissionen bis zur Mitte des Jahrhunderts halbiert werden. Die Emissionen der Industrieländer müssen in diesem Zeitraum um 60 bis 80 Prozent sinken. Bis 2020 müssen sie im ersten Schritt um 15 bis 30 Prozent reduziert werden – so der Umweltrat in Brüssel im vergangenen Jahr.

Die Herausforderung liegt auch darin, die USA wieder ins Boot des internationalen Klimaschutzprozesses zu bringen. Sie sind allein verantwortlich für ein Viertel der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Genauso wichtig ist es, die Schwellenländer wie Indien und China mit an Bord zu holen. Denn hier entwickelt sich nicht nur der Energieverbrauch enorm, auch die Emissionen steigen. Inzwischen ist China für 16 Prozent der globalen Emissionen verantwortlich.

Die Zeit ist knapp. 2012 endet die erste Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls. Die durch das Kyoto-Protokoll und den EU-Emissionshandel neu entstandenen Kohlenstoffmärkte brauchen rasch Klarheit über das künftige Klimaschutzregime.

## 5. Atomausstieg umsetzen

Last but not least: Zu einer nachhaltigen Energiepolitik gehört auch der Verzicht auf die Atomkraft. Ich halte es hier mit dem Ex-Bundesumweltminister und scheidenden UNEP-Chef Klaus Töpfer, der sagte: „*Wir müssen eine Zukunft ohne sie erfinden.*“ Die Bundesregierung hat im Jahr 2000 nach langen Verhandlungen mit den Energieversorgern den **Atomkonsens** vereinbart, der einen geordneten Ausstieg aus der Atomenergie bis voraussichtlich zum Jahr 2023 vorsieht. Die Gründe für den Ausstieg liegen auf der Hand:

- Erstens ist und bleibt die Atomenergie eine Risikotechnologie. Die derzeit in vielen Medien zu sehenden Rückblenden zum 20. Jahrestag von Tschernobyl machen dies erneut deutlich.
- Zweitens ist Uran ein endlicher Stoff – in Deutschland zu 100 Prozent importiert! Damit kann man keine Versorgungssicherheit garantieren.
- Drittens sind wir in der Verantwortung, den radioaktiven Müll so sicher wie möglich endzulagern.

Auch global gilt: Atomkraft ist keine Zukunftstechnologie. Sie führt eher zu internationalen Spannungen – Stichwort Iran –, als dass sie ernsthaft unsere Energieprobleme lösen könnte. Deswegen sollten wir die Scheindebatte über eine angebliche globale Renaissance der Atomkraft schnell beenden – die wird nicht kommen, schon allein, weil es nicht genug private Geldgeber für diese Risikotechnologie gibt.

Deutschland wird 2007 die Präsidentschaft der G 8 übernehmen. Darauf bereiten wir uns zurzeit vor. Wir knüpfen an den unter der britischen Präsidentschaft entwickelten Gleneagles-Aktionsplan an, der bereits auf Energie und Klimaschutz fokussiert ist und der der Internationalen Energieagentur eine bedeutsame Rolle bei seiner Umsetzung zuweist. Wir wollen hier insbesondere die Themen Klimaschutz, Energieeffizienz und erneuerbare Energien weiter voranbringen und den Dialog mit den Schwellenländern suchen.

Parallel übernehmen wir im ersten Halbjahr 2007 die EU-Präsidentschaft. Das wird uns in die Lage versetzen, innerhalb der EU eine Reihe wichtiger Vorhaben voranzubringen, z.B.

- eine Richtlinie für erneuerbare Wärme und Kälte,

- eine Road Map für den Ausbau der erneuerbaren Energien,
- die Entwicklung einer energiepolitischen Gesamtstrategie für die EU.

Wir werden als EU-Verhandlungsführer im internationalen Raum für anspruchsvolle energie- und klimapolitische Ziele und Maßnahmen eintreten. Den Weg der Innovation, den Weg der Effizienz beschreiten. Das werden wir nach Kräften tun.

Vielen Dank.



## Neue Wege und Strategien zur Lösung der Energiefrage: die Energierevolution

Dr. Gerd Leipold

Geschäftsführer von Greenpeace International

### 1. Einleitung

Der Klimawandel ist Realität. Wir wissen es, und wir wissen, was zu tun ist.

Die Kohlendioxidkonzentrationen haben jetzt aller Wahrscheinlichkeit nach ihren höchsten Stand seit 650.000 Jahren erreicht. Um unterhalb von zwei Grad C Erwärmung zu bleiben, müssen wir unseren Verbrauch fossiler Brennstoffe dramatisch reduzieren und letztlich aufgeben. Des Weiteren müssen wir für eine massive Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien sorgen.

Was wir brauchen, ist eine Energierevolution – jetzt: eine vollständige Transformation der Art und Weise, wie wir Energie erzeugen, verbrauchen und verteilen, eine radikale Kehrtwende weg von der Art und Weise, wie wir heute über Energie nachdenken. Eine Revolution des Energieverbrauchs muss so signifikant sein wie die industrielle Revolution, aber sie muss sehr viel schneller sein und ohne Kohle oder Erdöl auskommen.

Wir brauchen eine Revolution, die ein Gleichgewicht zwischen unserem Energieverbrauch und den natürlichen Systemen herstellt, die uns am Leben halten. Nur eine Energierevolution wird es uns ermöglichen, die globale Erwärmung unter zwei Grad C zu halten.

Natürlich ist der Klimawandel bereits Realität. Die Bedrohungen sind real, aber die Lösungen sind ebenfalls real.

### 2. Klima und Energie: Die Bedrohung ist real

Es gibt keine größere Bedrohung für unsere gemeinsame Zukunft als jene, die durch unseren jetzigen Energieverbrauch erzeugt wird. Im 20. Jahrhundert verbrauchten die Menschen mehr Energie als in Tausenden von Jahren zuvor.<sup>1</sup>

Wir sehen bereits einige der zerstörerischen Auswirkungen des Klimawandels in Folge unseres Energieverbrauchs: Fast alle Gletscher weltweit gehen in dramatischem Ausmaß zurück. Das Grönlandeis schmilzt schneller als noch vor kurzem vorausgesagt, und laut WHO sterben bereits heute 150.000 Menschen jährlich an den Folgen des Klimawandels.<sup>2</sup>

Um eine Erwärmung auf weniger als zwei Grad C über dem Niveau vor Beginn der industriellen Revolution zu begrenzen, muss die Nutzung fossiler Brennstoffe radikal abgebaut werden. 189 Staaten haben sich mit der Unterzeichnung der Konvention zum Schutze des Klimas dazu verpflichtet, gefährliche Klimaveränderungen zu vermeiden. Die EU hat in einer Resolution zwei Grad C als Sollwert für die Begrenzung des Klimawandels angenommen.

Heute haben wir in Deutschland, in Europa und in vielen Teilen der Welt eine einmalige Gelegenheit: Unsere Energieinfrastruktur ist veraltet und muss ersetzt werden. Mehr als die Hälfte aller Kraftwerke in Europa sind älter als 20 Jahre. Wir haben die Wahl: Die Zukunft sichern durch den effizienten Einsatz erneuerbarer Energien oder den Klimawandel beschleunigen durch fossile Brennstoffe.

### 3. Die Energierevolution: Wie führen wir sie durch?

Die Energierevolution ist machbar. Sie muss sechs wichtige Grundsätze befolgen:

#### 3.1 Natürliche Grenzen respektieren

Die Transformation des Energieverbrauchs muss durch natürliche Grenzen gesteuert werden. Die Atmosphäre kann nur begrenzt Kohlenstoff absorbieren.

Jedes Jahr emittieren wir ungefähr elf Milliarden Tonnen Kohlenstoff-Äquivalent: Wir „verfüllen“ im wahrsten Sinne des Wortes den Himmel. Obwohl die Kohleressourcen noch Brennstoff für 1.000 Jahre bieten, können wir sie nicht verbrennen und gleichzeitig sichere Grenzwerte einhalten. Die Erdöl- und Kohleförderung muss beendet werden – diese Reserven müssen im Boden bleiben.

Unser Ziel ist es, dass die Menschen innerhalb der natürlichen Grenzen unseres blauen Planeten leben.

---

1 McNeill, J. R. (2001): The History of Energy since 10.000 B.C. <http://www.theglobalist.com/DBWeb/StoryId.aspx?StoryId=2018>, 20. April 2001.

2 WHO – CMAT Feb 15, 2005 172 (4).

### 3.2 Gleichheit und Fairness

Wenn es natürliche Grenzen gibt, muss es eine gerechte Verteilung des Nutzens und der volkswirtschaftlichen Kosten einer falschen Umwelt- und Energiepolitik innerhalb der einzelnen Gesellschaften, zwischen den Nationen sowie zwischen der jetzigen und den künftigen Generationen geben.

Fairness ist durch bindende internationale Abkommen zur Begrenzung der Emissionen erreichbar. Die Industrieländer müssen fossile Brennstoffe rasch aufgeben, damit sowohl Klimasicherheit hergestellt als auch den Entwicklungsländern die Möglichkeit gegeben wird, diesem Prozess zu folgen. Das Kyoto-Protokoll ist ein guter Ausgangspunkt.

### 3.3 Wirtschaftliches Wachstum vom Verbrauch fossiler Brennstoffe abkoppeln

Das Wirtschaftswachstum ist nicht unabdingbar an den Verbrauch fossiler Brennstoffe gekoppelt.

- Wir können die Energie, die wir brauchen, viel, viel effizienter nutzen!
- Wir können einen rapiden Übergang zu erneuerbaren Energien realisieren und damit das Wirtschaftswachstum an das Wachstum erneuerbarer Energien koppeln.

### 3.4 Schmutzige, nicht nachhaltige Energie auslaufen lassen

Wir müssen den Betrieb unserer Kohle- und Atomkraftwerke auslaufen lassen. Wir können nicht weiter Kohlekraftwerke in einer Zeit bauen, in der Emissionen eine reale und allgegenwärtige Gefahr für die Ökosysteme und die menschliche Zivilisation darstellen.

#### *Atomenergie: das Trojanische Pferd*

Wir haben uns versammelt, um der Folgen der Tschernobyl-Katastrophe – des größten zivilen Nuklearunfalls in der Geschichte – zu gedenken und diese im Kontext der Suche nach Lösungen für heutige und künftige Energieprobleme zu berücksichtigen. Betrachten wir zunächst die Folgen von Tschernobyl:

- Die Ergebnisse jüngster Untersuchungen (die in einem von Greenpeace in Auftrag gegebenen wissenschaftlichen Bericht zusammengestellt wurden)<sup>3</sup> gehen davon aus, dass der Unfall mehr als eine Million Krebserkrankungen, von denen fast 100.000 tödlich enden, verursachen wird. Dies ist eine schallende Ohrfeige für die IAEA und ihre Angaben – ja, die Veröffentlichung des Greenpeace-Berichts zwang die IAEA, die von ihr veröffentlichten Ergebnisse zurückzuziehen.
- Der Bericht untersucht auch weitere anhaltenden Auswirkungen von Tschernobyl und kommt zu dem Schluss, dass die durch die Katastrophe verursachte Strahlung verheerende Folgen für die Überlebenden hat: Sie schädigt das Immun- und das endokrine System, beschleunigt den Alterungsprozess, führt zu Herz-Kreislauf- und Blutkrankheiten, psychischen Störungen, Chromosomenaberrationen sowie zu einer Zunahme der Missbildungen bei Föten und Säuglingen.

Wie die schwindenden Gletscher, das schmelzende Grönlandeis und die 150.000 Menschen, die schon jetzt Todesopfer des Klimawandels sind, vermittelt uns auch Tschernobyl ein erschreckendes Bild von den Auswirkungen unserer Energiepolitik – den Auswirkungen einer immanent unsicheren, unwirtschaftlichen und destabilisierenden Energiequelle: der Atomenergie.

Tschernobyl stoppte den Aufstieg der Atomenergie vor 20 Jahren. Heute hat die Atomindustrie ein riesiges Trojanisches Pferd in die Klimadebatte geschleust: Sie bietet falsche Ansätze und lenkt von den wirklichen Lösungen ab.

Atomenergie kann niemals die „Lösung“ für den Klimawandel sein, da sie nur elektrische Energie erzeugt. Die Erzeugung elektrischer Energie ist lediglich für ca. 20 Prozent des Gesamtvolumens der globalen Treibhausgas-Emissionen verantwortlich. Atomenergie liefert derzeit ca. 17 Prozent der weltweit verbrauchten elektrischen Energie. Soll nur dieser derzeitige Anteil aufrechterhalten werden, würde dies ein umfangreiches Neubauprogramm erfordern, wenn man die wachsende Zahl alter Kraftwerke, die stillgelegt werden müssten, sowie den prognostizierten Anstieg des Bedarfs an elektrischer Energie berücksichtigt.

Der Klimawandel rechtfertigt nicht die Verbreitung radioaktiver Stoffe. Er darf kein Grund sein, die Folgen für die menschliche Gesundheit, die Verwundbarkeit bei terroristischen Anschlägen und die Umweltverschmutzung zu verharmlosen. Atomenergie ist unsicher, sie ist unwirtschaftlich, und sie ermöglicht den Einstieg in den Bau von Atombomben.

3 [http://www.greenpeace.de/themen/atomkraft/20\\_jahre\\_tschernobyl/artikel/greenpeace\\_report\\_die\\_verleugneten\\_opfer\\_von\\_tschernobyl](http://www.greenpeace.de/themen/atomkraft/20_jahre_tschernobyl/artikel/greenpeace_report_die_verleugneten_opfer_von_tschernobyl).

Vor dem Hintergrund der andauernden Tragödie von Tschernobyl, der bleibenden Unfallgefahren, der ungelösten Müllproblematik und der friedensgefährdenden Proliferation müssen wir unsere derzeitigen und künftigen Energieoptionen abwägen. Die Atomenergie gehört nicht dazu.

### 3.5 Der Schlüssel: saubere, nachhaltige Lösungen anbieten und implementieren

Es gibt keinen Energiemangel: Wir müssen nur die vorhandene Technik verwenden, um Energie effektiv und effizient zu nutzen. Erneuerbare Energien und Effizienzmaßnahmen sind die wirklichen und einzigen Lösungen im Hinblick auf den Klimawandel. Sie sind einsatzbereit, sie sind praktikabel und sie sind in zunehmendem Maße wettbewerbsfähig.

Bedenken Sie folgende Punkte:

- Jeden Tag erreicht die USA durch Sonneneinstrahlung mehr Energie, als diese in einem ganzen Jahr verbrauchen, und jeden Tag strahlt mehr Energie auf die Erde, als ihre 6,5 Milliarden Einwohner in 27 Jahren verbrauchen.<sup>4</sup>
- Schweden gewinnt 29 Prozent seiner gesamten Energieversorgung und 51 Prozent seiner Stromversorgung aus erneuerbarer Energie (2001) – demgegenüber betragen die EU-Mittelwerte 5,8 Prozent bzw. 15,5 Prozent.<sup>5</sup> Neun Prozent der Stromerzeugung in den USA stammen aus erneuerbaren Energiequellen.<sup>6</sup> In Kalifornien beträgt dieser Anteil 27 Prozent.<sup>7</sup>
- Offshore-Windkraft in der Nordsee hat das Potenzial, fast zweimal so viel elektrische Energie zu erzeugen, wie die Nordsee-Anrainerstaaten benötigen. Würden nur 20 Prozent dieses Potenzials ausgeschöpft, könnte ein Drittel des Stromverbrauchs dieser Länder<sup>8</sup> abgedeckt werden. Die Pläne für den Ausbau der deutschen Offshore-Windkraftwerke mit einem Volumen von 20.000 MW bis zum Jahr 2020 sind seriös und müssen sofort in Angriff genommen werden.
- Eines der ersten solarthermischen Kraftwerke, die seit den 1980er Jahren gebaut werden, soll 2007 in El Koraimat unweit von Kairo ans Netz gehen. In zwei Jahrzehnten könnte die aus solarthermischen Kraftwerken gewonnene elektrische Energie der Menge entsprechen, die von 72 Kohlekraftwerken erzeugt wird, und jedes Jahr genug Strom für Israel, Marokko, Algerien und Tunesien zusammen liefern – oder für Australien<sup>9</sup>.

Erneuerbare Energien in Kombination mit echter Effizienz sind die einzige nachhaltige Energiequelle der Zukunft.

### 3.6 Energiesysteme dezentralisieren

Dezentralisierte Energiesysteme sind sicherer und effizienter und schaffen neue Arbeitsplätze.

- Wenn Wohnhäuser und Betriebe in Großbritannien in Kraftwerke mit solarthermischen, Kraft-Wärme-gekoppelten (KWK) Kessel-, Mikrowind- und Photovoltaikanlagen verwandelt würden, könnten die britischen Kohlenstoffemissionen um mindestens 15 Prozent reduziert werden.<sup>10</sup>
- Die Stadtverwaltung von Woking in Großbritannien konnte ihre Kohlendioxid-Emissionen mit einem solchen System um fast 80 Prozent senken.
- Die Niederlande decken 40 Prozent ihres nationalen Strombedarfs durch dezentrale Energieerzeugung ab.<sup>11</sup>
- In Deutschland beträgt das Potenzial für den Aufbau einer dezentralen Energieerzeugung (KWK und erneuerbare Energien) bis zum Jahr 2050 bis zu 90 Prozent.<sup>12</sup>

4 [http://www.nrel.gov/documents/solar\\_energy.html](http://www.nrel.gov/documents/solar_energy.html).

5 IEA Renewables Information 2003, [http://www.erec-renewables.org/documents/RES\\_in\\_EUandCC/Policy\\_reviews/EU\\_15/Sweden\\_policy\\_final.pdf](http://www.erec-renewables.org/documents/RES_in_EUandCC/Policy_reviews/EU_15/Sweden_policy_final.pdf).

6 [http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/page/non\\_hydro/nonhydrorenewablespaper\\_final.pdf](http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/page/non_hydro/nonhydrorenewablespaper_final.pdf).

7 [http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/page/non\\_hydro/nonhydrorenewablespaper\\_final.pdf](http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/page/non_hydro/nonhydrorenewablespaper_final.pdf).

8 [http://archive.greenpeace.org/earthsummit/news\\_26june.html](http://archive.greenpeace.org/earthsummit/news_26june.html)

9 <http://www.greenpeace.org/international/press/releases/greenpeace-report-proves-solar>.

10 <http://www.greenpeace.org.uk/climate/media/pressrelease.cfm?ucidparam=20050719100223>.

11 <http://www.greenpeace.org.uk/climate/media/pressrelease.cfm?ucidparam=20050719100223>.

12 BMU-Szenario/DLR.

#### 4 Notwendigkeit einer Übergangsphase

Die Energierevolution kann nicht über Nacht ausbrechen. Wir werden eine Übergangsphase benötigen. Greenpeace hat in seinem Szenario für Europa einen sauberen Weg zur Energiegewinnung skizziert.<sup>13</sup> Es ist klar, dass die am wenigsten schädlichen und effizientesten fossilen Brennstofftechnologien Bestandteil der Brücke in eine Zukunft sein werden, die auf erneuerbaren Energien basiert.

- *Erdgas*: Da es sich bei Erdgas um den besten fossilen Übergangsbrennstoff handelt, sollte sein Einsatz ausgeweitet werden.
- *Kohle*: Der Einsatz von Kohle sollte am schnellsten auslaufen.
- *Erdöl*: Die Chancen zur Effizienzsteigerung und Energieeinsparung dürften im Flüssigkraftstoff-Sektor am größten sein.
- *Subventionen für Kohle und Atomenergie abschaffen*: Subventionen für herkömmliche Energiequellen verzögern deren Abschaffung und leisten der Verschwendung Vorschub.
- *Organisation und Unterstützung der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien*: Die Regierungen müssen die Energierevolution generalstabsmäßig organisieren. Um einen raschen technologischen Lerneffekt zu erreichen, Größenvorteile zu erzielen und die Gestehungskosten der erneuerbaren Energien zu reduzieren, müssen die Vorgaben und Maßnahmen auch zeitweise Subventionen mit einbeziehen.
- Den größten Anteil an der Reduzierung der Emissionen wird allerdings eine massiv gesteigerte Energieeffizienz bewirken.

#### 5 Die Klimakatastrophe stoppen: Energierevolution und mehr

Die Energierevolution ist der wichtigste Schritt, um die Klimakatastrophe zu stoppen, er allein reicht jedoch nicht aus.

Wir müssen die Abholzung der Wälder beenden, da durch die Brandrodung beinahe ein Fünftel des weltweiten Kohlendioxid-Ausstoßes entsteht, die industrielle Verwendung potenzieller Treibhausgase (so genannter F-Gase, die sich leicht ersetzen lassen) auslaufen lassen und den Agrarsektor (Methan in Viehzucht und Reisanbau sowie Lachgas durch Düngung bilden acht Prozent aller Treibhausgas-Emissionen) transformieren. Darüber hinaus müssen wir die Emissionen des Transportsektors in den Griff bekommen.

Die Energierevolution erfordert die Beteiligung aller gesellschaftlichen Gruppen: der Wirtschaft, der Bürger, der Regierung und der Kommunen.

Alle Industrieländer haben einen zu hohen Energieverbrauch. Wir alle können durch Verhaltensänderungen dazu beitragen, das Klima zu retten.

Nach einer Berechnung aus Großbritannien könnte man ein Kraftwerk durchschnittlicher Größe schließen, wenn jeder britische Haushalt drei Glühbirnen durch Energiesparlampen ersetzen würde.

Der Chemiekonzern Bayer reduzierte zwischen 1990 und 2004 seine gesamten Treibhausgas-Emissionen um 60 Prozent, obwohl die Produktion gleichzeitig um 16 Prozent wuchs.<sup>14</sup>

Die Firma Catalyst Paper Corporation (ehemals NorskeCanada) hat ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen seit 1990 um 61 Prozent gesenkt und zugleich 20 bis 30 Millionen CA-Dollar eingespart.

Von den Städten, die sich eine Reduzierung ihrer Treibhausgas-Emissionen um 25 Prozent bis 2010 (ausgehend von 1990) zum Ziel gesetzt haben, konnte Berlin bereits im Jahr 2000 eine Reduzierung um 15 Prozent verzeichnen.<sup>15</sup> Das Bundesland Schleswig-Holstein hat den Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch bis 2004 bereits auf 31 Prozent (ausgehend von 1990) erhöht. Die Treibhausgas-Emissionen Schleswig-Holsteins (gemessen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) sanken zwischen 1990 und 2000 um 13 Prozent. Im Windenergiesektor Schleswig-Holsteins sind schätzungsweise 5.000 Menschen beschäftigt.

13 <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energy-revolution-a-sustainab.pdf>.

14 <http://www.theclimategroup.org/index.php?pid=430>.

15 <http://www.theclimategroup.org/index.php?pid=430>.

## 6 Die Verantwortung Deutschlands

Deutschland hat eine Führungsrolle bei der globalen Energierevolution zu übernehmen. Die anstehende Übernahme der EU-Ratspräsidentschaft durch Deutschland bietet eine gute Gelegenheit, um den globalen Führungsanspruch Europas in Sachen Klima und Energie zu bekräftigen. Schon vor Beginn der Präsidentschaft kann Deutschland eine treibende Kraft in Bezug auf Energieverhandlungen auf EU-Ebene (so, wie es den Ausbau der Atomenergie beim jüngsten EU-Gipfel blockierte) und eine international vernehmbare Stimme zu Gunsten der Energierevolution (in Foren wie dem G8-Treffen) sein.

### *Der Nationale Allokationsplan Deutschlands*

Die nationalen Allokationspläne (NAPs) der EU-Mitgliedstaaten werden die wichtigste Einzelmaßnahme sein, die über den Erfolg oder Misserfolg des EU-Klimaprogramms bestimmt. Vorab veröffentlichte Informationen über den deutschen Allokationsplan geben jedoch keinen Anlass zu der Hoffnung, dass Deutschland eine führende Rolle in der Energie- und Klimapolitik übernehmen wird. Der Mangel an Anreizen für die Substitution fossiler Brennstoffe führt zu einem schwachen Plan.

Es scheint, als ließe die Regierung neue Großinvestitionen im Kohlesektor zu, insbesondere zur Erschließung neuer Braunkohlevorkommen, wie dies von RWE geplant wird.

Der neue NAP ist ebenso problematisch wie der alte: Braunkohle-Kraftwerke erhalten mehr CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte als Gaskraftwerke – so wird kein Anreiz für eine „Brennstoffumstellung“ geboten.

Mehr Emissionsrechte für Braunkohlekraftwerke sind insbesondere vorteilhaft für einen Energieversorger, nämlich RWE. Dies deutet darauf hin, dass sich die Regierung dem Druck aus der Industrie zu Lasten des Klimaschutzes gebeugt hat.

### *Förderung der Technologie im Bereich erneuerbarer Energien*

Deutschland kann eine internationale Rolle bei der Förderung globaler technischer Innovationen in den Bereichen erneuerbare Energien und Energieeffizienz spielen.

Bei der Entscheidung darüber, ob und wie wir handeln, sollten wir an die Opfer von Tschernobyl denken.

Werden wir uns für den Status quo entscheiden und weitergehen auf dem Weg der Zerstörung? Oder werden wir uns für ein Energiesystem entscheiden, das sich vollständig auf dem effizienten Einsatz erneuerbarer Energiequellen stützt, und mit dieser Transformation noch heute beginnen?

Ich persönlich meine, die Gesichter und Stimmen von Tschernobyl zwingen uns, den Weg zu wählen, der besser, sicherer und sauberer ist.

## 7 Schlussfolgerungen

Wir brauchen dringend ein sauberes Energiesystem, das ausschließlich auf dem effizienten Einsatz erneuerbarer Energiequellen basiert, das darauf angelegt ist, uns vor der Klimakatastrophe zu bewahren, das die Umwelt schützt und das eine nachhaltige Entwicklung ermöglicht. Ein Energiesystem, das unsere Städte nicht unbewohnbar macht, das nicht die radioaktive Belastung künftiger Generationen erhöht und das nicht zur Verbreitung von Atomwaffen führt. Mit anderen Worten: Wir brauchen eine globale Energierevolution.

Die Zeit ist knapp, die Aufgabe gewaltig. Die Lösung liegt in unserer Hand.



## Curbing climate change – an outline of a framework leading to a low carbon emitting society<sup>1</sup>

Lars G. Josefsson

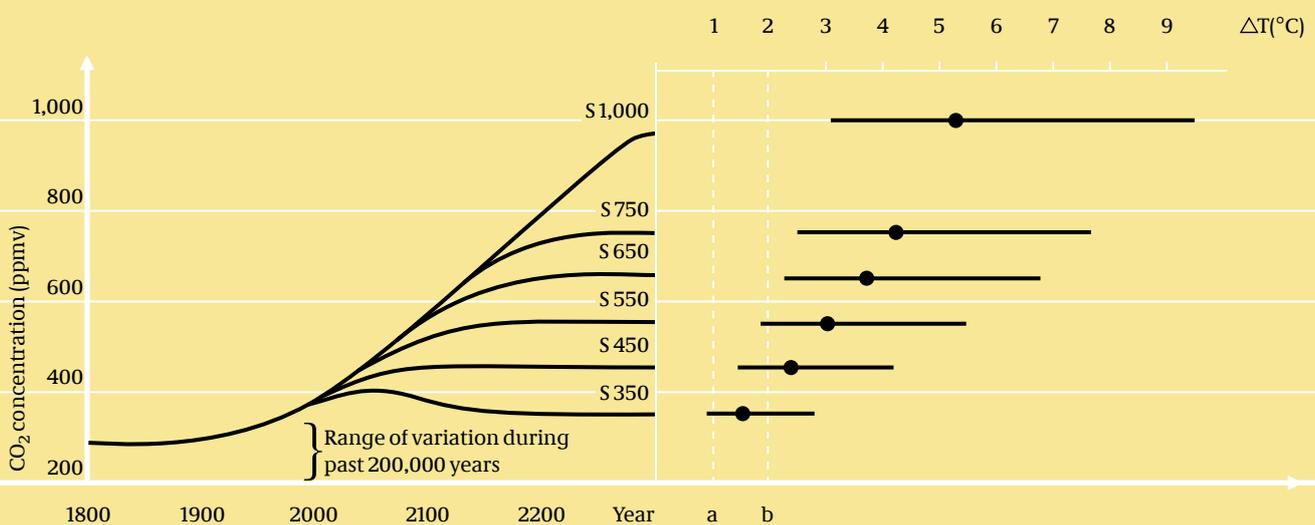
Präsident und Vorstandsvorsitzender von Vattenfall AB

### The challenge

The overriding environmental challenge of our time is climate change. The problem originates from the emission of greenhouse gases, primarily carbon dioxide, mainly from the transport and energy sectors. If humanity fails to come to terms with this problem, we will be forced to make dramatic changes in the way we live our lives, but above all it will radically affect the lives of our children and grandchildren. The climate change issue is by its very nature global and long-term. This is something new. Previously, environmental problems have been short-term and local.

Total global emissions of greenhouse gases in 2000 amounted to 37 billion tonnes of carbon dioxide equivalents, of which more than 23 billion tonnes carbon dioxide. The trend is towards a dramatic increase, especially in countries that are experiencing rapid growth such as China and India. Carbon dioxide from combustion dominates. Studies show that an acceptable temperature increase and long-term temperature stability could be achieved at a concentration of 550 ppm of carbon dioxide equivalents in the atmosphere. But, we have to respect that this is the current wisdom, it may very well be necessary to revise this target downwards.

Figure 1: Carbon dioxide scenarios and effects on the global average temperature



Source: SCIENCE, Vol. 276, 20. Juni 1997, www.sciencemag.org, Azar & Rodhe

Whatever the level, it is very clear that we must drastically reduce the current level of total emissions. If, in a hundred years time, the per capita emissions, including those of the developing countries, should be equalized at the same time as temperature stability is achieved, then a dramatic reduction in emissions from fossil fuels is required. Global emissions must be reduced by probably more than 50 per cent. During this period, the developing countries will increase their economic activity tremendously, so the presently industrialised countries will have to reduce their emissions by something in the range of 80 to 90 per cent. It is obvious, therefore, that we have a huge long-term problem on our hands.

The challenge is, however, not only long-term, it is urgent that we start acting now. At the same time, we must also ensure that the measures taken do not lead to unnecessary costs. The most pressing need is to create a credible, stable and predictable long-term framework defining how reductions will be achieved. Given efficient incentives, most parties in society can and will act in a rational and accountable way.

With the Kyoto Protocol, an agreement was reached to decrease the global emissions of greenhouse gases in the period 2008-2012 by at least 5 per cent below the 1990 levels. What will happen after this Kyoto period is still unclear, which makes long-term planning and investment decisions extremely difficult. Furthermore, the commitments under the Kyoto Protocol only apply to the industrialised countries (the so-called Annex I countries) that have ratified the Protocol. A number of

<sup>1</sup> This paper is an excerpt from an article by Lars G. Josefsson to be published in „European Review of Energy Markets“, issue 2, www.eeoinstitute.org.

countries with large emissions, most notably the USA, and fast growing economies such as China, do not face these restrictions. This is not a sustainable situation. When countries with commitments have to take measures their cost level, primarily for energy, will increase. If so, in the short term, energy-intensive industry will most certainly stop investing in these countries and, in the long term, companies affected will probably completely move out. The economic effect on the commitment countries will be substantial, while the environmental benefits will be very limited or even negative due to carbon-leakage.

Against this background, three issues are of outstanding importance. First of all, it is necessary to continue reducing emissions after the Kyoto period ends. Secondly, we must establish a long-term global framework that will provide governments, citizens and corporations with a stable and predictable environment. A framework is crucial to ensure that correct and relevant decisions are taken and that a sufficient reduction of greenhouse gases is achieved at the lowest possible cost to society. Thirdly, since greenhouse gas emissions are a global problem, all countries in the world must, in due course, accept emission limits and contribute to the solution.

The climate change issue is global and long-term. Drastic reductions must be made and in the long term global total emissions must be capped to a sustainable level, i.e. we must switch over to a low carbon emitting society. Emissions are closely coupled to economic activities. Real long-term global governance is needed. Is a common effort really possible?

### **An outline of an adaptive global burden-sharing model**

In this chapter an outline of a model for the global allocation of emissions is presented. The attitude is humble, the model including the calculations, has been developed with the intention of providing an illustration, and of inspiring further discussion by providing some food for thought. The results presented here rest on a number of high-level assumptions, based on other material. It should be underlined that these assumptions should not be seen as a prognosis of future development.

The allocation to each country in the outline primarily depends on the country's share of global GDP. In addition, developing countries will be phased in to the system and face emission restrictions once they have reached a certain pre-determined GDP threshold.

Overriding principles of the proposed emission allocation model:

- All countries should participate – participation is a part of being a member of the global community
- No poor country shall be denied its right to economic development – no extra cost burden on the poorest
- No rich country shall have to go through disruptive change
- Richer countries pull a larger weight (emission caps do not embrace countries until they have reached a certain economic level; poorer countries with caps get higher allocations compared to richer countries)
- There shall be a level playing field. The proposed framework shall not change relative competitiveness
- The system shall be robust. As new knowledge is accumulated parameters may change, but not the principles underlying the system
- Emission caps should be binding
- Emission allowances are allocated to each country in relation to its share of global GDP
- The final allocation to individual companies or facilities will be made at the national level
- The mechanism should be able to achieve wide acceptance as being fair and balanced

While the focus is on a long-term solution, the path as such is also important. Without disregarding the fact that some measures need to be taken also in the near future, it should be realised that enormous investments have already been made in carbon-emitting technologies. These investments often have a life span of several decades. Furthermore, technological

development will probably mean that low-carbon technologies will gradually become available at a lower cost. This justifies not setting too severe requirements regarding early actions.

The allocation model allocates emission permits to each country in three steps:

- First a global target cap is set to reach a specific carbon dioxide concentration level year 2100. The calculations presented are based on a 550 ppm CO<sub>2</sub>-equivalent target. Whether this target is too lax, or too harsh, is beyond the scope of this work, but the same principles can be used for other target levels.
- Secondly, the (assumed) emissions of developing countries that do not face any emission restrictions are deducted from this cap. Developing countries should not face restrictions on their emissions until they have reached a certain level of economic development. This is measured in terms of their GDP/capita quota. However, all countries should commit themselves from the start. Thus, individuals and companies in developing countries will, from the start, know that once a certain level has been reached activities in their country will also face restrictions.
- Thirdly, the remaining scope for emissions is divided between all countries facing restrictions in a particular year in line with their share of total global GDP. Countries poorer than average receive a higher allocation per unit of GDP, while richer countries receive a lower allocation per unit of GDP. The allocations have been calculated for every fifth year between 2015 and 2100.

In the model, all Annex I countries face emission restrictions from the first year (2015), while the non-Annex I countries do not face any restrictions until the country reaches 50 per cent of the average GDP/capita in the Annex I countries in 2002. When the GDP/capita exceeds this threshold, the country begins facing emission restrictions and the allowances are calculated based on its share of global GDP. The poorest countries among the Annex I countries had a GDP/capita quota in 2002 that was about 25 per cent of the average in the Annex I countries, and it seems reasonable that also non-Annex I countries should be able to take on commitments at least when they have reached a GDP/capita level that is twice as high.

For the non-Annex I countries, an assumed business-as-usual emission scenario has been used. This has been allocated to each country relative to its assumed growth in GDP. Eventually, all countries will face restrictions as their GDP/capita exceeds the determined threshold.

### Adjustments

Countries facing restrictions but with a GDP/capita quota less than the world average are allocated up to 1.25 times extra emission allowances compared to a country at the average level. The extra allocation increases linearly below the average GDP/capita and the maximum extra allocation is reached if the country has a GDP/capita that is equal or less than 0.5 times world average GDP/capita. In a similar manner countries that are richer than the world average receives less allocation/GDP unit. For countries with a quota twice, or higher, than the world average, the allocation/GDP unit is 0.9 times the allocation for a country at the average level. The declining energy intensiveness at higher GDP/capita levels is handled by means of this adjustment. Figure 2, below, illustrates those adjustments.

For the Annex I countries, two additional adjustment mechanisms have been applied. The first one sets a minimum level of reductions relative to the emissions in 2002, and the second one sets a maximum level of reductions relative to the emissions in 2002. In 2015, the minimum reduction level is 5 per cent, increasing to 15 per cent in 2035, independent of what the base model allocation is. After 2035, the restriction is kept at 15 per cent, although this restriction will not be binding in the long run as the total global cap is decreased, forcing all Annex I countries to make at least these reductions. The maximum reduction level means that no country has to reduce its emissions by more than 15 per cent in 2015, relative to 2002 levels, and this gradually increases to 55 per cent in 2045. Then the maximum speed restriction is lifted and the allocation is fully determined by the base model. The actual allocation to each country will be in the area between these two levels. As already stated, these two rules only apply for the current Annex I countries. The maximum reduction level is imposed primarily to allow existing capital to serve its lifetime. If this rule was applied to the developing countries that gradually qualify into the system, it would lead to perverse incentives to invest in particularly high-emitting technologies.

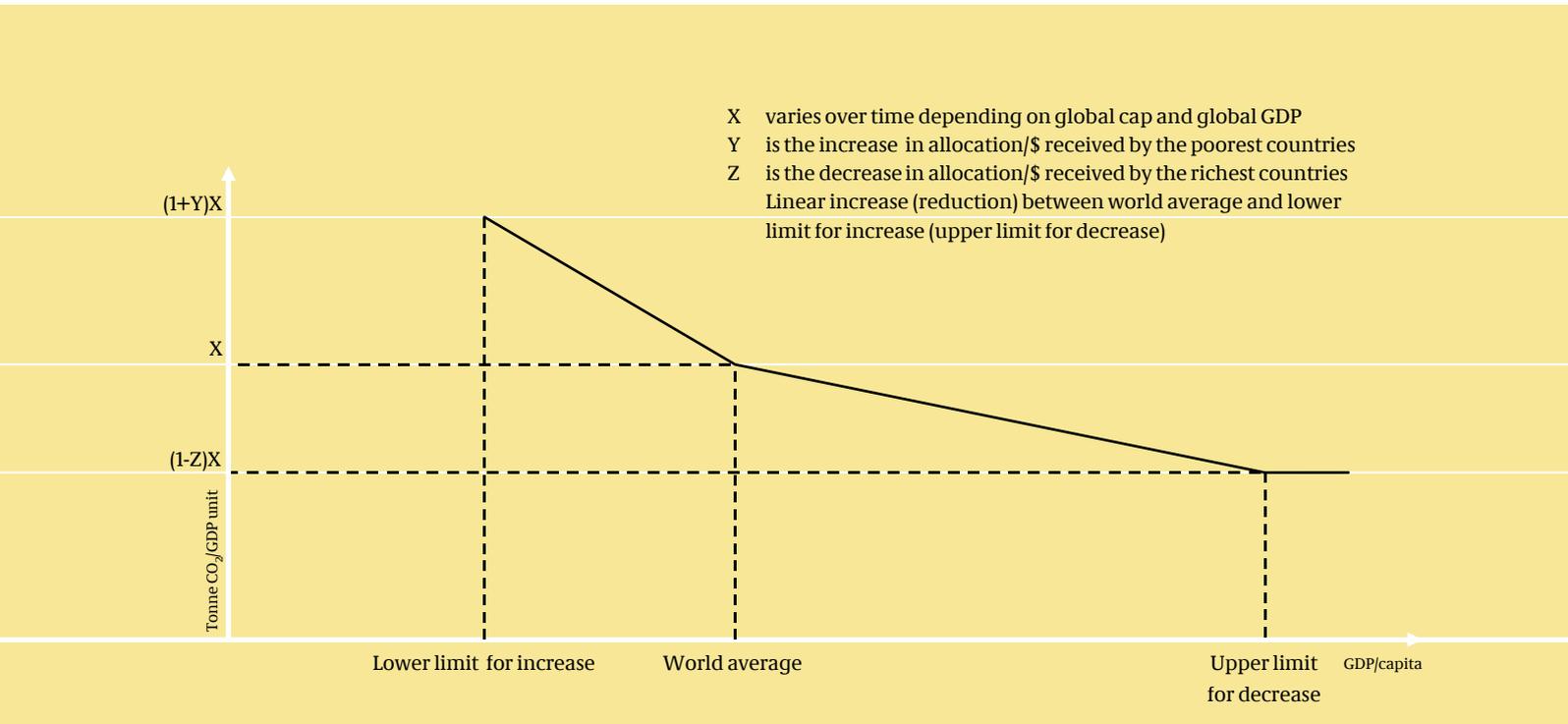
### GDP over 100 years and population growth

In the model, GDP in Annex I countries is assumed to increase by a factor of six between 2002 and 2100. This is broadly in line with the average of the GDP projections in the scenarios presented by IPCC. For the remaining countries, growth depends on an assumed convergence in GDP/capita towards the Annex I average. All countries are assumed to converge towards the average GDP/capita level in 2100. Full convergence has, however, not been assumed until 2100, but the relative differences are reduced to a considerable extent.

There are no strong arguments for assuming that it is impossible for any part of the world to experience similar economic development to that seen in parts of Asia in recent decades and in Europe and North America in the centuries before that. Thus a rather high degree of convergence has been chosen as an assumption for the calculations made. Clearly, however, the projections used in the calculations should not be seen as a prognosis of the actual future development.

The population growth is based on the (unweighted) population assumption in the different IPCC scenarios, which were reported for four regions. It has been assumed that the population growth is equal within each region.

Figure 2: Description of the GDP based allocation adjustment mechanism



**Two scenarios**

The mechanism is outlined with two different reduction path scenarios, labelled the early-peak and the late-peak scenario. Both these scenarios imply approximately the same accumulated emissions seen over the entire period in question (2015-2100). In both scenarios, the path towards the long-term target means a gradual decrease in emissions for the industrialised countries, while developing countries are allowed to initially increase their emission levels. This will mean that total global emissions will increase at first, and then decrease towards the long-term target. The early-peak scenario implies that the increase in total global emissions will be halted rather early in the future, around 2025, while the late-peak scenario implies that emissions are allowed to increase for an additional 15 years. Since the accumulated emissions are set to be approximately equal, this means that the emissions will have to be lower in the latter half of the period in the late-peak scenario compared with the early-peak scenario. Both the target and the path in the late-peak scenario have been adjusted to reach the same accumulated emissions, about 1.600 gigatonnes CO<sub>2</sub> in the period 2015-2100.

**Results**

**The early-peak scenario**

The long-term target is set to 12.000 megatonnes CO<sub>2</sub> in the year 2100, compared with approximately 24.000 megatonnes in 2002. This long-term target, together with the reduction path, is intended to approximate to the emission path of a 550 ppm CO<sub>2</sub>-equivalent target.

The areas in Figure 3 represent the allocation between different regions, while the line is the global target cap.

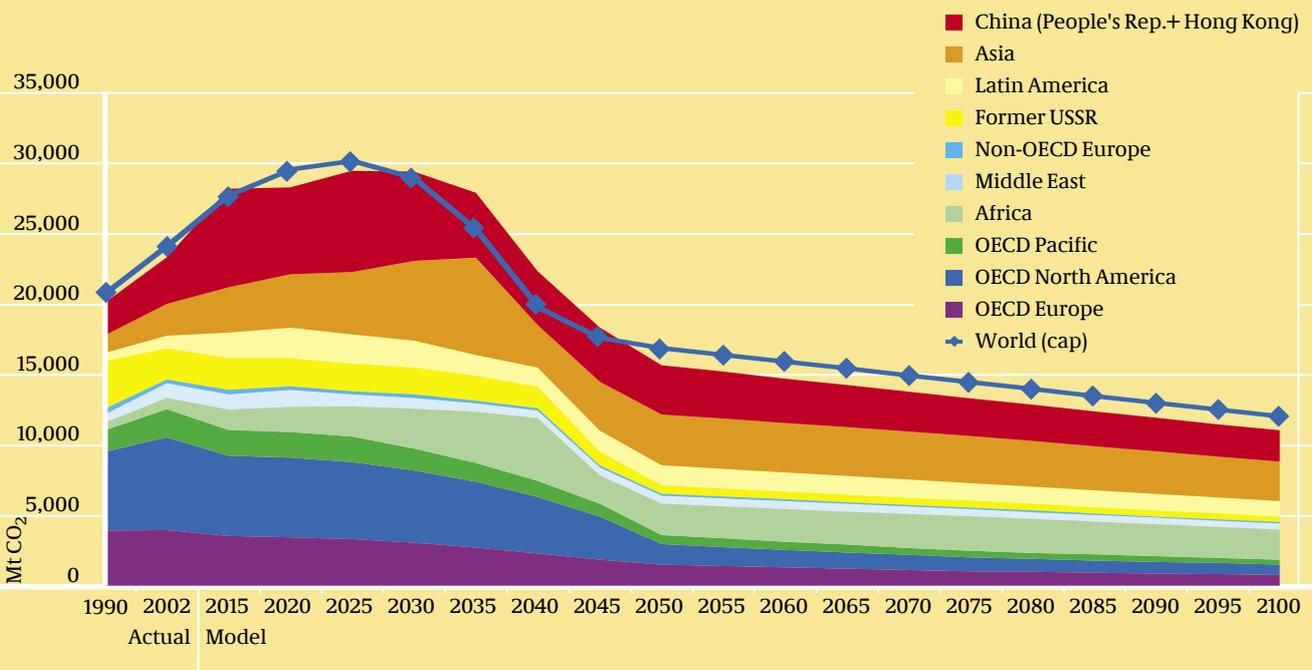
Figure 3 shows that China would be allowed to increase its emissions substantially until 2015. By 2020, the GDP of China is assumed to have grown sufficiently so that the country will face emission restrictions. After 2025, China would have to start reducing its emissions towards its long-term target. Since the developing countries do not face any restrictions before their

GDP/capita exceeds the threshold, they are in practice allowed to increase their emissions to begin with. There is obviously a risk that they will invest in high-emitting technologies, creating the same adjustment problems that we are facing in the industrialised world.

A development in that direction must be avoided. For this reason it is of vital importance that all countries enter into the agreement at the start, even though some will not face any restrictions to begin with. A pre-commitment will send a clear and strong signal to investors, and presumably also affect policy choices at an early stage. This is likely to affect investments

Figure 3: Allocation of emissions – early peak

CO<sub>2</sub>-emissions from fuel combustion, emission peak 2025



from the start, and reduce the risk that developing countries invest in high emitting technologies. It is quite possible that it will result in less CO<sub>2</sub>-intensive investments and thus lower emissions in the period up to 2015 compared with a normal business-as-usual scenario. For the USA, the imposed restriction on the maximum speed of emission reductions allows the country to continue with its relatively high level of emissions for a period. Germany and Japan will be affected neither by the maximum nor the minimum restriction. Their allocations will be determined by the basic mechanism.

In the long run, the emissions per GDP unit converge for all countries. Furthermore, as GDP/capita is assumed to converge the emissions per capita will also converge in the long run. This will result in a more equal distribution of the emissions between different regions. Today, non-OECD Asia (incl. China and Middle East), Africa and Latin America only account for about 35 per cent of the global emissions of CO<sub>2</sub> (from fuel combustion) while about 75 per cent of the world population live in these areas. At the same time, North America and OECD Europe are responsible for over 40 per cent of the emissions, while only about 15 per cent of the world population live there. According to the proposed model, this division will gradually become more equal towards the end of the period (2100). North America and (current) OECD Europe will only be allocated about 12 per cent of the global cap, while the above-mentioned developing regions will be allocated about 72 per cent of the global cap.

### Late-peak scenario

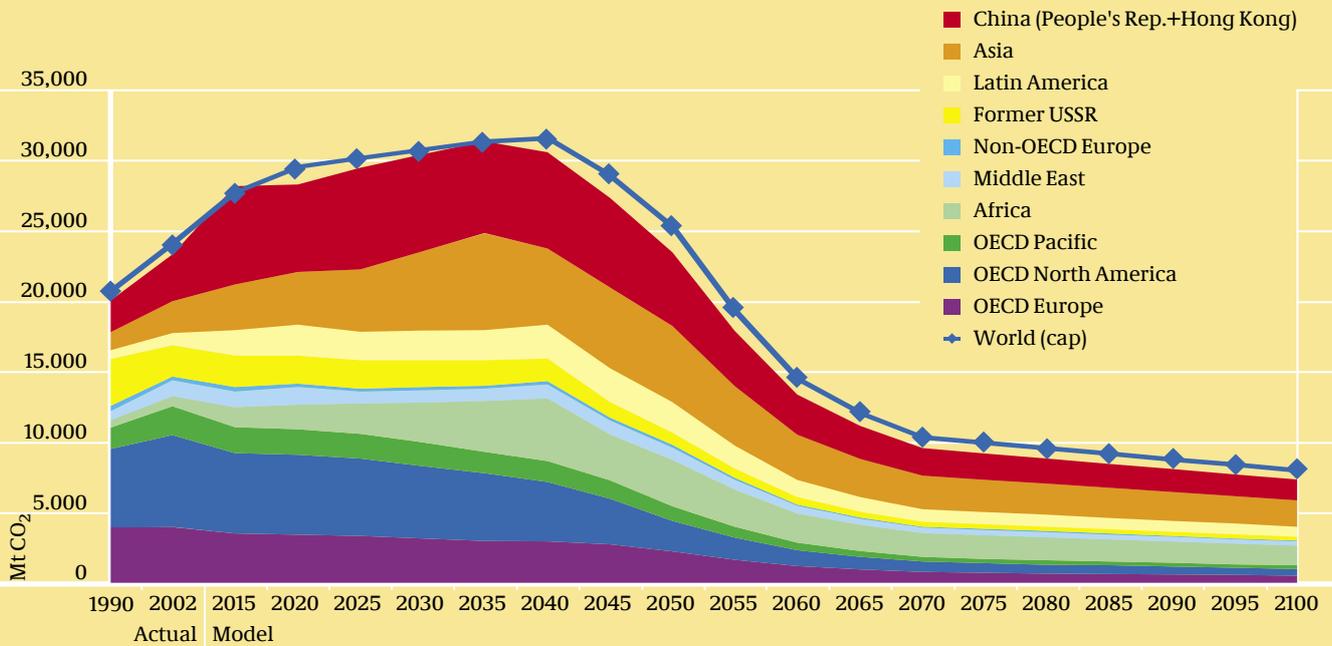
The late peak scenario implies that all countries that face restrictions will be awarded a (non-strictly) higher allocation up until 2060 and a lower allocation thereafter, compared with the early-peak scenario. The long-term target is consequently reduced to 8.000 megatonnes in 2100. The fact that the reduction in the level of emissions comes later in the late-peak scenario, i.e. that a larger share of the total emissions comes early, has some effect on the climate, although the difference is likely to be fairly limited since it is only a matter of a few decades. Guesswork based on IPCC material indicates that the effect will be minor and it has been judged negligible in comparison to the overall uncertainties in the calculations made. Consequently, no compensation is made for this effect.

A late peak will primarily benefit the countries that have relatively high emissions in the first half of the century, i.e. indus-

trialised economies and fast growing economies (newly industrialised countries and some developing countries). Some poor countries, which first start facing restrictions on their emissions in the latter part of the century, will, however, not directly reap the advantages of higher allocations in the first half of the century, but will receive lower allocations in the latter half.

Figure 4: Allocation of emissions – late peak

CO<sub>2</sub>-emissions from fuel combustion, emission peak 2040



#### A comparison between the early-peak and the late-peak scenario

The differences between the two scenarios hardly affect the USA at all. This is due to the fact that the restriction on the speed of adjustment protects the USA from too drastic reductions in the first half of the period. This restriction is not completely lifted until 2045, and determines the allocations for the USA up until then in both scenarios. The late-peak scenario gives the USA slightly higher allocations in the period 2050-60 and a slightly lower allocation thereafter. The maximum reduction speed for high-emitting countries will primarily be set by the adjustment mechanism rather than the timing of the global peak.

The late-peak scenario will, however, shift the reduction requirements quite substantially for a few developing countries. From the figure it is quite clear that China, India and Brazil will be allowed to continue with relatively high emissions for a longer period of time, but will have to make larger reductions in the future. A similar pattern will be the case for all countries facing restrictions fairly early in the century (i.e. Annex I countries, newly industrialised countries, and fast growing developing countries).

The speed of reductions does not only affect the timing, but also the total accumulated emissions over the entire period for individual countries. Fast growing developing countries and newly industrialised countries seem to gain most from the late peak, while these selected industrialised countries (Annex I) lose in the sense that their accumulated emissions over the period will be lower. The explanation is that the fast growing developing countries and newly industrialised countries are allowed to increase their emissions for a longer period of time in the late peak scenario. As mentioned above, the industrialised Annex I countries are protected in the early-peak scenario from too drastic reductions, and the main effect of the late-peak scenario for these countries is that the emissions in the latter half of the period will have to be reduced even further.

#### Concluding remarks on the burden-sharing outline

We have tried to outline a burden-sharing model that both results in a practical and acceptable way of reducing global emissions and at the same time creates a stable and predictable environment for governments, individuals and corporations. It is based on the belief that this can be achieved by setting long-term rules that all parties are prepared to accept,

and that these rules should include commitments to reduce emissions. Different methods can be used to achieve these reductions.

It is our belief that a GDP-based mechanism has the best chance of being accepted by different countries. For a given level of global emissions, it will not force the industrialised countries to commit to unreasonably large reduction, but at the same time it will give all countries similar opportunities to grow – especially since poor countries do not face restrictions at the start. This also means that if the GDP/capita quotas converge then the allocation of emission permits per capita will also converge, thus giving equal entitlements to everyone.

In the ongoing discussion on allocation, several different approaches have been identified. To what extent is our outline in line with these approaches? To begin with, our proposal clearly follows the multi-stage approach, since we suggest that countries should “qualify” into the system when they reach a certain pre-determined threshold. All countries should, however, commit ex-ante of doing so. To some extent the proposal also follows the contraction and convergence approach, although the convergence towards equal per capita allowances depends on the assumption of convergence in GDP per capita. This means that our proposal provides a possibility of meeting the equal entitlements principle in the long run. The outline also has the potential to lead to equal mitigation costs, although not necessarily as a share of GDP. Given that the right instruments are used to reach the targets, we can however achieve equal marginal mitigation costs, and thus cost efficiency. This also means that the actual emission reductions will take place where the opportunities are best. High emitting economies also have to make larger reductions and thus take on a larger share of the total burden, which in practice means that wealthier countries will take on a larger burden.

The proposal outlined here can clearly not satisfy all the, partly conflicting, views on fairness. But no other proposal can do that either. What is important is that this proposal has the potential of allocating the burdens in a way that is acceptable to most, or hopefully, all parties. For a given level of global emissions, it will not force the industrialised countries to commit to unreasonably fast reductions, but at the same time it will give all countries similar opportunities to grow – especially since poor countries do not face restrictions at the start. In the long run, it is also necessary that it will be more attractive to be a part of the system than to stay outside. Given the establishment of an international system, each single country's relation to this system will be a new and important part of that country's role in the international community.

It should be noted that the adaptive nature of the model in combination with a long time span and uncertainty about the future development of GDP (both regarding the total amount and its distribution) and the global population will lead to special demands on how the emission allowances must be constructed. The total emissions allowed for a specific year will be set by the global cap, but how this total amount is allocated among countries depends on how their economies and populations develop in relation to each other. This is of course a complication but, on the other hand, it is not more complicated than the present state regarding already ongoing international trade in currencies. The implementation of our model will to a great extent have to be built on forecasts regarding GDP development and population growth on country level. Employing an envelope curve as well as opening for checkpoints (i.e. international re-negotiations) say year 2025, 2050, 2075, can level out short-term variations.

The most important issue is the robustness of the method, not the calculations as such. Two conditions must be fulfilled; the climate change effects must be acceptable (and that is in the end due to global policy commitment achieved) and the short-term economic consequences must be acceptable to all countries. The calculations made indicate that an adaptive model built on a long-term target is an interesting clear-cut alternative to the present shortsighted Kyoto accord.

### **Implementation - What must be done?**

We have to *realize* that there is no such thing as a handful of simple short-term solutions; we have to realize that handling the issue on a global scale will take time. Economy, energy and environment are closely interlinked, so we have to realize that we are implementing a major shift in the world economy that will ultimately influence everything and everybody and that a long-term perspective must be applied stretching up to 100 years. Combating climate change must and will be a part of everyday life all over the globe. Climate change is a global issue that has to be handled at the global level; solutions and initiatives are needed for both local and global growth.

Regimes and structures for global governance are, unfortunately, in short supply. It is now high time to take action and shoulder responsibilities on this crucial issue. Even though climate change is a global problem, we all have a responsibility to do what we can to contribute to a solution.

At present, the situation regarding climate change, the future of UNFCCC, Post-Kyoto, the US – EU relations, the role of the growing economies among the developing countries (China, India, Brazil, South Africa, Mexico) is fairly confused. We note that at the G8 meeting in Gleneagles in July 2005 the leaders of the largest economies clearly stated that the world faces

“...serious and linked challenges in tackling climate change, promoting clean energy and achieving sustainable development globally.”

No solution is possible if not the entire, or at least most of, the world economy is included, the Gleneagles statement can serve as a platform for a renewed global dialogue.

In this article an adaptive burden-sharing model is suggested. It is based on the assumption that an overwhelming majority of all countries can be convinced to commit themselves to participate in the system on the understanding that they will only face restrictions once the country is wealthy enough in relative terms. The long-term predictability and the flexibility needed for economic growth can thereby be sustained. Agreeing on and implementing a common global system will take time. The most important thing is, however, that we start now by forming a burden-sharing model built on commitments to long-term reductions.

We must do all we can to set the correct price on emissions and the pricing must be as global as possible. The only possible way to do this is to make use of market forces, i.e. a global system for emissions trading must develop. Pricing will create the financial resources needed. If emissions are priced properly and the price formation process is trustworthy, i.e. it mirrors market fundamentals, it will be much easier to motivate as well as finance what each single player out there can do. The price has to be global. Otherwise, we will see a lot of second-best solutions and the comparative advantages will not be exploited. Market forces are driving the globalisation process and are some of the most powerful tools in our hands. Used in the right way, they will help to minimise the consumption of resources and provide the best distribution of labour around the globe. An important prerequisite for such a positive development is that there is a global framework of regulations.

Emissions trading in Europe as it is conducted today is limited in many respects. Getting a majority of the world to participate in an emissions trading system is therefore vital. The disputes surrounding the Kyoto Protocol must become a thing of the past. Prestige must be laid aside. The USA and the EU have a responsibility, as the regions that release most emissions of carbon dioxide, to show joint leadership. What we need here is a reasonable and generous compromise between the developing countries' demand for fair development conditions and the industrialised countries' demand that competition throughout the world must not be distorted. It is much more important to get everyone to take part than to focus on short-term emission limits.

The emissions trading system will not be sufficient on its own to solve the problem, but it is a tool for creating the incentives for actions that will result in solutions. Investments in research and development must be focused and significantly increased in order to produce new technology that can replace or radically improve current methods for transportation and the generation of energy. Prices are fundamental market signals and time will give results. Costs will be limited by the technology available for reducing emissions to the desired level. Greater investments in research and development will accelerate technological development. This is obviously a joint responsibility on the part of the political and industrial spheres. We must be open to the use of all available technology in this process. The most important technological development of the next few decades will probably be to achieve sequestration, i.e. to capture and store the carbon dioxide produced in connection with the combustion of fossil fuels. Nuclear power, present and future, will also be a part of the solution. Of course, all the various forms of renewable energy must be used. The transport sector will gradually complete the transition to emission-free engines, probably via hybrid vehicles to fuel cells that use various fuels. Efficiency levels will be up as a consequence of clear market signals.

The introduction of a global regulatory framework will present many business opportunities. This will stimulate the formation of new industries with new workplaces. It will be possible to exploit the market system to the advantage of the environment. The costs of solving the problem will have only a marginal effect on total global growth if price signals and markets are employed in a wise way. Even more important, given that we have a real and serious problem to solve, not taking action will add costs. Being forced into managing recurring crises will definitely be more costly than introducing effective market-based incentives in due time.

Curbing climate change is about combining technology, finance and policy in a wise way. If that is done a worldwide carbon dioxide market will follow. Technology is not an unsolvable problem, given time and incentives, neither is financing. The real challenge is policy. Will it really be possible for policy makers to get their act together in due time? To be very short, there are no alternatives if humanity should be able to curb climate change.

The climate change issue has been compared with the issue of free trade. Free trade has developed gradually since the end of World War II and has still not reached a state of full openness. The same goes for the climate change issue: we are still in the initial stages of dealing with a major problem to which solutions will be developed gradually over the next few decades. We can easily identify threats, but we can also see opportunities, and without being over-optimistic, surely we will see most

of the latter given that wise political decisions are made.

An issue of outstanding importance is the future role of the international business community. Up to now, business leaders in general have made a strategic mistake by letting politicians and NGOs handle the challenge mainly on their own. It is high time for the international business community to rethink the entire climate change issue, we, as business leaders, must play a central and very active role in setting up the basic rules and regulations. The business community has unique knowledge that must be taken into account already when the rules and regulations are established. Business and industry can contribute important experience and know-how. Handling climate change purely or mainly in terms of "red tape" will be extremely expensive – high costs and poor results are to be expected. Today, the climate change issue is driven by politicians, public officials and NGOs that are trying to pull business into a low-emissions future. Looking forward, we as representatives of business and industry have to show leadership. Instead of being *pulled* by society, we should be *pushing* and in a positive way integrate climate issues into the world of markets and trade on a global scale.

On the political level, Europe and the USA have diverged. This is not a sustainable situation and there is great need for a transatlantic dialogue. This responsibility lies primarily on the political system, but the business community has a vital role to play in contributing to such a dialogue. All company executives, but primarily those on either side of the Atlantic, must commit themselves to working for a global emissions trading system. Industry should unite to facilitate joint political leadership, first of all from Europe and the USA, on this issue.

Joint action on the part of business leaders can make a major contribution to breaking the deadlock between Europe and the USA. Business leaders, let us form a Trans-Atlantic Forum in order to push society and politicians. We can make a major contribution to finding ways to really globalise the issue and to integrate abatement costs into the global economy. Real progress in combating climate change will, as always, be built on dialogue, mutual acceptance and understanding.

I am prepared to take action. I hope the same goes for many of my colleagues.



## Foren: Energiepolitik im 21. Jahrhundert

### Forum:

### Zukunft der Energieversorgung: erneuerbar – nachhaltig – sicher

#### Moderation:

Cerstin Gammelin  
Journalistin

#### Langfristige Perspektiven der Stromerzeugung im Rahmen eines nachhaltigen Energiesystems in Deutschland

Prof. Dr. Peter Henricke  
Präsident des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie

#### Die Perspektiven der erneuerbaren Energien bis 2050 – in Deutschland, Europa, global

Dr. Ing. Joachim Nitsch  
Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

#### Nachhaltige Stromerzeugung: Anforderungen an die Wirtschaft

Dr. Gerd Jäger  
Vorstandsmitglied der RWE Power AG, Ressort Kernkraftwerke und Regenerative Energien

#### Umweltfreundliche Energieerzeugung

Johannes Lackmann  
Präsident des Bundesverbandes Erneuerbare Energie



*Forum „Zukunft der Energieversorgung: erneuerbar – nachhaltig – sicher“  
mit Prof. Dr. Peter Henricke, Präsident des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie,  
Johannes Lackmann, Präsident des Bundesverbandes Erneuerbare Energien,  
Cerstin Gammelin, Journalistin und Moderatorin des Forums,  
Dr. Joachim Nitsch, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt und  
Dr. Gerd Jäger, Vorstandsmitglied der RWE Power AG, Ressort Kernkraftwerke und Regenerative Energien*



## Langfristige Perspektiven der Stromerzeugung im Rahmen eines nachhaltigen Energiesystems in Deutschland

Prof. Dr. Peter Hennicke

Präsident des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie

Der Analyse der langfristigen Perspektiven des deutschen Energie- und Stromsystems sollen zunächst einige Kernthesen vorangestellt werden, die das Thema in einen globalen Zusammenhang einordnen.

1. Der Klimawandel ist Realität: Er ist „sichtbar, fühlbar, messbar“ (Schweizer Rück) und er wird sich erheblich verstärken: Die damit verbundenen unternehmerischen Risiken sollten in den anstehenden Kraftwerksplanungen antizipiert werden.
2. Das Zeitalter verstärkter Ressourcenverknappung und -konflikte hat begonnen. Eine forcierte Ressourceneffizienzsteigerung ist Teil der Lösung. In China ist dies bereits Voraussetzung und Motor für Wirtschaftswachstum, hier zu Lande hat das Umdenken erst angefangen.
3. Die Kraftwerkstechnik wird weltweit im Norden wie im Süden konvergieren: Sie wird „cleaner“ („Clean Coal“; Gas-GuD), „leaner“ (Distributed Power/Tri- and Cogeneration) und „greener“ (durch die Vielfalt der Erneuerbaren) werden. Offen ist die Rolle der Kernenergie.
4. Klimaschutztechnik (30 bis 40 Prozent CO<sub>2</sub>-Reduktion) rechnet sich für die deutsche Volkswirtschaft; der staatlich beschleunigte Strukturwandel schafft Zukunftsmärkte für rationellere Energienutzung (REN), regenerative Energien (REG) und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) mit erheblichen Nettobeschäftigungseffekten; aber nicht alle gewinnen.
5. Der beschlossene Ausstieg aus der Kernenergie ist in Deutschland wirtschaftlich und klimaverträglich realisierbar. Er schafft Anreize für Investitionen und Innovationen bei risikoarmen Alternativen. Insofern gibt es keinen sachlichen Grund für eine Laufzeitverlängerung.
6. Deutschlands Energiesystem steht allerdings vor einer Verzweigungssituation: Kernenergieausstieg und Klimaschutz hängen davon ab, ob a) der Energieeffizienz Vorrang eingeräumt wird und ob b) die Erneuerung des Kraftwerksparks auf langfristige Risikominimierung zielt.
7. Widersprüchliche Leitzielorientierungen und unterschiedliche Sparteninteressen prägen die gegenwärtigen energiepolitischen Diskussionen in Deutschland. Es fehlt eine gesellschaftliche Orientierung, die auf einer systemaren Langfristanalyse und einem Zielkonsens aufbaut.

Einigkeit besteht wohl darin, dass die Perspektiven des weltweiten und des deutschen Energiesystems selten so unsicher waren wie heute. Was gestern noch attraktives Geschäftsfeld war, kann morgen Not leidend werden, wenn nicht langfristig geplant und vorausschauend investiert wird. Energiemanager und Politiker müssen vermutlich dem verunsicherten Publikum von Berufs wegen das Stück vorspielen: „Don't worry, be happy – wir haben alles im Griff!“ Leider kann aber beim anstehenden Umbau des Energiesystems davon keine Rede sein: Trotz beachtlicher Erfolge z.B. bei der Einführung erneuerbarer Energien findet weder eine konsistente leitziel- und programmorientierte Energiepolitik statt, noch nehmen die Energiekonzerne in ihren Unternehmensplanungen den langfristigen Klima- und Ressourcenschutz und die Arbeitsplätze genauso ernst wie den kurzfristigen Aktienkurs. Die einen argumentieren, „Die Zukunft ist dezentral!“, und hoffen auf „virtuelle Kraftwerke“ oder gar auf eine rasche Einführung einer (grünen?) Wasserstoffwirtschaft (Jeremy Rifkin). Andere dagegen jagen dem marktfremden Phantom einer möglichst auf Jahrzehnte garantierten Planungssicherheit für Großkraftwerke nach. Viele berufen sich auf den scheinbar evidenten „Kraftwerkserneuerungsbedarf von ca. 40.000 MW bis 2020“, ohne das **strategische Stromsparpotenzial** im Rahmen einer modernen **integrierten Ressourcenoptimierung für Stromdienstleistungen** und das Risiko von „stranded investments“ bei reduzierter Stromnachfrage einzubeziehen. Die einen stimmen unbeirrt das hohe Lied der Liberalisierung und Deregulierung leistungsgebundener Energien an, während andere den Konzentrationsschub beim Stromangebot und die Ausnutzung neuer Markt beherrschender Positionen vor allem bei den Netzen beklagen und eine straffe Regulierung fordern. Einigen geht der Atomausstieg viel zu langsam, während andere schon planmäßig die vierte Generation neuer Atomkraftwerke vorbereiten und mittelfristig zumindest die Lebensdauer bestehender Kraftwerke ausdehnen wollen. Während einige noch den Höhenflug der Preise für Öl, Erdgas, Weltmarktkohle und Koks beklagen, wiegen sich andere in der Hoffnung, nicht nur die Kernenergie, sondern auch die Kohle könnte als „heimische“ Energie wieder eine Renaissance erleben. Zwar haben unbestritten die Häufigkeit und Intensität von Wetteranomalien (z.B. Taifune/Hurrikane, Starkregenfälle, Überschwemmungen, abschmelzende Gletscher, Hitzewellen) weltweit ein Ausmaß erreicht, dass nur noch hart gesottene Lobbyisten den Klimawandel leugnen

können, dennoch wird um jede Tonne CO<sub>2</sub>-Vermeidung gefeilscht wie auf einem orientalischen Basar. Während einige Manager dem Beitrag ihres Unternehmens zur Klimaveränderung die höhere Weihe der „corporate social responsibility“ verleihen wollen, reagieren Rating-Agenturen, Finanzanalysten und teilweise auch die Börsenkurse bereits empfindlich auf regulatorische Risiken und klimasensible Geschäftsfelder. In einem für den WWF erstellten Unternehmensranking nehmen RWE und E.ON nur den zwölften bzw. 17. Platz ein (von 22), wenn der Beitrag zukunftsfähiger Stromerzeugung (durch Erneuerbare und Kraft-Wärme-Kopplung) verglichen wird (vgl. Ecofys 2004).

Bleibt es bei diesen unaufgelösten Widersprüchen zwischen Unternehmensplanungen, Sparteninteressen und gesellschaftlichen Erwartungen, dann kann es zu einem für Innovationen, qualitatives Wachstum, Beschäftigung, Klima- und Umweltschutz sowie letztlich auch für die Demokratie verhängnisvollen Crashkurs kommen. **Daher ist eine Verständigung auf energiepolitische Leitziele und ein langfristiges Energieprogramm dringender denn je.** Umwelt-, Ressourcen- und Klimaschutz, Risikominimierung, gesamtwirtschaftliche und soziale Verträglichkeit (z.B. positive Nettoarbeitsplatzeffekte) sowie Versorgungssicherheit mit Energiedienstleistungen könnten dabei Leitziele sein. Es ist zu hoffen, dass die Politik sich auf einen Legislaturperioden übergreifender Konsens über Leitziele und quantifizierte Eckpunkte eines Programms für ein langfristig nachhaltigeres Energiesystem verständigt.

Angesichts der drängenden Restrukturierungsprobleme auf dem Kraftwerkssektor ist es aus Sicht eines **volkswirtschaftlich** kostengünstigen Klima- und Ressourcenschutzes problematisch, dass noch vorwiegend in Angebotstechniken und wenig systemorientiert gedacht und geplant wird: Im alles übertönenden Streit um die „richtige“ Energieangebotsstrategie (zentral vs. dezentral, fossil/nuklear vs. regenerativ) geraten das **wirtschaftlich hoch attraktive Potenzial der rationalen Energienutzung** und die potenziell Konsens stiftende Kraft einer Energieeffizienzstrategie auf der Nachfrageseite immer wieder in den Hintergrund. Im Sinne einer integrierten Ressourcenanalyse kann nämlich die Nachfrageseite des Strommarkts nicht weniger strategisch und zielorientiert geplant werden als die Angebotsseite (vgl. Thomas 2006).

Angesichts der energiepolitischen Widersprüche wäre es einfach, hier ein normatives Wunschbild zu formulieren, wie der Energiemix in Zukunft aussehen sollte. Energiepolitisch wäre dies jedoch genauso wenig zielführend, wie zu behaupten, die Zukunft besser voraussehen zu können als professionelle Unternehmensplaner. Wunschbilder und Expertenprognosen können beide von der realen Entwicklung in 50 Jahren erheblich abweichen. Deshalb beschränken wir uns nachfolgend auf die Analyse einer anderen Leitfrage: **Wie könnte der Energiemix der Zukunft aussehen, wenn eine Verständigung auf die oben angegebenen Leitziele und einen volkswirtschaftlich tragfähigen und gesellschaftlich akzeptanzfähigen Weg gesucht würde?** Eine solche Fragestellung lädt andere dazu ein, abweichende Vorstellungen und eigene „Wenn-dann“-Szenarien vorzulegen. Dadurch werden mögliche Alternativen und Handlungsoptionen transparent und diskussionsfähig. Erkennbar riskante Zukunftspläne können geändert und Fehlinvestitionen können möglicherweise vermieden werden.

Für solche „Wenn-dann“-Analysen gibt es in Deutschland – dank der Arbeiten von Enquête-Kommissionen und dank des hohen Niveaus der wissenschaftlichen Energiepolitik-Beratung – mehr Daten, Potenzialanalysen und Alternativszenarien als in irgendeinem anderen Land der Welt. Das Problem ist nur: Sie werden für einen öffentlichen Diskurs und zur energiepolitischen Konsensbildung über Ziele und Instrumentenmix zwischen Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zu wenig genutzt, und sie **versanden häufig in parteipolitisch motiviertem Abgrenzungsgeplänkel**, wie es z.B. in der Enquête-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“ (2002) auf allen Seiten gepflegt wurde (vgl. Deutscher Bundestag 2002).<sup>1</sup> Durch den selbst verschuldeten Eindruck heilloser Zerstrittenheit wurde daher auch der energiepolitischen Öffentlichkeit leider nicht vermittelt, dass sich die Enquête-Mitglieder in ihrem Abschlussbericht in drei grundlegenden Fragen weitgehend **einig** waren:

1. Ein ambitioniertes CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel von 80 Prozent kann bis zum Jahr 2050 mit einer großen Vielfalt an Energieerzeugungs- und -umwandlungstechniken erreicht werden.
2. Welche technische Struktur des Energieangebots auch immer für wünschbar und akzeptanzfähig gehalten wird: In allen Fällen ist eine erheblich schnellere Steigerung der Energieeffizienz bei der Umwandlung und Nutzung bis zum Jahr 2050 (um den Faktor 2,5 bis 4) zur Erreichung des Klimaschutzziels notwendig und auch möglich.
3. Zwar differieren die gesamtwirtschaftlichen Kosten eines ambitionierten klimaverträglichen Umbaus des Energiesystems je nach Technologiemitmix erheblich, aber ein „robustes“ Ergebnis steht fest: Die Zusatzkosten des Umbaus sind „gesellschaftlich akzeptabel“, vor allem dann, wenn die externen Kosten berücksichtigt würden.

<sup>1</sup> Die beachtlichen Gemeinsamkeiten, aber auch die grundlegenden Differenzen wurden durch eine Häufung von Minivoten im Anschlussbericht eher vernebelt als verdeutlicht.

Seit den Szenarien der Energie-Enquête-Kommission (2002) wurden die prinzipiell technologisch möglichen Entwicklungspfade für das deutsche Energiesystem nicht mehr umfassend untersucht.<sup>2</sup> Nachfolgend dienen daher die Arbeiten der Energie-Enquête-Kommission als Ausgangspunkt. Ihr Abschlussbericht verdient deshalb auch heute noch besondere Aufmerksamkeit, weil hier erstmalig für ein Industrieland im Detail untersucht wurde, wie mit einer repräsentativen Vielfalt von Technologieoptionen, mit welchem Instrumentenmix und mit welchen makroökonomischen Implikationen ein nachhaltiges Energiesystem mit ambitionierter CO<sub>2</sub>-Reduktion (80 Prozent bis zum Jahr 2050) erreicht werden kann. Diese Methode des „Back-Casting“ („Wie kann ein vorgegebenes Klimaschutzziel im Vergleich zu einem Referenzpfad erreicht werden?“) prägt auch die vorgeschlagenen Strategien und Instrumentarien („Policy-Mix“). Aufbauend auf den Enquête-Szenarien liegen inzwischen differenziertere Szenarien für das Umweltbundesamt und das Umweltministerium vor (DLR et al. 2004). Wir fassen daher die Szenarien der Enquête-Kommission hier nur zusammen, um uns dann der Darstellung eines denkbaren Nachhaltigkeitsszenarios zu widmen, das von der Arbeitsgemeinschaft Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Wuppertal Institut (WI) entwickelt worden ist.

### Klimaschutz und Trendentwicklung

Von der Enquête-Kommission ist zunächst eine Trendentwicklung bis zum Jahr 2050 in Szenarienform abgebildet worden. Dabei wurde nur die Umsetzung der schon bisher beschlossenen energie- und klimapolitischen Maßnahmen unterstellt (BAU = business as usual). Mehr als 90 Prozent des Primärenergiebedarfs würden danach auch Mitte dieses Jahrhunderts noch über fossile Energieträger gedeckt. Allerdings setzt sich die **Entkopplung von Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum** bereits im Trend verstärkt fort. Der Primärenergieeinsatz geht weiter zurück und liegt im Jahr 2050 um rund 20 Prozent unterhalb des jetzigen Niveaus (1180 PJ in 2000). Ausschlaggebend hierfür ist neben den endogenen Anreizen zur Effizienzsteigerung vor allem die Annahme einer nach 2030 deutlich rückläufigen Bevölkerungsentwicklung (2050 nur noch 67,8 Millionen statt rund 82 Millionen im Jahr 2000). Während die Bedeutung der Mineralöle erheblich sinkt, steigt der Deckungsanteil von Erdgas an. Auch der Beitrag der erneuerbaren Energien zur Primärenergieversorgung erhöht sich im Zeitverlauf deutlich. Die hieraus resultierenden Treibhausgasemissionen weichen allerdings erheblich von den notwendigen Minderungsraten ab. Während die nationale Zielsetzung aus dem Kyoto-Abkommen (Reduktion um 21 Prozent im Mittel für den Zeitraum 2008 bis 2012 im Vergleich zum Jahr 1990) noch fast erreicht wird, werden weiter reichende Ziele, wie sie beispielsweise in der Koalitionsvereinbarung der Regierungsparteien festgehalten sind (Reduktion um 40 Prozent bis zum Jahr 2020), deutlich verfehlt. Dies gilt erst recht für das 80-Prozent-CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel (bis 2050), das verschiedene Enquête-Kommissionen sowie der WBGU begründet haben und das aus den Empfehlungen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) abgeleitet werden kann. Insofern ist der BAU-Pfad nicht zukunftsfähig. Abwarten löst also die Klima- und Ressourcenprobleme nicht, sondern trägt zu ihrer Verschärfung bei.

### Alternative technologische Klimaschutzpfade für Deutschland

Die Enquête-Kommission hat daher in drei alternativen Pfaden aufgezeigt, mit welchen technologischen Basisoptionen ein 80-Prozent-CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel bis 2050 erreicht werden kann. Für die verschiedenen Szenarien sind dabei die folgenden unterschiedlichen Grundannahmen gesetzt worden:

- Das **Szenario Umwandlungseffizienz (UWE)** legt einen Schwerpunkt auf die Effizienzsteigerung beim Einsatz fossiler Energieträger bei der Stromproduktion. Bei der Energiewandlung und -nutzung werden gegenüber dem im Referenzszenario zugrunde gelegten Trend forciert moderne Technologien mit hoher Umwandlungseffizienz eingesetzt. Verschärfte energiepolitische Vorgaben wie z.B. höhere Energiesteuern wie auch zielgruppenspezifische Maßnahmenbündel verstärken die Motivation zur Energieeinsparung gegenüber der Referenzentwicklung. Energieeinsparungen werden durch eine vermehrte Ausschöpfung besonders kostengünstiger Einsparpotenziale umgesetzt. Die Ausnutzung fossiler Energieträger wird in klimapolitischer Hinsicht dadurch ermöglicht, dass mittelfristig Möglichkeiten der CO<sub>2</sub>-Entsorgung in zentralen Anlagen (z.B. im Kraftwerksbereich) unterstellt werden.
- Das **Szenario REG/REN<sup>3</sup>-Offensive (RRO)** ist gekennzeichnet durch einen deutlich verstärkten kombinierten Einsatz effizienter Erzeugungs- und Nutzungstechnologien sowie einen verstärkten Ausbau erneuerbarer Energien. Dies führt im Kraftwerkspark zu erheblichen Struktur- und Systemveränderungen (z.B. Dezentralisierung, virtuelle Kraftwerke, Vielfalt neuer Akteure), aus denen deutliche Verschiebungen in den Aufgabenfeldern der relevanten Akteure resultieren. Das Energiedienstleistungsprinzip setzt sich als Konzept flächendeckend durch; dies bedeutet, dass nicht nur die effizientere Bereitstellung von Endenergie, sondern vor allem auch deren hocheffiziente und kostengünstige Umwandlung in den eigentlichen Verbrauchernutzen (z.B. in behagliche Raumwärme oder in motorische Kraft) im Mittelpunkt steht. Eine Energiebesteuerung im europäischen Rahmen findet statt. Die erneu-

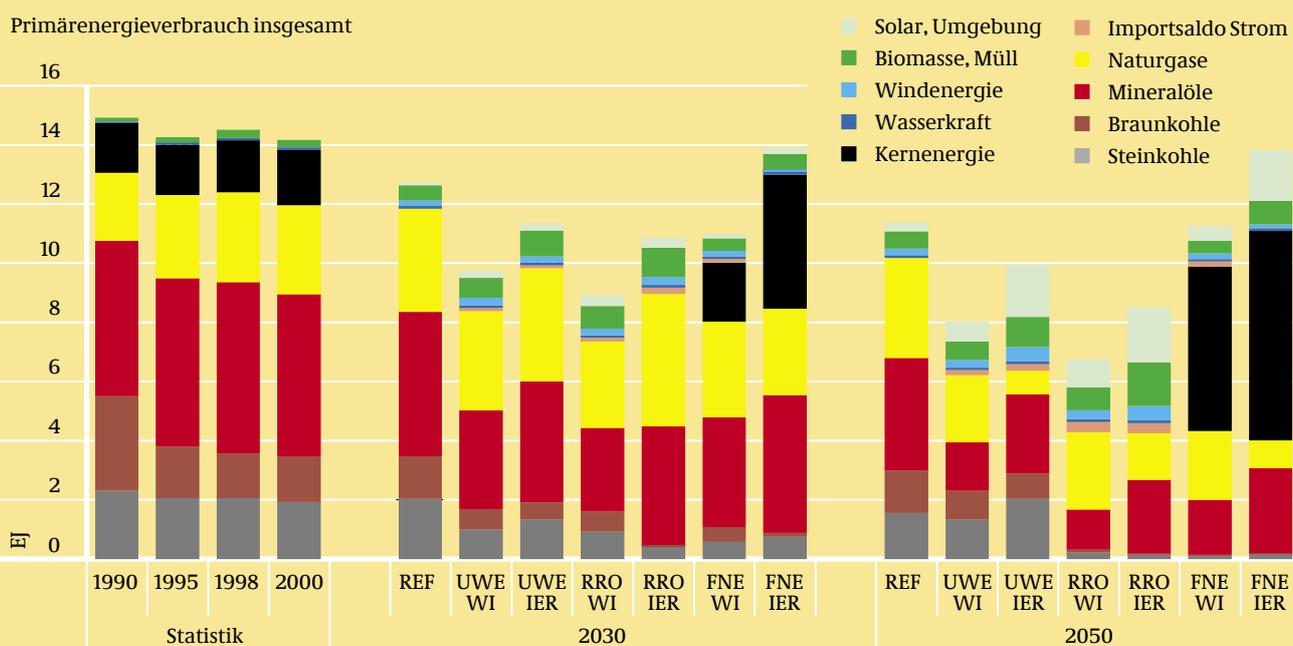
<sup>2</sup> Zu einer Zusammenfassung und Einbettung der deutschen Energiepolitik in einen internationalen Kontext vgl. auch Hennicke und Müller (2005).

<sup>3</sup> REN = rationelle Energienutzung; REG = regenerative Energien, KWKK = Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung.

erbaaren Energien werden in der Markteinführung unterstützt und tragen vermehrt zur Deckung der Energienachfrage bei. Im Jahr 2050 ist ein Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch (Strom, Wärme, Kraftstoffe) von mindestens 50 Prozent erreicht. Die Perspektive ist, den erneuerbaren Primärenergieanteil im weiteren Verlauf des Jahrhunderts schrittweise auf 100 Prozent auszudehnen. Energiepolitische Maßnahmen führen zu einer gegenüber der Referenz forcierten Umsetzung von Energieeinsparung. Auch in diesem Szenario werden mit Blick auf die Kosteneinsparungen die Einsparpotenziale zeitlich vorrangig ausgeschöpft. Sowohl im Szenario UWE als auch im Szenario RRO wird unterstellt, dass der beschlossene Atomenergieausstieg vollzogen und etwa bis zum Jahr 2023/24 abgeschlossen ist.

- Das **Szenario Fossil-Nuklearer Energiemix (FNE)** ist dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebenen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele vorrangig durch den massiven Ausbau der Atomenergie erreicht werden sollen, wobei die Annahme einer dauerhaft besonders kostengünstigen nuklearen Stromerzeugung als zentrale Begründung für diesen Pfad anzusehen ist. Die Energiepolitik kann unter dieser Voraussetzung die Technologiewahl dem betriebswirtschaftlichen Kalkül der AKW-Betreiber überlassen und sich auf die Rolle der Rahmensetzerin zurückziehen. Ökologische Lenkungssteuern oder Eingriffe zur Begrenzung der Risiken des Nuklearkreislaufs werden nicht eingesetzt. Maßnahmen zur Energieeinsparung in allen Bereichen werden nur in dem Umfang umgesetzt, wie sie nach engen betriebswirtschaftlichen Kriterien profitabel sind, was insbesondere an die Kapitalrückflusszeiten hohe Anforderungen stellt. Ein Zubau neuer Kernkraftwerke ist ab 2010 zulässig, und die heute bestehenden Anlagen dürfen über das in der Konsensvereinbarung zwischen Bundesregierung und Kraftwerksbetreibern in 2001 bestimmte Maß hinaus betrieben werden.

Abbildung 1: Entwicklung des Primärenergieeinsatzes in den Enquête-Szenarien



Quelle: Deutscher Bundestag (2002)

An den Szenarien wird deutlich, dass zur Erreichung eines ambitionierten Klimaschutzziels von 80 Prozent CO<sub>2</sub>-Reduktion in 2050 (gegenüber 1990) **in erster Linie eine zusätzliche Steigerung der Energieeffizienz** erforderlich ist. Alle Zukunftspfade zeigen beim Endenergieverbrauch einen deutlichen Rückgang des Primärenergieeinsatzes gegenüber der Referenzentwicklung (wegen der geringen Umwandlungseffizienz bei KKW's steigt der Primärenergiebedarf im Szenario FNE). Auch der Primärenergieanteil der erneuerbaren Energien erhöht sich von ca. 2,5 Prozent in 2000 auf je nach Randbedingungen 6,5 bis 18 Prozent in 2030 und zwölf bis 50 Prozent im Jahr 2050.

Die Szenarien erlauben einen bewertenden **Vergleich unterschiedlicher Technologiepfade**. Hinsichtlich des Klimaschutzes sind sie vergleichbar, weil sie alle zum gleichen Klimaschutzziel führen. Die Kommissionsmehrheit hatte sich seinerzeit für das Szenario RRO (mit Atomausstieg) ausgesprochen. Legt man die eingangs erwähnten Leitkriterien zugrunde, dann entspricht das Szenario RRO besonders dem Kriterium der Risikominimierung. Es hat sich jedoch in der Zwischenzeit als Illusion erwiesen, dass mit dem vertraglich vereinbarten Atomausstieg bereits in der Realität eine „unum-

kehrbare“ Energiewende in Richtung des RRO-Pfades eingeleitet wäre. Vielmehr zeigen bereits die Enquête-Szenarien, dass auch eine diametral entgegengesetzte Strategie, eine Forcierung eines **hochzentralisierten Atom/Kohle-Pfades** (eine Kombination aus UWE und FNE), in Deutschland technisch-wirtschaftlich möglich ist. Gestützt auf eine Renaissance der Atomenergie und eine neue „dezentralere“ Generation von Kernkraftwerken könnte in Kombination mit einer großtechnischen CO<sub>2</sub>-Deponierung (plus einer begrenzten Solar- und Effizienzoption) auch ein ambitioniertes Klimaschutzziel verwirklicht werden, wenn dafür die Gefahren und externen Kosten von Atomkraftwerken und des nuklearen Brennstoffkreislaufs in Kauf genommen würden. Als Finanziere und Hauptakteure einer solchen Strategie stände vermutlich ein Dutzend multinationaler Energiekonzerne bereit, wobei ein bescheidener mittelständischer Sektor der regenerativen Strom- und Wärmeerzeugung (Wind, Photovoltaik, Biomasse, Geothermie) damit koexistieren könnte. Mit großer Wahrscheinlichkeit setzt diese Strategie eine weitere Konzentrationswelle sowie eine europaweite Oligopolisierung voraus. Dass dadurch Arbeitsplätze erhalten oder gar neu geschaffen würden, erscheint angesichts der frappierenden Rationalisierungseffekte bei neuen Großkraftwerken (gegenüber alten Kraftwerken eine spezifische Senkung der Beschäftigung mindestens um den Faktor 5) als ausgeschlossen.

Es ist auch in anderer Hinsicht zweifelhaft, ob die Pfade UWE und FNE in dieser zugespitzten Form oder auch in Kombination auf die erforderliche gesellschaftliche Akzeptanz stoßen würden, die notwendig ist, um derart umfassende Systemveränderungen auch konkret umzusetzen. Am augenfälligsten stellt sich die Problematik beim Szenario FNE dar, das zur Erreichung der Klimaschutzziele den **Neubau von mehr als 50 Kernkraftwerken** in Deutschland voraussetzt. Damit müssten nicht nur die bestehenden Kernkraftwerksstandorte erhalten, sondern auch eine erhebliche Anzahl neuer erschlossen werden. Auch bezüglich der Umsetzungsfähigkeit der UWE-Szenarien sind erhebliche Zweifel angebracht, kommt hier doch der bis heute nicht großtechnisch erprobten Option der CO<sub>2</sub>-Entsorgung eine Schlüsselrolle zu. Aufgrund der jährlich zu entsorgenden Menge von 200 bis 250 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> stößt diese Strategie auch schnell an die Grenzen der nationalen CO<sub>2</sub>-Deponierungspotenziale, die heute mit rund 4000 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> abgeschätzt werden können (Deutscher Bundestag 2002). Was aber der dann notwendige Übergang auf eine europäische Entsorgungsstrategie für die Wertschöpfungskette im Land und auch für die Kostenentwicklung bei der Kohleverstromung bedeutet, ist heute erst in Ansätzen erkennbar. Vorstellbar ist z.B., dass Kohle-Kraftwerke aufgrund der besseren Transportierbarkeit von Strom von den Verbrauchs- oder Kohleförderschwerpunkten weg an die CO<sub>2</sub>-Senken verlagert werden. Die erhoffte Stabilisierung der regionalen Kohleförderung und Kraftwerksstandorte würde demnach gerade nicht eintreten. Hinzu kommt, dass viele technische, insbesondere aber auch die ökonomischen und ökologischen Fragen der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Deponierung noch nicht hinreichend geklärt sind.

Die Alternative hierzu bildet der im Szenario RRO abgebildete **Pfad einer dezentralisierten, dezentrierten und gemischtwirtschaftlichen Ordnungsstruktur**. Ihr Kern sind eine forcierte Effizienzsteigerung bei der Energieerzeugung und -nutzung sowie eine stärkere Dezentralisierung und wachsende Vielfalt von Stromerzeugungstechniken (z.B. Mikroturbinen, Brennstoffzellen, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Plus-Energiehäuser). Diese Dezentralisierung bei den Techniken erlaubt es einer Vielzahl von mittelständischen Strom- und Wärmeanbietern, ein neues System von intelligenten und verbrauchernahen Energiedienstleistungen zu entwickeln. Wichtige Funktionen der Energieerzeugung (ständige Verfügbarkeit, Reservehaltung, preiswürdiges Angebot) werden zu den Verbrauchern und an den Ort der Erzeugung „zurückgeholt“. Durch die Integration und den stochastischen Ausgleich vieler dezentraler Erzeuger kann dabei auch die Versorgungssicherheit auf weitgehend erneuerbarer Basis gewährleistet werden. Die modernen Informations- und Kommunikationstechnologien und ihre Vernetzungspotenziale machen das möglich, wodurch **der Mix sich ergänzender dezentraler Techniken als System flexibler und** (durch eingesparte Reserve- und Transportkosten) **auf Dauer sogar kostengünstiger wird als die heutigen Großkraftwerke**, die eine hohe Reservevorhaltung brauchen, um gegen Störfälle und unerwartete Nachfragespitzen abgesichert zu sein.

### Die Kosten der Risikominimierung

Bemerkenswert ist, dass die Kommission – trotz erheblicher Bewertungsunterschiede hinsichtlich der Wünschbarkeit der Pfade – zu dem Ergebnis kam, dass das ambitionierte CO<sub>2</sub>-Minderungsziel von 80 Prozent mit allen Pfaden auch in volkswirtschaftlicher Hinsicht erreichbar ist. Die Mehrheit der Kommission hat die volkswirtschaftlichen Implikationen in folgenden Punkten zusammengefasst:

- Der Anteil der Energiesystemkosten im Referenzszenario kann von 12,5 Prozent des BIP (2010) auf 9,2 Prozent (2050) reduziert werden.
- Im Szenario RRO (mit Atomausstieg und 80 Prozent CO<sub>2</sub>-Reduktion bis 2050) liegt der Anteil der Energiesystemkosten am BIP in 2050 nur leicht höher (zwischen 9,4 und 10,4 Prozent).
- Die Mehrkosten des Szenarios RRO gegenüber dem Referenzpfad werden auf maximal 160 Euro pro Kopf und Jahr geschätzt, aber auch 40 Euro pro Kopf und Jahr erscheinen möglich.

- Bei allen – technologisch sehr unterschiedlichen – Pfaden ist die Bandbreite der Zusatzkosten relativ gering.
- Berücksichtigt man die Vorteile (Wachstums-, Export- und Beschäftigungseffekte), werden diese Zusatzkosten als „gesellschaftlich akzeptabel“ eingeschätzt – vor allem wenn die Vermeidung der externen Kosten in Rechnung gestellt wird.

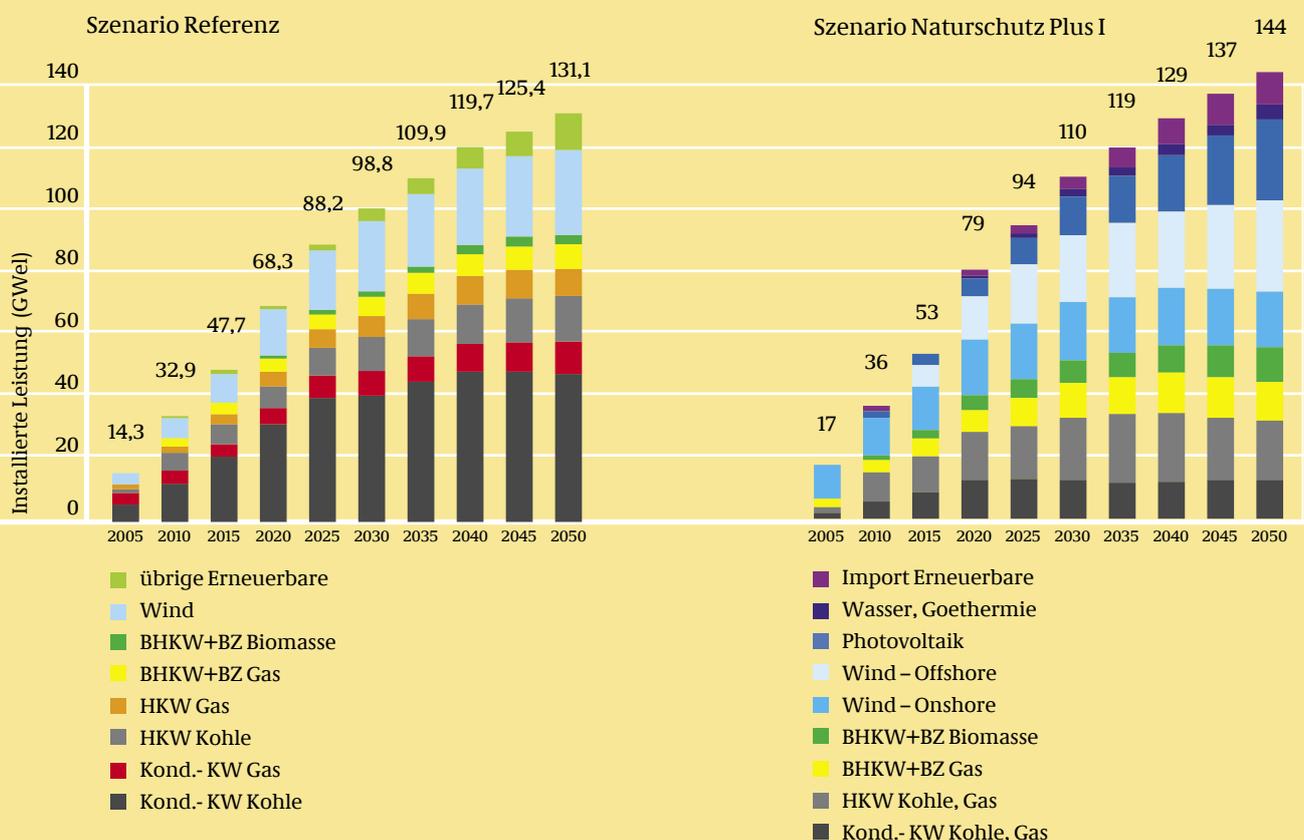
In den oben erwähnten neuen „Ausbau“-Szenarien des DLR et al. (2004) wurde das RRO-Szenario in zahlreichen Varianten weiterentwickelt. Dabei wurden die folgenden Differenzierungen und Erweiterungen berücksichtigt.

- **Weiterentwicklung der Enquête-Szenarien hinsichtlich des Ausbaus der erneuerbaren Energien (EE):** Ausschöpfungsmöglichkeiten der Potenziale, erreichbare Zubaugradienten, unterschiedlicher EE-Mix, Auswirkungen auf Struktur des Strom-, Wärme- und Kraftstoffmarktes
- **Ökologische Bewertung der Ausbauszenarien:** Klimagas-Reduktionspotenziale, gesamter Ressourceneinsatz, Flächenbedarf, Einschränkungen durch Naturschutzbelange
- **Ökonomisch-strukturelle Bewertung der Ausbauszenarien:** volkswirtschaftliche Aufwendungen (Gesamtkosten der Strombereitstellung und -nutzung, Differenzkosten erneuerbare Energien), gesicherte Versorgung vs. Abhängigkeiten, Beschäftigungseffekte und Exportmärkte
- **Strategie für einen „ökologisch optimierten“ Ausbau erneuerbarer Energien unter Beachtung volkswirtschaftlicher und sozialer Aspekte**

Besonders wichtig ist bei dieser Weiterentwicklung der Enquête-Szenarien durch das DLR u.a., dass eine differenzierte Analyse eines „nachhaltigen Kraftwerksparks“ durchgeführt wurde, bei der nicht nur der Strukturwandel mit einem Referenzpfad (unter BAU-Bedingungen), sondern auch die Kostenentwicklungen miteinander verglichen wurden.

In der folgenden Abbildung 2 wird eine repräsentative Variante (unter Berücksichtigung von Belangen des Naturschutzes) eines nachhaltigen Kraftwerksparks mit einem Referenzpfad verglichen.

Abbildung 2: Strukturpfad des Kraftwerkszubaues (ab 2001) im Vergleich zum Referenzpfad

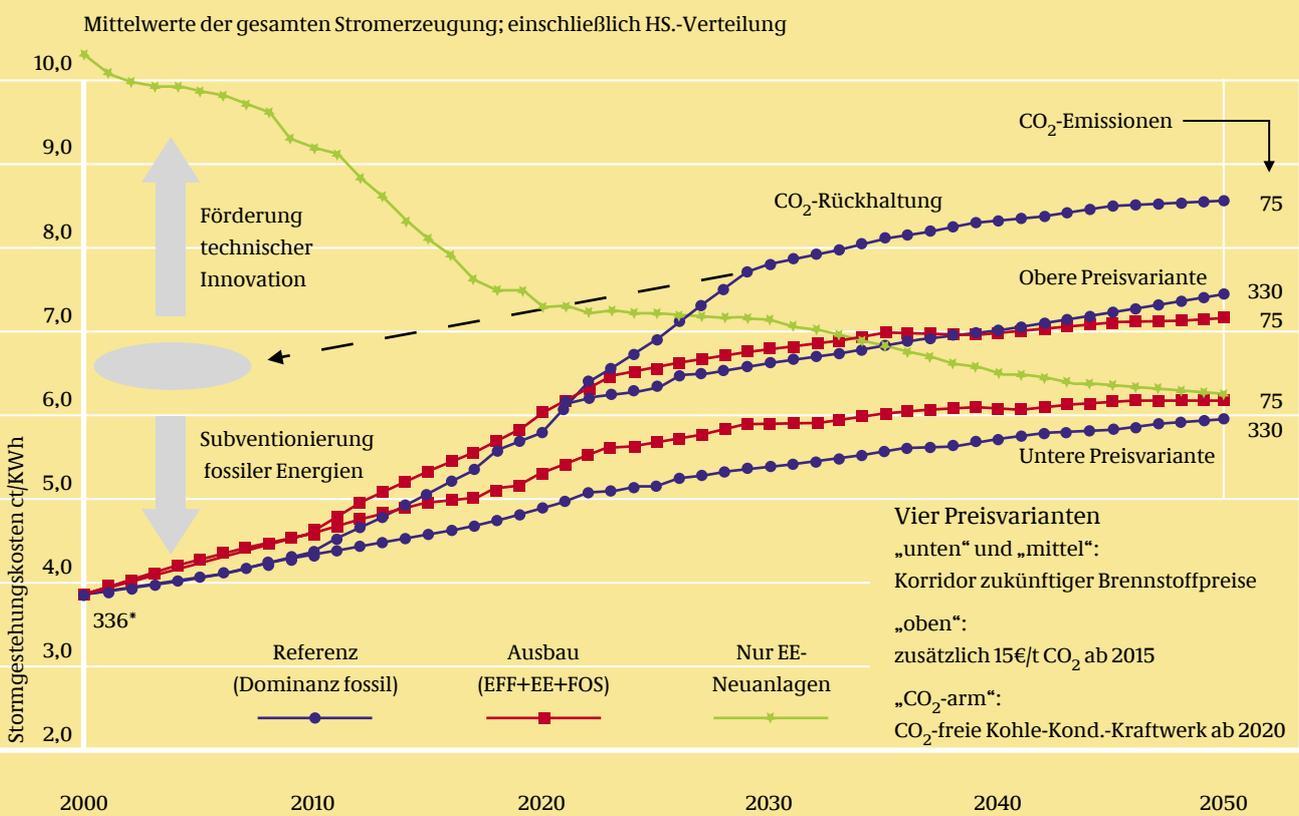


Quelle: DLR, ifeu, WI (2004)

Erkennbar ist, dass im Nachhaltigkeitspfad der Anteil der erneuerbaren Energien gegenüber dem Referenzpfad (19 Prozent) bis zum Jahr 2050 auf 68 Prozent gesteigert wird und durch eine starke Diversifizierung dezentraler Stromerzeugungsoptionen und durch einen verstärkten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung sowie auch durch importierte regenerativ erzeugte Elektrizität die Versorgungssicherheit garantiert werden soll.

Auf dieser Grundlage kann nun auch die Stromkostenentwicklung in einem Nachhaltigkeitsszenario mit einem hinsichtlich des Klimaschutzes vergleichbaren Kraftwerkspark auf Basis fossiler Energien verglichen werden. Denn erst unter dieser gemeinsamen Klimaschutzprämisse wird die Kostenentwicklung eines Stromerzeugungsmix aus weitgehend dezentralen „grünen“ Optionen (KWK, Erneuerbare) mit einem vorwiegend auf Kohle und Erdgas aufbauenden Kraftwerkspark vergleichbar. Bei diesem Vergleich ergibt sich eine Scherenentwicklung, die sich aus einer tendenziell sinkenden Kostenentwicklung bei den Erneuerbaren (Kostendegression durch Massenproduktion; Lerneffekte) und den steigenden Kosten in einem traditionell fossil basierten Kraftwerkspark durch die Kosten der Sequestrierung ableitet (vgl. Abb. 3).

Abbildung 3: Stromkosten als Funktion der Brennstoffpreise. Gesamtsysteme bei vergleichbarer Versorgungssicherheit und mit Klimaschutz



Quelle: DLR, ifeu, WI (2004)

Je nach Preisentwicklung bei den fossilen Energien lässt sich hieraus folgern, dass zwischen 2020 und 2030 der Zeitpunkt erreicht sein wird, ab dem der dezentral erzeugte Strommix aus Erneuerbaren und KWK („Ausbauszenarien“) einem fossil dominierten zentralisierten Kraftwerkspark („Dominanz fossil“) ökonomisch überlegen ist. In groben Zahlen: Im Jahr 2030 liegt die Kostenspanne von Gas- und Kohlekraftwerken mit CO<sub>2</sub>-Sequestrierung je nach Preisentwicklung fossiler Energieträger schätzungsweise zwischen 6,6 und 7,9 Cent/kWh, während ein hinsichtlich der Versorgungssicherheit vergleichbarer Mix aus erneuerbaren Stromquellen etwa 7,4 Cent/kWh kostet (Fischedick et al. 2004). Durch beschleunigte Markteinführung ergibt sich nach diesen Abschätzungen ein Marktvolumen, das einen erheblichen Lern- und Kostensenkungseffekt bei den dezentralen und erneuerbaren Stromerzeugungsoptionen erlaubt, während die Kosten fossiler Stromerzeugung tendenziell wegen steigender Primärenergiekosten und der zusätzlichen Kosten der Sequestrierung um mindestens zwei Cent/kWh ansteigen. „Grüner Strom“ kostet also anfänglich mehr, um etwa ab 2020/30 fossil erzeugten Strom deutlich unterbieten zu können.

Diese typische Kostendynamik im Stromsektor wird in der Studie für das gesamte Energiesystem (Strom, Wärme, Verkehr) differenziert untersucht; die **Kostendynamik im Zeitverlauf** kann wie folgt zusammengefasst werden: In den kommen-

den Jahrzehnten (etwa von 2005 bis 2035) müssten Energieanbieter und -nachfrager bereit sein, eine moderate durchschnittliche volkswirtschaftliche Energiekostenerhöhung in Kauf zu nehmen, d.h. insgesamt – je nach Preisannahmen – zwischen 1,8 und 3,4 Milliarden Euro pro Jahr. Der gesamtgesellschaftliche Nutzen dieser Strategie liegt in Folgendem:

- Die Strategie entspricht dem Kriterium der Risikominimierung (d.h. Vollzug des beschlossenen Atomausstiegs plus ausreichender Klimaschutz).
- Langfristig (etwa ab 2040) ergibt sich eine relative Kostensenkung gegenüber einem fossil dominierten Pfad.
- Die Nettoarbeitsplatzeffekte sind – trotz vorübergehend erhöhter Energiekosten – positiver als im Referenzpfad (wegen der Vielfalt dezentraler und relativ arbeitsintensiver Investitionen und wegen der expandierenden Exportmärkte für REN, REG und KWK-Technologien).

### Bedingungen für eine Energiewende: Vorrang der Energieeffizienz - forcierte Markteinführung von Regenerativen

Die beschriebene Entwicklung zu einem an Klimaschutz orientierten Energiesystem wird in keiner der Strategien allein durch marktwirtschaftliche Selbststeuerung erreicht, sondern erfordert einen innovativen Policy-Mix und ein Bündel von ambitionierten Umsetzungsmaßnahmen. Insofern kann auch kein fundiertes Urteil darüber abgegeben werden, welches Szenario „realistischer“ ist. Allerdings müsste der vorhandene Policy-Mix zukünftig vor allem im Bereich der Energieeffizienz noch erheblich weiter entwickelt werden. Insbesondere das Szenario RRO setzt ein **neues Verständnis des Primats der Energiepolitik und eine innovative Energiesparpolitik** voraus.<sup>4</sup> Die Politik müsste hinsichtlich ihrer proaktiven Gestaltungs- und Vorsorgeaufgaben, z.B. bei neuen Forschungsschwerpunkten, aber auch durch innovative Anreiz- und Finanzierungssysteme einen deutlichen Paradigmenwechsel vollziehen. Daher spitzt sich die Frage der „Realisierbarkeit“ eines nachhaltigen Energiepfades darauf zu, wie und zu welchen Kosten das erheblich über den Trend hinaus zu erschließende Energiesparpotenzial tatsächlich „am Markt“ realisiert werden kann.

Das **technische Potenzial** der effizienten Energieverwendung und -erzeugung ist unbestritten enorm. Bezogen auf die benötigte Energiedienstleistung (für warme und helle Räume, gekühlte Lebensmittel, Mobilität, Produktion) könnte der Energieverbrauch technisch um durchschnittlich 80 bis 85 Prozent verringert werden. Auch wenn berücksichtigt wird, dass die Nachfrage nach Energiedienstleistungen mit dem Wirtschaftswachstum steigt, kann bis zur Mitte des Jahrhunderts der Primärenergieverbrauch pro Kopf in Deutschland um etwa zwei Drittel verringert werden. Diese technische Vision einer „2000-Watt-Gesellschaft“, die pro Kopf und Jahr nur Energie mit einer durchschnittlichen Leistung von 2000 Watt benötigt, hat sich auch der Rat der Eidgenössischen Technischen Hochschule in der Schweiz zu Eigen gemacht (Jochem 2004).

Eine szenarienbasierte Abschätzung des Beitrags der rationellen Energienutzung zu den nationalen Klimaschutzziele zeigt: Zwei Drittel bis drei Viertel der für den Klimaschutz notwendigen CO<sub>2</sub>-Minderung können und müssen in den nächsten Jahrzehnten auf den Märkten für Energieeffizienztechnologien erbracht werden. Daraus folgt der **energiepolitische Imperativ**, die Markteinführung der Regenerativen systematischer als bisher mit einer forcierten Effizienzsteigerung zu verbinden. Nur dadurch kann längerfristig der Ausbau erneuerbarer Energien eine entscheidende Bedeutung auch im Klimaschutz erlangen und umso früher zur tragenden Säule der Energieversorgung werden. Im Jahr 2050 tragen die erneuerbaren Energien einer solchen Strategie folgend mit etwa der Hälfte zum CO<sub>2</sub>-Minderungsziel von 80 Prozent bei. Dies gelingt umso effektiver, je besser die volkswirtschaftlichen Zusatzkosten für die Markteinführung der erneuerbaren Energien durch die Kosteneinsparung in Folge umgesetzter Energieeffizienzsteigerung kompensiert werden. Eine einseitige Ausbaustrategie für die erneuerbaren Energien führt demgegenüber zu deutlich höheren Energiekosten, ist ökonomisch suboptimal und setzt mittelfristig die Akzeptanz für Sonne, Wind und Biomasse aufs Spiel.

Nach den Erfahrungen im In- und Ausland ist es möglich, die Stromeffizienz um mindestens ein Prozent pro Jahr zusätzlich gegenüber dem Trend zu steigern. Die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten der Stromeffizienz betragen nach empirischen Analysen rund zwei bis drei Cent/kWh, gegenüber langfristig vermiedenen Grenz-Systemkosten der Strombereitstellung von etwa fünf bis sechs Cent/kWh. Die Netto-Einsparung beträgt also rund drei Cent/kWh. Somit könnte bis 2010 eine dauerhafte Netto-Einsparung von rund 0,75 Milliarden Euro/Jahr und bis 2020 von 2,4 Milliarden Euro/Jahr realisiert werden (vgl. Thomas et al. 2006).<sup>5</sup>

Das Nachhaltigkeitsszenario RRO zeigt z.B., dass eine engagierte Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei gleichzeitigem Atomausstieg eine Effizienzsteigerung von mehr als drei Prozent p.a. erfordert (gegenüber etwa 1,6 Prozent in der Vergangenheit). Diese Verdoppelung der Steigerungsrate der Energieproduktivität über mehrere Jahrzehnte ist technisch möglich,

4 Das gilt für Strom, Wärme und Verkehr; nachfolgend erfolgt aus Platzgründen eine Fokussierung auf den Stromsektor.

5 Die Studie kann im Internet als Kurzfassung eingesehen werden ([http://www.wupperinst.org/download/1208/EE\\_EDL\\_Kurzfassung.pdf](http://www.wupperinst.org/download/1208/EE_EDL_Kurzfassung.pdf)).

sie verlangt aber eine mutige Richtungsentscheidung der Energiepolitik zugunsten einer **strategischen Energiesparinitiative** und den gezielten Abbau von Markthemmnissen für Effizienztechniken durch sektor- und zielgruppenspezifische Instrumentenbündel (vgl. Irrek und Thomas 2006; Thomas 2006).

**Adressaten der Energiesparinitiative** sind alle Hauptakteure auf der Angebots- und Nachfrageseite des Energiemarkts: Es sollte (innerhalb bestimmter Bandbreiten) mit Hilfe von Szenarien identifiziert werden, welche „Verantwortlichkeiten“ für die Potenzialerschließung und welche Anreize und quantitativen Zielorientierungen bis 2005/2010/2020 denkbar sind. Es geht dabei um ein **Programm der ökologischen Modernisierung mit positiven Nettobeschäftigungseffekten**, das zusätzlich einen kosteneffizienten Beitrag zum Klimaschutz erbringt. Ein wesentlicher Zweck der Initiative ist, im Sinne einer integrierten Ressourcenoptimierung durch **strategische Erschließung „der Ressource Stromeffizienz“ beim Kunden** die Investitions- und Planungsrisiken (z.B. „stranded investments“) für die Erneuerung des Kraftwerksparks zu begrenzen, weil dadurch auch eine robustere Abschätzung der Nachfrageentwicklung möglich wird: Wie viel kann von wem und in welcher Zeit realistisch eingespart werden? Welche Rahmenbedingungen sind notwendig, damit Energiesparaktivitäten beim Kunden (z.B. durch Contracting oder DSM-Programme) auch ein **Business Case für Stromanbieter** werden?

Generell bedarf es unterschiedlicher Hauptakteure und förderlicher staatlicher Impulse/Instrumente, um **Energiesparen als eine strategische Ressource** auch beim Umbau des Kraftwerksparks nutzen zu können. Hauptsteuerungsinstrumente könnten dabei ein **nationaler und gegebenenfalls weitere regionale Energieeffizienzfonds** (z.B. nach dem Vorbild ProKlima/Hannover) sein; dabei es geht um die Vorfinanzierung mittels „Zehntelklimacents“ mit sektor-/gruppenspezifischer Aufkommensneutralität und mit dem Effekt, dass die **Energierechnungen durch die kosteneffiziente Energieeinsparung sinken**. Der bzw. die Energieeffizienzfonds sind verantwortlich für die Ausschreibung unterschiedlicher innovativer Aktivitäten zur Energieeffizienzsteigerung. Das bedeutet, dass sowohl die effektivsten Lösungen als auch die besten Energieeffizienz-Akteure (z.B. Energieagenturen, Energieunternehmen, Contracting-Unternehmen, Verbraucherverbände, aber eventuell auch Hersteller oder Anbieter von energieeffizienter Technik) zum Zuge kommen.

Die enorme Vielfalt der Effizienzanbieter und -techniken, mangelnde Marktübersicht und fehlende Informationsinstrumente (z.B. zur Kalkulation der Life-Cycle-Costs), der Kapitalmangel bei KMUs und die Kameralistik bei öffentlichen Betrieben, die durchschnittlich geringe Bedeutung des Energiekostenanteils, Probleme bei der Visualisierung und des Marketings von Einspartechiken und -potenzialen sowie Evaluierungs- und Messprobleme für Effizienzpotenziale machen staatliche Rahmensetzung und Intervention zur Voraussetzung eines funktionsfähigen Wettbewerbs zwischen Endenergie und Energieeffizienz. Nur der Staat kann zielgruppen- und technologiespezifisch mit der Setzung von Rahmenbedingungen dafür sorgen, dass Transaktionskosten reduziert werden, die den Effizienzsteigerungen entgegenstehen, und sich ein europäischer Binnenmarkt für Energiedienstleistungen (EDL) entfalten kann.

Vor allem aber müssen die dezentralen Angebote zur Information, Weiterbildung und Förderung jeweils bundesweit gebündelt und finanziert werden. Dazu hat das Wuppertal Institut im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung kürzlich ein Konzept für einen EnergieSparFonds entwickelt. Das Wuppertal Institut schlägt – gestützt auf evaluierte Programme in anderen europäischen Ländern – ein Portfolio von zwölf konkreten Programmen für den EnergieSparFonds vor. Damit würden von der Industrie bis zu den Haushalten verschiedene Potenziale zur Strom- und Wärmeeinsparung genutzt. In den nächsten zehn Jahren würde damit eine Energieeinsparung von etwa zwölf Prozent gegenüber dem bisherigen Trend erreicht – das sind 75 Milliarden Kilowattstunden Strom und 102 Milliarden Kilowattstunden Wärmeenergieträger. Die Emissionen von Treibhausgasen könnten um 72 Millionen Tonnen pro Jahr reduziert werden. Für die Verbraucher/-innen wäre der Barwert der eingesparten Energiekosten mit rund 73,3 Milliarden Euro doppelt so hoch wie die Summe der hierfür von ihnen aufgewendeten Investitionen (rund 37 Milliarden Euro). Außerdem ergäbe sich ein Nettoarbeitsplatzeffekt von ungefähr einer Million Personenjahren bis 2030, mit einem Maximum von 75.000 Personenjahren im Jahr 2015.

In Verbindung mit der Energieeinsparung und der effizienten Bereitstellung von Strom und Wärme durch fossile Energieträger stellt der forcierte Ausbau erneuerbarer Energien für die nachhaltige Entwicklung des Energiesystems ein vor allem **langfristig wichtiges Strategieelement** dar. Die Stromerzeugung aus regenerativen Energien könnte den Szenarien zufolge bis 2020 auf ca. 130 TWh und bis 2050 auf über 300 TWh steigen. Vergleichbare Zuwächse sind unter Nachhaltigkeitsbedingungen auch für erneuerbare Energien im Bereich der Wärmebereitstellung erforderlich. Sie müssen aber auch hier mit einer vorrangigen Effizienzsteigerung verbunden werden. Dies gilt insbesondere für die Einführung von Wasserstoff. In den nächsten Jahrzehnten ist ein großtechnischer Einsatz von Wasserstoff als Energiespeicher und Treibstoff der Zukunft allein aus Kostengründen volkswirtschaftlich nicht sinnvoll. Die Wasserstofftechnologie ist ab 2020 nur dann eine zukunftsfähige Option, wenn ausschließlich regenerativer Wasserstoff erzeugt und eingesetzt wird. Eine Forcierung wäre nur durch nukleare und fossile Wasserstofferzeugung möglich, wodurch aber kontraproduktive Entwicklungspfade mit einem hohen Risikopotenzial beschritten würden.

### Kann eine Laufzeitverlängerung der KKW's den Weg zur Solarenergiewirtschaft ebnen?

Im Kernenergieausstiegsgesetz wird die Nutzungsdauer der Kernkraftwerke auf Reststrommengen begrenzt, die einer durchschnittlich zu erwartenden technisch-wirtschaftlichen Nutzungsdauer der Anlagen von etwa 35 Jahren entsprechen. Bis zum Jahr 2030 muss im Trend mehr als die Hälfte der derzeitigen Kraftwerkskapazität von 129.000 MW ersetzt oder „weggespart“ werden. Die vorliegenden Szenarien zeigen übereinstimmend: Es führt wirtschaftlich und klimapolitisch zu unlösbaren Zielkollisionen, gleichzeitig den beschlossenen Ausstieg aus der Atomenergie zu vollziehen und den Ersatzbedarf nur durch zentrale Großkraftwerke auf Basis von Kohle und/oder Erdgas zu decken. Daraus ergibt sich aber kein Argument, auf ehrgeizige Ziele zu verzichten, sondern die Begründung für eine engagierte Stromeffizienzinitiative in Verbindung mit einem neuen Mix aus dezentraler und zentraler Erzeugung sowie dem Ausbau erneuerbarer Energien; sie lösen die Zielkonflikte billiger und zukunftsfähig und eröffnen Chancen für die Volkswirtschaft.

Zusammengefasst und vereinfacht kann man sagen, dass unter Klimaschutzbedingungen basierend auf einem fossilen Grundsockel vor allem ein Ausbau der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung und der erneuerbaren Energien notwendig ist. Ergänzt wird diese Perspektive durch einen signifikanten Beitrag der Stromeinsparung. Wenn die verfügbaren technisch-wirtschaftlichen Stromeinsparpotenziale weitgehend ausgeschöpft werden, kann der Strombedarf langfristig etwa 25 Prozent unterhalb der Referenzentwicklung liegen. Gut 20 Prozent der deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen können bis 2015 durch Maßnahmen der effizienteren Stromnutzung oder durch die Substitution von Strom durch Erdgas wirtschaftlich vermieden werden (vgl. Thomas 2006).

Die derzeit bekannte Planung der Kraftwerksbetreiber, 32 Kraftwerke (darunter zahlreiche Kohle- und einige Gas-Großkraftwerke) mit einer installierten Leistung von rund 18 GW zu bauen, steht nicht in Einklang mit den bis 2050 notwendigen Klimaschutzziele (80 Prozent CO<sub>2</sub>-Reduktion). Auch wenn mit den geplanten Ersatzmaßnahmen gegenüber dem Kraftwerksbestand zum Teil eine sehr deutliche CO<sub>2</sub>-Minderung realisiert werden kann (so ersetzen beispielsweise moderne Kohlekraftwerke mit Wirkungsgraden um die 46 Prozent Altanlagen mit Wirkungsgraden von 36 bis 38 Prozent), werden mit den erneuerten Kraftwerken bei Laufzeiten von 35 bis 40 Jahren CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kraftwerksparks von knapp 68 Millionen Tonnen pro Jahr über Dekaden hinweg strukturell festgelegt. Dies entspricht zwar 22 Prozent der heutigen Emissionen, aber 100 Prozent des im Jahr 2040 noch zulässigen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes für die **gesamte Stromerzeugung**, wenn man von einer engagierten Klimaschutzentwicklung ausgeht und keine Nachrüstung für eine CO<sub>2</sub>-Abtrennung unterstellt. Alle weiteren Kraftwerke müssten daher forciert „weggespart“ oder nur noch auf erneuerbarer Basis errichtet werden.

Sicher erfordert der skizzierte klimaverträgliche Umbau des Kraftwerksparks volkswirtschaftliche Vorleistungen, wie sie heute z.B. schon im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) von den Stromkunden aufgebracht werden. Die ökologische Modernisierung des Kraftwerksparks stellt auch strukturelle Anforderungen an die Anpassung der Stromtransport- und -verteilnetze, dafür lässt sie aber mittel- bis langfristig eine Kostenentlastung und größere Unabhängigkeit erwarten.

Die Risiken der existierenden Kernenergienutzung sind objektiv eher größer als kleiner geworden. In der Wahrnehmung von Politik und Zivilgesellschaft sind jedoch v.a. die „gefühlten“ Risiken im Zusammenhang mit Proliferation und Terrorismus gewachsen und haben die „gefühlten“ Risiken der Kernenergienutzung von der Urangewinnung über die Stromproduktion bis hin zur noch ungeklärten Entsorgung in den Hintergrund gedrängt. Dabei laufen die Kernkraftwerke länger und veralten, immer mehr radioaktive Abfälle erschweren und verteuern jede denkbare Lösung der Endlagerung und gewichtige Schwellenländer (wie z.B. Indien oder Iran) fordern immer massiver eine nukleare Gleichberechtigung mit den reichen Atomstaaten. Nur wenn es keine risikoärmeren Alternativen gäbe und eine Risikoabwägung notwendig wäre, könnten daher die Argumente für die längere Inkaufnahme dieser Risiken durch eine Laufzeitverlängerung oder für einen Neubau überzeugen. Ganz im Gegensatz hierzu lassen sich gute Argumente für den unveränderten Vollzug des bestehenden Ausstiegsvertrages ableiten: Erstens würde dessen Aufkündigung ohne Not erneut kontraproduktive gesellschaftliche Konflikte auslösen und einen gesellschaftlichen Kompromiss für ein Energieprogramm erschweren. Zweitens würde die Investitions- und Innovationsdynamik der letzten Jahre zu mehr dezentralen und exportfähigen Technologien (KWK, Erneuerbare, Stromeffizienz) gebremst; die „vier Großen“ (E.ON; RWE, EnBW, Vattenfall) hätten einen noch geringeren ökonomischen Anreiz, sich selbst am ökologischen Umbau des Kraftwerksparks zu beteiligen, aber zusätzliche Mittel, um mittelständischen Newcomern den Marktzutritt zu erschweren. Drittens würden auch der Abbau marktbeherrschender Stellungen und die Förderung von Wettbewerbsintensität auf dem Strommarkt durch größere Anbietervielfalt erschwert. Dies ist nicht zuletzt auch eine Frage der realen Durchsetzbarkeit des Primats der Politik und demokratischer Beschlüsse – notfalls auch gegen machtvolle ökonomische Sparteninteressen. Durch die immer wieder genährte Hoffnung auf eine Renaissance der Kernenergie werden viertens Forschungsmittel zu Lasten risikoärmerer Technologien gebunden, obwohl für diese die Exportchancen vor allem in die Entwicklungsländer um ein Vielfaches höher sind. Und schließlich ist die Kernenergie nur dort wirtschaftlich, wo es die jeweiligen politischen Rahmenbedingungen erlauben, nicht streng nach dem Verursacherprinzip vorzugehen. Die indirekte bzw. implizite staatliche Begünstigung der Kernenergienutzung ist in allen Ländern, wo sie praktiziert wird, extrem hoch. Allein das Einkalkulieren von Kosten einer entgrenzten Haftpflicht

über die heute geltenden Deckungssummen hinaus bis hin zur Abdeckung eines möglichen GAUs würde jeden Kernkraftwerksbetrieb unwirtschaftlich machen.

### Szenariengestützte Diskurse

Die für den Energiegipfel vereinbarten Arbeitsschwerpunkte und Arbeitsgruppen machen Sinn. Ob sie allerdings zu einem längerfristig stabilen **gesellschaftlichen** Konsens über eine Energiepolitik beitragen, ist fraglich. Auch die theoretisch glänzenden Wachstumsaussichten für die Technologien und Akteure einer Energiewende (gestützt auf REN, REG und KWKK) dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass ein Konsens über eine derartige Nachhaltigkeitsstrategie noch in weiter Ferne liegt.

Gegenwärtig stellt sich bei nüchterner Betrachtung die Situation eher so dar: Die von der wissenschaftlichen Politikberatung entwickelten Zukunftsszenarien, wie sie oben dargestellt wurden, sind für die Schlüsselakteure im Energiesektor im besten Fall interessante Gedankenexperimente. Für die reale Kraftwerksplanung spielen sie noch kaum eine Rolle. Zwischen szenariengestützten Leitbildern, wie sie sich auch Teile der Politik zu Eigen machen, und den Investitionsplanungen der großen Energiekonzerne tut sich, so unsere Schlussfolgerung, eine immer größer werdende Kluft auf. Wunsch und Unternehmenswirklichkeit klaffen immer stärker auseinander. Da die Wirtschaft das Primat der Politik aber prinzipiell akzeptiert und auf verlässliche Rahmenbedingungen angewiesen ist, ist diese Kluft in hohem Maße schädlich. Hier wird daher der Vorschlag gemacht, die im Energiegipfel angelegte Top-down-Expertendiskussion nicht nur in einem systemanalytischen Rahmen und in Szenarien auf ihre Konsistenz zu überprüfen, sondern darüber hinaus ihre Inhalte für die Zivilgesellschaft – auch in quantifizierter Form – verfügbar und diskutierbar zu machen.

Die Entwicklung eines nachhaltigen Energiesystems in Deutschland steht daher vor **vier grundlegenden Herausforderungen**:

- Die größte Herausforderung ist eine **konsensuale Operationalisierung** der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimensionen einer nachhaltigen Energiepolitik sowie deren Übersetzung in **quantifizierte Leitziele 2010/2020/2030** („gesellschaftlicher Zielfindungsprozess“).
- Eine zweite Herausforderung besteht darin, eine ressortübergreifende und langfristige **Nachhaltigkeitsstrategie über Wahlzyklen hinaus politik- und dialogfähig** zu machen („Das Primat der Politik (re-)etablieren“).
- Eine dritte Herausforderung ist, die **Rahmenbedingungen für die Wirtschaft** so zu setzen, dass die Selbststeuerung durch Profit und Wettbewerb möglichst weitgehend in Übereinstimmung mit gesellschaftlichen Nachhaltigkeitszielen gebracht werden kann.
- Damit verbunden ist schließlich die vierte Herausforderung, die zieladäquaten und prioritären Handlungsfelder und die spezifischen Umsetzungshemmnisse zu identifizieren und **robuste sektor- und zielgruppenspezifische Anreizstrukturen** zu entwickeln. Ein funktionsfähiger Wettbewerb sowie mehr Investitions- und Planungssicherheit erfordern langfristig verlässliche Leitplanken und setzen – gerade für ein nachhaltiges Energiesystem – einen klugen Mix aus Regulierung und Markt voraus.

Sinnvoll wäre daher, diese offenen Fragen in **szenariengestützten gesellschaftlichen Dialogprozessen** zu klären; dabei könnte es sich um ergebnisorientierte und zeitlich befristete Mediationsprozesse mit Repräsentanten gesellschaftlich relevanter Gruppen handeln, die durch einen **wissenschaftlichen Stab** (z.B. angesiedelt beim „Rat für Nachhaltige Entwicklung“) professionell unterstützt werden. Diese zielorientierten Gruppendialoge dienen der Konsens- und Konzeptfindung, die in Handlungsempfehlungen für das Parlament und die Fachressorts einmünden könnten. Angesichts vergangener Misserfolge von Dialogprozessen ist dies sicherlich ein hoch ambitionierter Vorschlag. Aber es wäre der Mühe wert, ihn auszuprobieren: Denn die Chancen würden dadurch wachsen, die eingangs beschriebenen Widersprüche schneller aufzulösen und einen nachhaltigen Innovations- und Wachstumsschub im Energiesektor in Gang zu setzen.

Unsere Schlussfolgerungen wollen wir in sechs Thesen zusammenfassen:

1. Nur mit schnellerer Steigerung der *Nutzungs- und Umwandlungseffizienz* sind der Kernenergieausstieg und ausreichender Klimaschutz zu verwirklichen.
2. Nicht ein Mangel an Potenzialen oder technische Restriktionen, sondern *strukturelle Rahmenbedingungen* hemmen den Ausbau von EE und KWK.

3. Für eine zukunftsfähige Struktur (Mischung aus „zentral/dezentral“ und „Effizienz/KWK/EE“) der Stromversorgung sind *jetzt die Weichen* zu stellen.
4. Ein sachgerechter Vergleich von Stromerzeugungstechniken und -kosten muss die *Kosten für den Klimaschutz* einbeziehen.
5. Ein aktiver Hemmnisabbau im Zusammenhang mit Energieeffizienz ist notwendig, denn Stromsparen (bei gleicher Energiedienstleistung) ist für den Verbraucher günstiger als Stromeinkauf.
6. Strategische Stromsparinitiativen und neue Rahmenbedingungen für einen Wettbewerb um Elektrizitätsdienstleistungen (DSM, Contracting) sind notwendig.

## Literatur

Deutscher Bundestag [Hrsg.] (2002): Enquête-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“. Endbericht, Zur Sache 6/2002. Berlin.

DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung) und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Studie im Auftrag des BMU. Stuttgart/Heidelberg/Wuppertal.

Ecofys (2004): Ranking Power. Scorecards Electricity Companies. Brussels (WWF European Policy Office).

Fischedick, M. et al. (2004): Ökologische Einordnung und strukturell-ökonomischer Vergleich regenerativer Energietechnologien mit anderen Optionen zum Klimaschutz, speziell der Rückhaltung und Speicherung von Kohlendioxid bei der Nutzung fossiler Primärenergien. Forschungsvorhaben des BMU. I. Zwischenbericht. Wuppertal (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie), Stuttgart (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung), Potsdam (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung).

Hennicke, P. und M. Müller (2005): Weltmacht Energie. Herausforderung für Demokratie und Wohlstand. Stuttgart: Hirzel Verlag.

Irrek, W. und S. Thomas (2006): Der EnergieSparFonds. Düsseldorf (Edition der Hans-Böckler-Stiftung; Nr. 169), im Erscheinen.

Jochem, E. [Hrsg.] (2004): Energieperspektiven und CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenziale in der Schweiz bis 2010. Energieeffizienz sowie Substitution durch Erdgas und erneuerbare Energien. Zürich.

Thomas, S. (2006): Aktivitäten der Energiewirtschaft zur Förderung der Energieeffizienz auf der Nachfrageseite in liberalisierten Strom- und Gasmärkten europäischer Staaten. Kriteriengestützter Vergleich der politischen Rahmenbedingungen. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.), vorgelegt dem Fachbereich Politik- und Sozialwissenschaften der FU Berlin, Otto-Suhr-Institut für Politikwissenschaften.

Thomas, S. et al. (2006): Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen. Endbericht im Auftrag der E.ON AG. Wuppertal (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie).

## Die Perspektiven der erneuerbaren Energien bis 2050 – in Deutschland, Europa, global

Dr. Joachim Nitsch

DLR-Institut für Technische Thermodynamik, Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung

### Ausgangssituation

Zieht man eine Bilanz, welche Fortschritte die globale Energieversorgung im letzten Jahrzehnt in Richtung einer nachhaltigeren Entwicklung gemacht hat, so fällt diese eher ernüchternd aus. Nach wie vor sind wesentliche Nachhaltigkeitsdefizite der Energieversorgung unübersehbar:

- die durch sie mit ausgelöste *globale Klimaerwärmung*,
- die drohende *Verknappung und Verteuerung der Reserven von Erdöl und Erdgas*,
- das extrem starke *Gefälle des Energieverbrauchs zwischen Industrie- und Entwicklungsländern*,
- die weiterhin bestehende und tendenziell wachsende *nukleare Gefährdung*.

Die Defizite haben sich in den letzten zehn Jahren eher vergrößert als verringert. Die sich derzeit andeutenden Versorgungsengpässe und Verknappungstendenzen von Öl und Erdgas sowie die stetig steigenden Ölpreise sind eindeutige Indizien in dieser Hinsicht. Die große Mehrheit der Energieszenarios, die in sich schlüssige mögliche Zukunftsentwicklungen des globalen Energiesystems beschreiben, zeigt, dass nur ein wesentlich effizienterer Umgang mit Energie, verknüpft mit einem massiven Ausbau erneuerbarer Energien (EE), einen umfassenden Lösungsbeitrag zu obigen Problemen leisten kann, ohne neue, nicht bewältigbare Probleme aufzuwerfen.

Für Deutschland liegen seit den Arbeiten der Enquête-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ (Enquete 2002) aktuelle Empfehlungen vor, wie ein solcher Weg beispielhaft in einem Industrieland beschritten werden kann. Jüngere für das BMU durchgeführte Untersuchungen bekräftigen diese Empfehlungen (BMU 2004; BMU 2005)<sup>1</sup>. Die Studien kommen zu dem Ergebnis, dass dieses aus ökologischer Sicht anzustrebende Ziel nicht nur technologisch erreicht werden kann, sondern der Weg dorthin mittelfristig auch ökonomisch vorteilhafter ist und eine stabilere Versorgungssicherheit gewährleisten kann als ein unflexibles Festhalten an heutigen Erzeugungsstrukturen, Technologien, Energieträgern und Verbrauchsgewohnheiten. Insbesondere können aus der breiten Anwendung einer großen Zahl neuer, überwiegend dezentraler, effizienter Energietechnologien enorme Impulse für neue Wirtschaftsfelder und Arbeitsplätze entstehen.

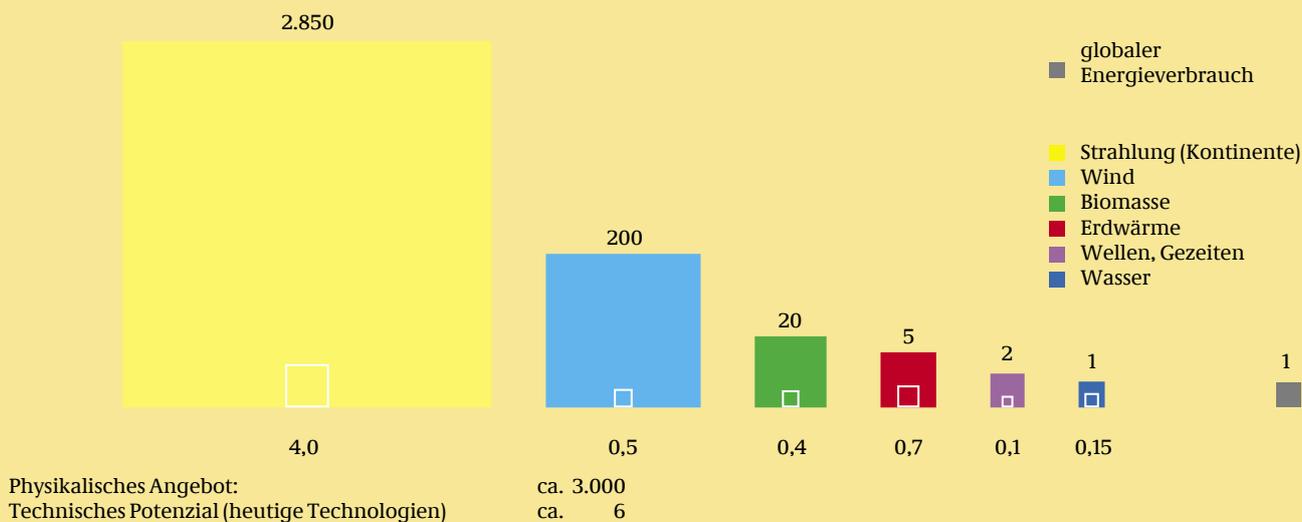
### Erneuerbare Energien – Garanten für eine zukunftsfähige Energieversorgung

Eine Schlüsselrolle kommt dabei dem weiteren Ausbau der EE zu. So wird in zahlreichen Szenarios auf globaler Ebene erwartet, dass sie bis 2050 Energiemengen in der Größe des gesamten derzeitigen Weltenergieverbrauchs bereitstellen können. Die gesicherten technischen Potenziale der EE reichen zur Deckung dieser Nachfrage prinzipiell aus. Heute, nach rund 30-jähriger Forschung, Entwicklung und mehrjähriger Markteinführung, stehen zahlreiche ausgereifte Technologien zur Verfügung, weitere sind einsatzreif, wieder andere besitzen noch beträchtliche Potenziale in technischer und ökonomischer Hinsicht.

Ein außerordentlich großes Angebot an unerschöpflichen natürlichen Energieströmen ermöglicht es, prinzipiell ein Vielfaches unseres Energiebedarfs ohne Rückgriff auf endliche Energieressourcen zu decken. Zur Verfügung stehen die auf die Kontinente eingestrahlte Solarenergie, die kinetische Energie des Windes, der Meereswellen und der Meeresströmungen, die jährlich nachwachsende Biomasse, die potenzielle Energie des Wassers, die geothermische Energie und die Wärmeenergie der Meere. Diese Energieströme entsprechen etwa dem Dreitausendfachen des derzeitigen jährlichen Weltenergieverbrauchs. Aus diesem physikalischen Potenzial erneuerbarer Energien (Abb. 1; große Würfel im Hintergrund) abgeleitete technische Nutzungspotenziale, welche die notwendigen Energieerträge in einer für den Endverbraucher nutzbaren Form – also als Nutzwärme verschiedener Temperatur, Elektrizität und Brenn- oder Treibstoffe, z.B. Wasserstoff – bereitstellen, liegen selbst bei strengen technischen und strukturellen Restriktionen in der Größenordnung des Sechsfachen des derzeitigen weltweiten Verbrauchs an Endenergie (kleine Würfel im Vordergrund). Etwa 65 Prozent davon stellt die Strahlungsenergie der Sonne. Dieser Anhaltswert verlangt die Nutzung nur weniger Promille (Strahlung, Wind) bis maximal Prozente (Wasserkraft) der natürlichen Energieströme. Derzeit decken erneuerbare Energien knapp fünf Prozent des Weltenergieverbrauchs, wenn man die ökologisch problematische traditionelle Brennholznutzung in weniger entwickelten Ländern (rund neun Prozent des globalen Energieverbrauchs) außer Acht lässt. Beim globalen Stromverbrauch stammen zurzeit 19 Prozent aus erneuerbaren Energien, mehr als aus der Kernenergie. Ohne ihre derzeitige Hauptstütze, die Wasserkraft, sind es allerdings lediglich zwei Prozent.

<sup>1</sup> Siehe auch „Energieversorgung für Deutschland – Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006“. Berlin, März 2006, S.17ff.

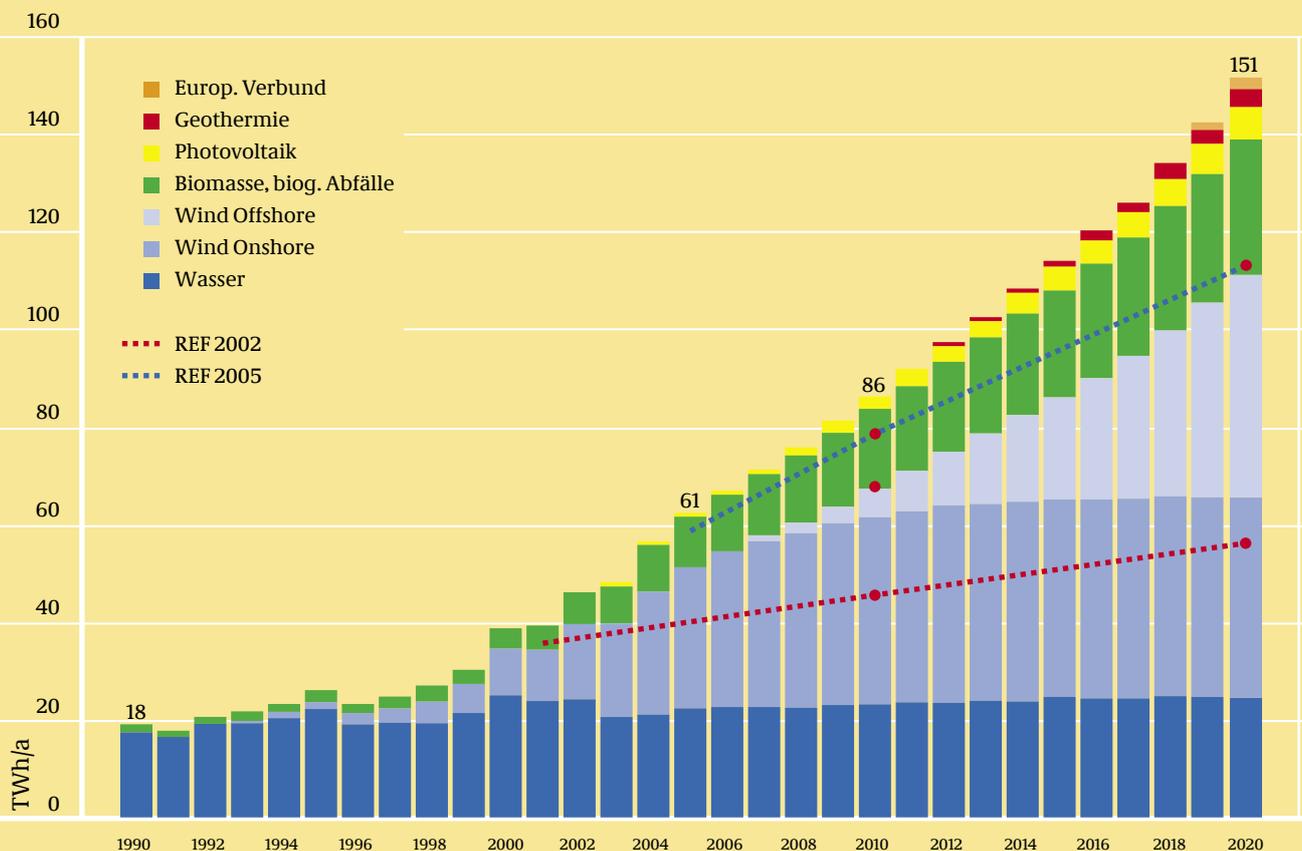
Abbildung 1: Angebot natürlicher Energieströme und technisches Potenzial



**Ausbauperspektiven in Deutschland**

Die Ausgangsbedingungen für den verstärkten Ausbau der EE in Deutschland sind günstig. Erstens, weil mittlerweile zahlreiche positive Erfahrungen, z.B. mit dem sehr dynamischen Ausbau der Windenergie, der Fotovoltaik und der Biomasse, gesammelt werden konnten. Aufgrund dessen halbierten sich die Kosten in den letzten zehn Jahren bei gleichzeitig deutlicher technischer Weiterentwicklung der Anlagen und einer weitgehend reibungslosen Verknüpfung mit den bestehen

Abbildung 2: Regenerative Stromerzeugung bis 2020 in Deutschland



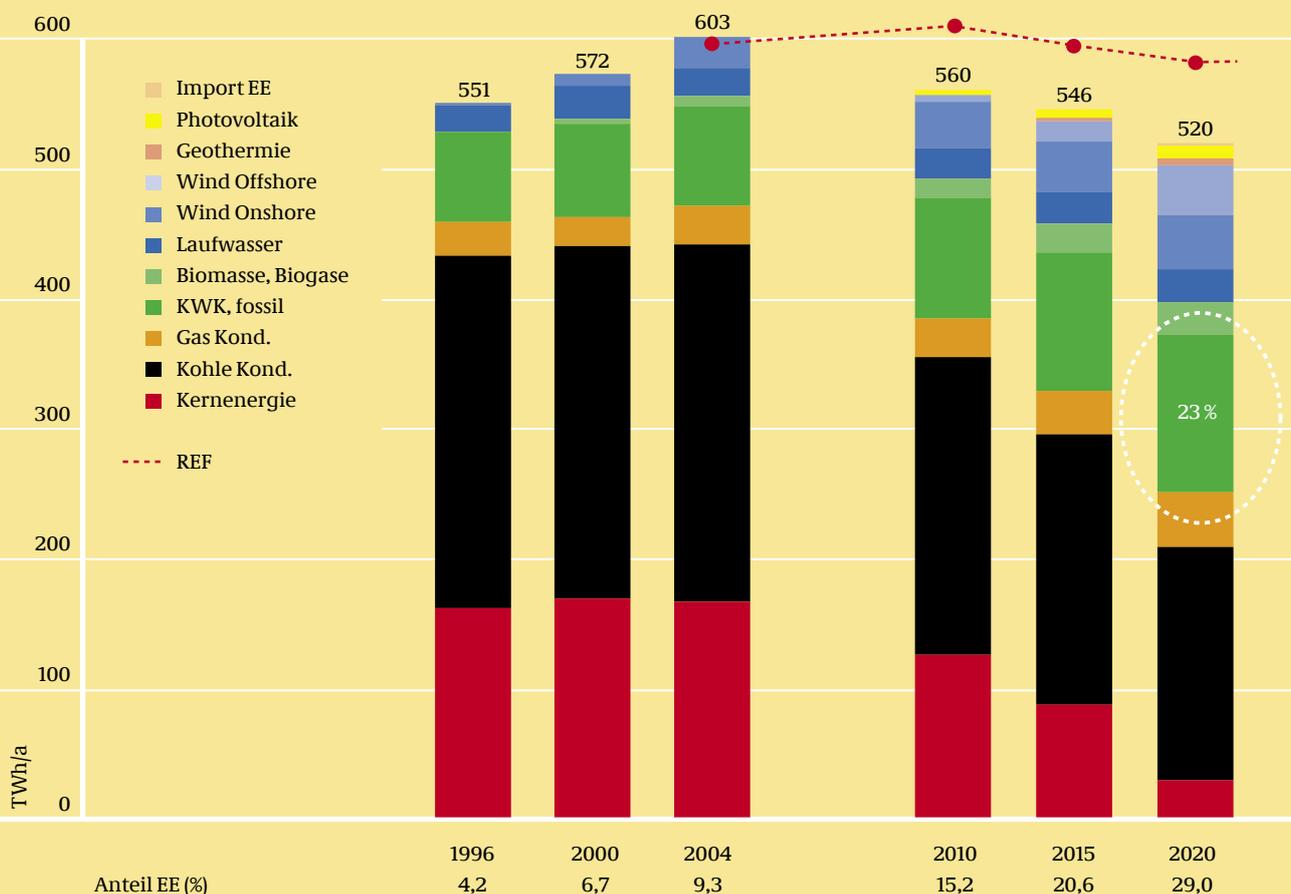
Kraftwerksstrukturen. Deutsche Unternehmen konnten sich auf diese Weise auch erfolgreich im wachsenden Weltmarkt für diese Technologien etablieren. Zweitens, weil im deutschen und europäischen Kraftwerkspark ein beträchtlicher Ersatz- und Erneuerungsbedarf besteht. Hieraus ergibt sich die einmalige Chance, den Kraftwerkspark im Sinne einer nachhaltigen Strombereitstellung umzustrukturieren. Drittens besteht auch im Gebäudebereich ein enormer Nachholbedarf bei der energetischen Sanierung von Altbauten, der gleichzeitig zum verstärkten Einsatz von EE genutzt werden kann. Diese Gelegenheiten dürfen nicht vertan werden, andernfalls würden die bestehenden Strukturen für viele Jahrzehnte weiter festgeschrieben.

Die Abbildungen 2 bis 4 zeigen die Einbettung von EE in die zukünftige Stromversorgung Deutschlands. Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, deren Anteil an der Stromerzeugung bis 2020 auf mindestens 20 Prozent zu steigern. Derzeit (Ende 2005) beläuft sich der Anteil der EE am Bruttostromverbrauch bereits auf mehr als zehn Prozent. Damit leistet das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bereits jetzt einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgungssicherheit Deutschlands. Die entstandene Marktdynamik lässt erwarten, dass das gesetzte 20-Prozent-Ziel des Jahres 2020 übertroffen wird. Bleibt das jetzige oder ein modifiziertes EEG über einen längeren Zeitraum erhalten, so dürfte die in 2020 erzielbare Stromproduktion bei ca. 150 TWh/a liegen (Abb. 2).

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass sich so genannte Referenzentwicklungen, die im Allgemeinen die wahrscheinliche Entwicklung unter derzeit geltenden Rahmenbedingungen abbilden, dem angestrebten Zubau immer weiter nähern. So war die von der Enquête-Kommission im Jahr 2002 vermutete Referenzentwicklung wesentlich pessimistischer im Hinblick auf den Ausbau der EE als die aktuelle Referenzentwicklung des Energiereports IV (EWI/Prognos 2005). Während der Ausbauwert 2020 der zuerst genannten Referenz bereits im Jahr 2005 überschritten wurde, unterscheidet sich letztere bis 2010 kaum vom zielorientierten Ausbau und liegt im Jahr 2020 etwa beim doppelten Wert (115 TWh/a) der alten Referenz (Abb. 2). Damit wird indirekt festgestellt, dass das politische Ausbauziel erneuerbarer Energien im Strombereich für 2020 eine sehr realistische Perspektive darstellt.

Abbildung 3: Anzustrebende Strukturveränderungen der Stromerzeugung bis 2020

Szenario NATPLUS 2006



Bezogen auf einen etwa konstanten Bruttostromverbrauch würden EE dann gut 25 Prozent decken. Zusätzlich dringend erforderlich sind aber Einsparserfolge mittels einer effizienteren Stromnutzung. Bei einer möglichen Reduktion um ca. zehn Prozent bis 2020 gegenüber dem Referenzverbrauch (rund 50 TWh/a) läge der Anteil der EE dann nahe bei 30 Prozent (Abb. 3). Mit einer insgesamt installierten Leistung von rund 56 GW<sub>el</sub> im Jahr 2020 wären EE zu diesem Zeitpunkt ein gleichberechtigter und unverzichtbarer Faktor im Stromsektor. Erst dann ließe sich mit einer gewissen Berechtigung von einem „ausgewogenen“ Energiemix sprechen. Bei sichtbaren Erfolgen bei der Verringerung des Stromverbrauchs lassen sich auch die Klimaschutzziele leichter erreichen. Dazu gehört aber auch ein wesentlich stärkerer Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Im hier zugrunde liegenden Ausbauszenario (vgl. BMU 2004) beläuft sich ihr Anteil im Jahr 2020 auf 23 Prozent der gesamten Stromerzeugung. Dieser Ausbau wird zwar seit langem in energiepolitischen Programmen gefordert und durch ein KWK-Gesetz unterstützt, kommt aber unter den derzeit geltenden Strommarktbedingungen nicht ausreichend voran. Unter anderem liegt es daher auch in der Verantwortung der großen Stromversorger, beim anstehenden Neubau fossiler Kraftwerke KWK-Anlagen ausreichend zu berücksichtigen. Von insgesamt 42 GW<sub>el</sub> bis 2020 zu installierender fossiler Kraftwerksleistung (Tab. 1) sollten entsprechend den Vorschlägen (ebd.) rund 24 GW<sub>el</sub> in Kraft-Wärme-Kopplung, insbesondere in dezentralen Anlagen, errichtet werden.

Tabelle 1: Kraftwerksneubauten 2001 bis 2020

Basis: Alterstruktur 2000, Szenario Naturschutzplus (neu), Abbau Kernenergie

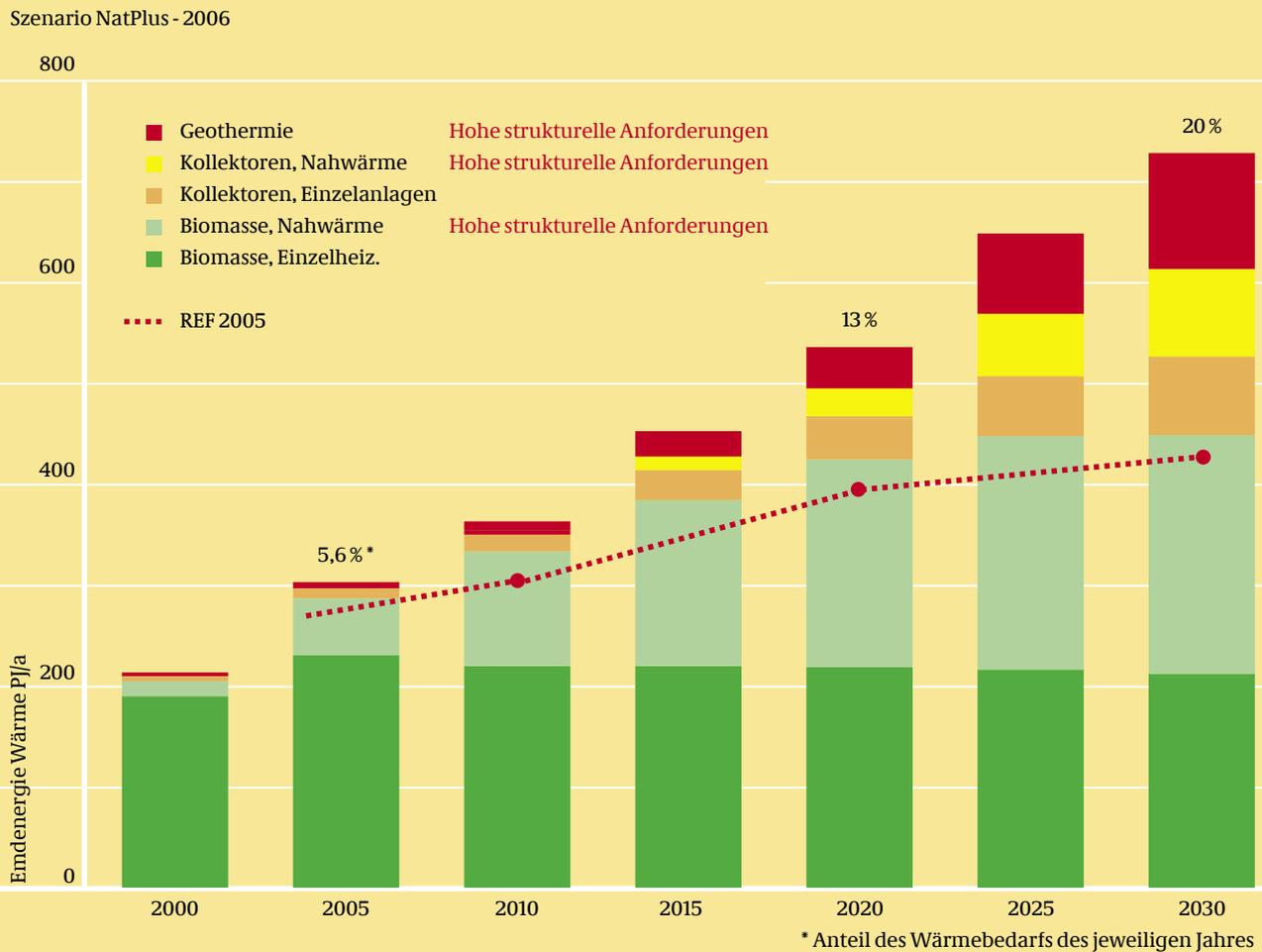
Bruttoleistung (GW)	Kohlen, Müll	Erdgas, Öl	EE	Gesamt
Kondensations-Kraftwerke	8,0	10,3		18,3
öffentliche Heizkraftwerke	6,9	3,3		10,2
industrielle Heizkraftwerke (>10 MW)	3,3	3,5		6,8
dezentrale Block-Heizkraftwerke		7,0	4,7	11,7
Summe thermische Kraftwerke	18,2	24,1	4,7	47,0
Windenergie			36,8	
übrige erneuerbare Energien			9,8	
gesamte Leistung	18,2	24,1	51,3	93,6
davon fossil				42,3
Stromerzeugung 2020 (TWh/a)	221,0	116,0	152,0	520,0*
Stromerzeugung 2000 (TWh/a)	310,0	55,0	37,0	572,0*
Differenz 2020 - 2000* (TWh/a)	-89,0	+51,0	+115,0	

\* - 139 TWh/a Kernenergie, 52 TWh/a Minderverbrauch gegenüber 2000

Im Bereich der Wärmebereitstellung ist der Nachholbedarf für erneuerbare Energien bedeutend größer als im Strombereich, die derzeitige Wachstumsgeschwindigkeit aber geringer. In diesem für einen erfolgreichen Klimaschutz sehr wesentlichen Bereich fehlt noch eine dem EEG vergleichbare Unterstützung erneuerbarer Energien. Vorschläge, wie ein entsprechendes Instrument aussehen könnte, sind erarbeitet worden und werden derzeit diskutiert. Käme ein wirksames Instrument in absehbarer Zeit, so werden EE-Beiträge bis 2020 von 13 Prozent (2005: 5,4 Prozent) und bis 2030 von 20 Prozent für möglich gehalten (Abb. 4). Im Vergleich zur aktuellen Referenzentwicklung 2005 (vgl. EWI/Prognos 2005) ist hier eine wesentlich größere Diskrepanz festzustellen als im Strombereich, was auf den dringenden energiepolitischen Handlungsbedarf hinweist. Um auch im Wärmebereich einen optimalen Ausbau erneuerbarer Energien zu erreichen, sind allerdings zusätzlich wesentliche Erfolge im Bereich der Wärmedämmung und bei der Wärmeversorgung mit Nahwärmenetzen in Verknüpfung mit einem deutlich stärkeren Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung erforderlich.

Beim Kraftstoff hat die Bundesregierung das EU-Ziel eines Anteils von 5,75 Prozent erneuerbarer Energien für das Jahr 2010 übernommen und ist mit einem Anteil von derzeit 3,4 Prozent ebenfalls auf gutem Wege. Die Steuerbefreiung hat sich hier als sehr wirksames Instrument herausgestellt. Wegen der zwischenzeitlich deutlich gestiegenen Preise für Benzin und Diesel wird eine Modifizierung der Förderbedingungen (Beimischungspflicht, Teilbesteuerung) vorgeschlagen. Zu bedenken ist aber auch, dass die noch möglichen Effizienzpotenziale im Verkehrsbereich ungleich höher sind als im Stromsektor und eine optimale Strategie darin besteht, diese zeitgleich mit einer Ausweitung von Biokraftstoffen zu mobilisieren. Andernfalls blieben aus Gründen der verfügbaren Potenziale die möglichen Anteile von Biokraftstoffen am Gesamtverbrauch begrenzt. Deshalb wird in den bisher vorliegenden Untersuchungen (vgl. BMU 2004) der Beitrag von Biokraftstoffen in der Höhe des EU-Ziels erst für das Jahr 2020 gesehen (Abb. 5). Auch das Referenzszenario geht in etwa von einer derartigen Entwicklung aus.

Abbildung 4: Wachstumsvorstellungen der Szenarien im regenerativen Wärmemarkt



In der Gesamtbilanz decken erneuerbare Energien stetig und deutlich wachsende Anteile des Primärenergieverbrauchs in Deutschland. Von zwei Prozent im Jahr 1995 (290 PJ/a) stieg ihr Beitrag innerhalb eines Jahrzehnts auf 4,6 Prozent (653 PJ/a in 2005; Wirkungsgradmethode). Bezogen auf den Primärenergieverbrauch des Jahres 2005 ist bei Eintreffen der o.g. Wachstumsdynamik in den einzelnen Segmenten ein Anteil von 6,4 Prozent im Jahr 2010 und von 10,3 Prozent im Jahr 2020 erreichbar (Abb. 6). Gelingt parallel die dringend anzustrebende Verminderung des gesamten Primärenergieeinsatzes, so erhöhen sich diese Anteile auf sieben Prozent (2010) und 12,7 Prozent (2020). Das angestrebte Zwischenziel eines mindestens zehnpromzentigen Beitrags erneuerbarer Energien zur Energieversorgung des Jahres 2020 wäre somit erreicht. Die Referenzentwicklung (EWI/Prognos 2005) sieht für 2020 allerdings nur einen Beitrag von knapp sieben Prozent, was insbesondere auf die dort deutlich geringere Wachstumsdynamik im Wärmesektor zurückzuführen ist. In der Differenz dieser Anteile wird der noch erforderliche energiepolitische Handlungsbedarf sichtbar.

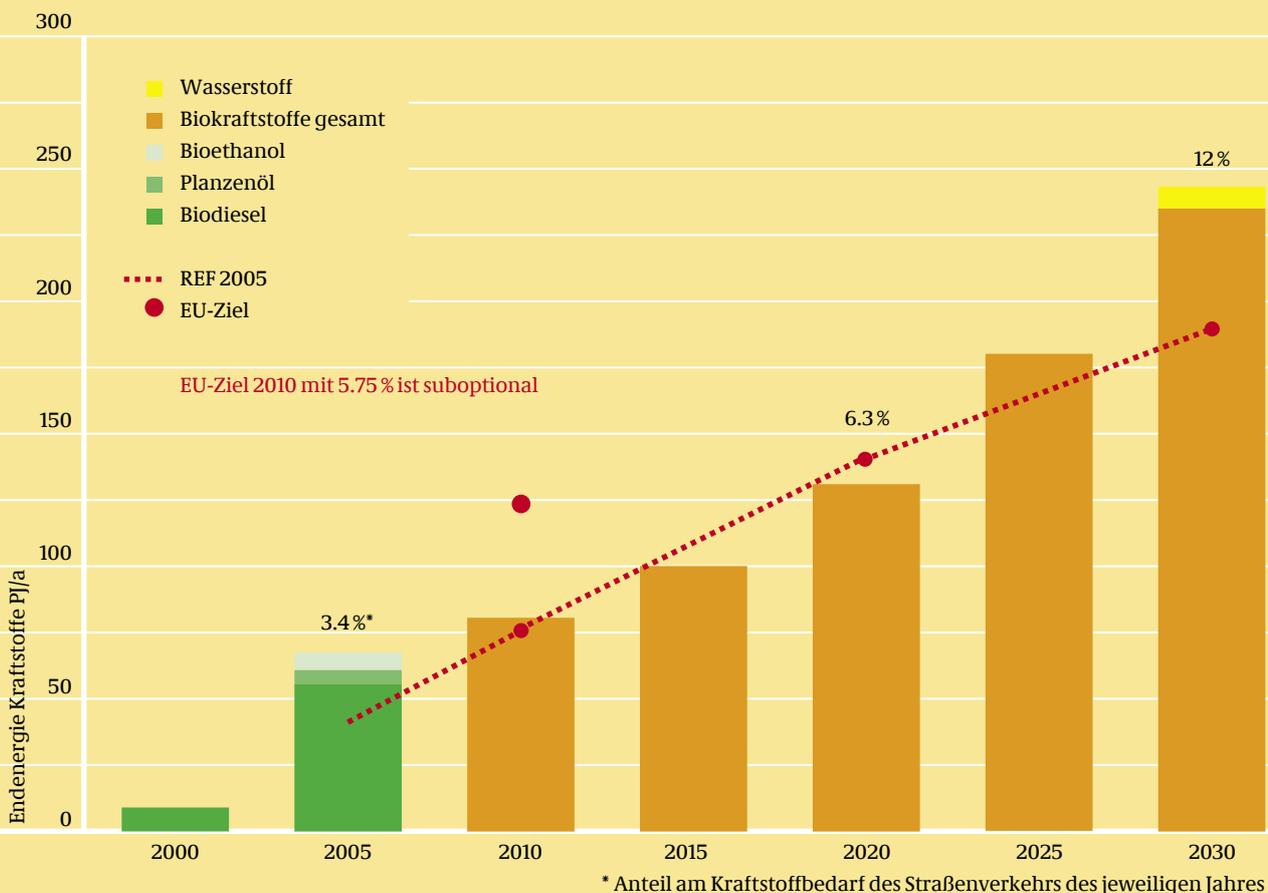
Als Fazit kann für Deutschland festgehalten werden: Derzeit entwickeln sich die Segmente „EE-Strom“ und „EE-Kraftstoffe“ in ausreichender Dynamik, das Segment „EE-Wärme“ muss schnellstmöglich nachziehen, damit das Ausbauziel für den gesamten Primärenergiebeitrag für 2020 erreicht werden kann. Bei den parallel erforderlichen Teilstrategien „Effizienzsteigerung (EFF)“ und „Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)“ sind noch große Defizite vorhanden; ohne deren Beiträge in ähnlicher Größenordnung sind aber eine umfassende Ressourcenschonung und ein wirksamer Klimaschutz innerhalb der nächsten Dekaden nicht möglich (Abb. 7). Auch ein volkswirtschaftlich optimaler Einsatz der EE erfordert die Mobilisierung dieser Effizienzpotenziale.

### Volkswirtschaftliche Bedeutung des Ausbaus erneuerbarer Energien

Der Zubau erneuerbarer Energien verlangt gegenüber den derzeitigen anlegbaren Kosten der konventionellen Energiebereitstellung auf absehbare Zeit noch zusätzliche Kostenaufwendungen. Mittelfristig ist jedoch erkennbar, dass EE (in einer zweckmäßigen Verknüpfung mit einer Effizienzstrategie) die volkswirtschaftlich vorteilhafteste Lösung des Energieversorgungsproblems sind. Sie stellen die einzigen Energietechnologien dar, deren Kosten im Wesentlichen durch stetige technische Weiterentwicklung (zu deren Mobilisierung anfangs natürlich auch ausreichendes Kapital erforderlich ist)

Abbildung 5: Wachstumsdynamiken bei Biokraftstoffen und Vorstellung der Szenarien

Szenario NatPlus - 2006

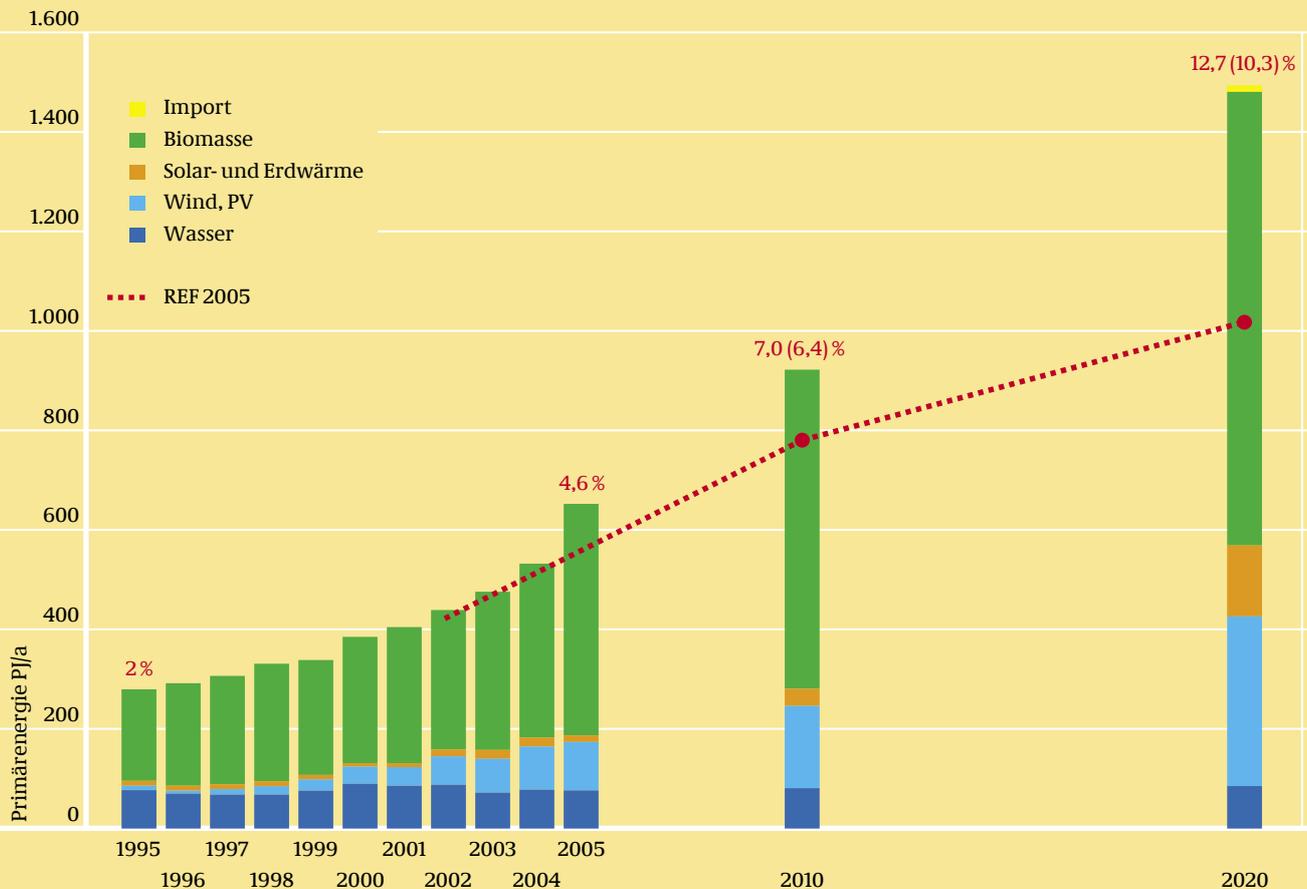


sowie durch Modernisierung und Ausweitung der Anlagenfertigung gesenkt werden können. Sie werden damit kalkulierbar und bleiben auf Dauer erschwinglich; verknappungsbedingte Kostensteigerungen treten nicht auf. Die zukünftigen Kosten konventioneller, auf der Beschaffung von Energieressourcen und nur zum geringeren Teil auf Anlagentechnologie basierender Energietechnologien sind dagegen prinzipiell nach oben „offen“ (Abb. 8) und auf Dauer nicht kalkulierbar. Zudem verursachen sie durch die Freisetzung von Luftschadstoffen, insbesondere von Kohlendioxid, „externe“ Schadenskosten, die erst zu einem sehr geringen Teil in die Kalkulation von Energiepreisen eingehen. Eine aktuelle Analyse (DLR/ISE 2006) zeigt, dass es realistisch ist, mittlere Schadenskosten durch CO<sub>2</sub>-Emissionen bei mindestens 70 €/t CO<sub>2</sub> anzusetzen (Abb. 9). Damit liegen allein die externen Kosten der fossilen Stromerzeugung zwischen 3 ct/kWh<sub>el</sub> (Erdgas GuD) und 8 ct/kWh<sub>el</sub> (Braunkohle DK).

Kalkuliert man die Differenzkosten der Einführung erneuerbarer Energien trotzdem auf der Basis anlegbarer Preise für Strom, Nutzwärme und Kraftstoffe (Abb. 10), so zeigt sich, dass unter der Annahme eher noch zurückhaltender „realistischer“ zukünftiger Energiepreisentwicklungen (d.h. eines Rohölpreises von 60 bis 65 \$<sub>2,000</sub>/b und eines „CO<sub>2</sub>-Preises“ von 20 €/t CO<sub>2</sub> in 2025) diese Differenzkosten nicht über fünf Mrd. €/a steigen und kurz nach 2025 negative Werte annehmen. Der Einsatz erneuerbarer Energien (der entsprechend obigen Szenarios im Jahr 2020 einem Primärenergiebeitrag von knapp 20 Prozent entspricht) vermindert ab diesem Zeitpunkt die Gesamtkosten der Energiebereitstellung im Vergleich zu einer Bereitstellung ohne ihren Beitrag. Die kumulierten Vorleistungen betragen in der „realistischen“ Preisvariante für alle Sektoren im Zeitraum 2001 bis 2025 rund 80 Mrd. €, also jahresdurchschnittlich 3,2 Mrd. €. In demselben Zeitraum belaufen sich die kumulierten Investitionen in die Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien bereits auf rund 210 Mrd. €. Langfristig pendeln sich die inländischen Investitionen für den Erhalt und weiteren Ausbau der Anlagen gemäß den Ausbauszenarios je nach Intensität der Einführungsstrategie von Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien auf jährlich 18 bis 20 Mrd. € ein.

Deutschland liegt in Entwicklung, Marktwachstum und energiepolitischer Unterstützung von EE mit an der Spitze der Industrieländer. Deshalb dürften Auslandsmärkte in mindestens ähnlicher Größe bei frühzeitigem Engagement von Energiewirtschaft und einschlägiger Industrie hinzukommen. Bei der Windenergie und der Fotovoltaik ist diese Entwicklung

Abbildung 6: Mittelfristiger Wachstumstrend erneuerbarer Energien



bereits in vollem Gang, bei der Biomasse kommt sie gerade in Gang, bei den Wärmetechnologien muss sie noch herbeigeführt werden. Die Vielfalt der zu nutzenden Energiequellen, der hohe technologische Anspruch an effiziente und kostengünstige Systeme und der dezentrale Charakter von EE-Technologien lassen eine große Branchen- und Unternehmensvielfalt entstehen, die von der Großserienfertigung bis zu handwerklichen Strukturen reicht. Diese Eigenschaften in Verbindung mit einer hohen gesellschaftlichen Akzeptanz führen zu einem breit gestreuten Engagement und erleichtern auch die Kapitalbeschaffung.

Die Herstellung und der Betrieb der Anlagen zur Nutzung von EE dürften um 2030 rund 350.000 Arbeitsplätze sichern. Zudem wird die Nutzung der heimischen EE im Verbund mit einer deutlich effizienteren Energienutzung Deutschland weniger abhängig von Energieimporten machen. Diese Kombination von klimapolitischen und volkswirtschaftlichen Vorteilen verschafft einem verstärkten EE-Ausbau typische Merkmale einer „win-win“-Strategie. Dies sollte eigentlich eine stabile energiepolitische Unterstützung sichern und dauerhafte Wachstumsimpulse erzeugen. Gemessen an dem längerfristig zu erwartenden umfassenden Nutzen dieser Ausbaustrategie können die o.g. notwendigen Vorleistungen daher als eine sehr sinnvolle Investition in eine nachhaltige Energiezukunft bezeichnet werden. Energiepolitisch wesentlich ist eine weitere wirksame Unterstützung dieser Vorleistungsphase durch sehr effektive und akzeptanzfähige Instrumente, wie z.B. das EEG für den Strombereich, und darüber hinaus eine effektivere Unterstützung von Investitionen in Effizienztechnologien und Technologien der Kraft-Wärme-Kopplung.

Abbildung 7: Beiträge der Teilstrategien zur CO<sub>2</sub>-Minderung ab 2000

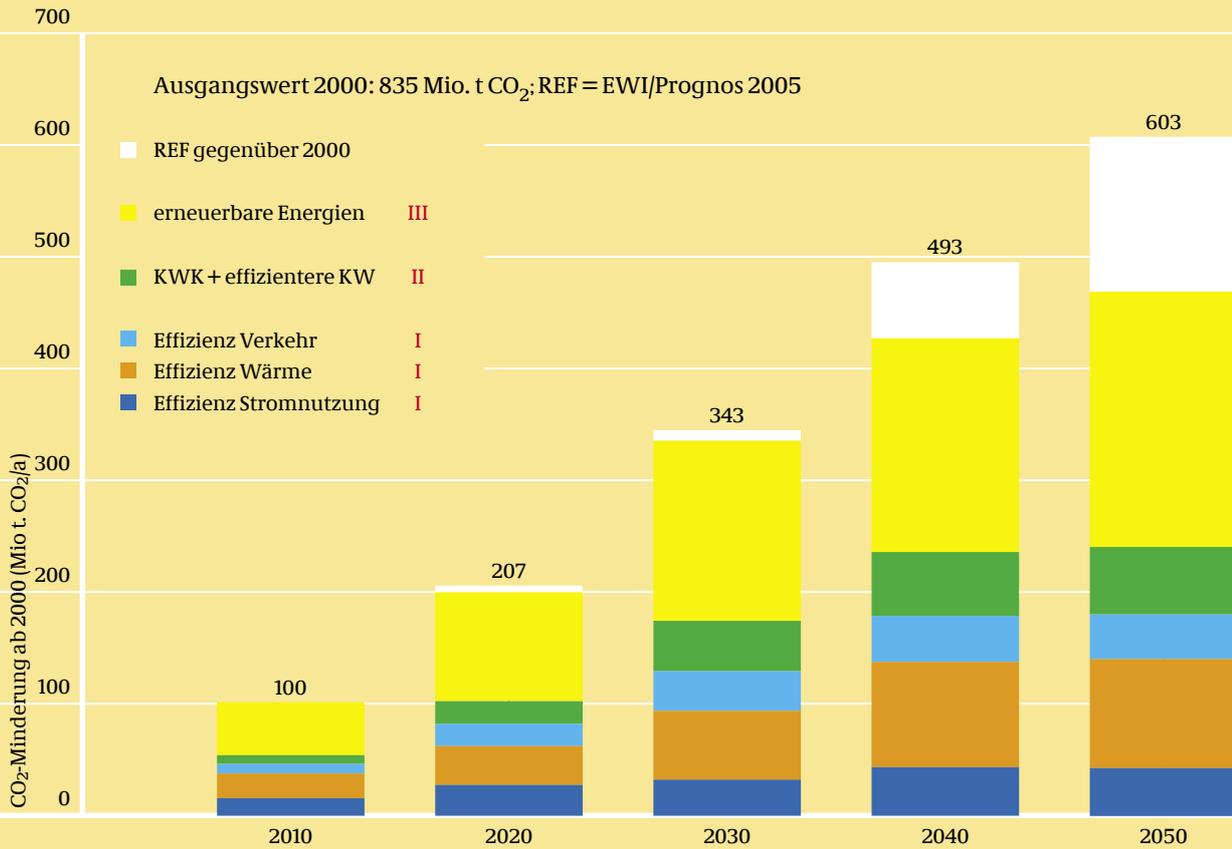


Abbildung 8: Bestimmungsfaktoren der Einführungsgeschwindigkeit von erneuerbaren Energien

Vier wesentliche Faktoren bestimmen die Einführungsgeschwindigkeit von EE  
 ... und damit den Zeitpunkt ihrer wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit

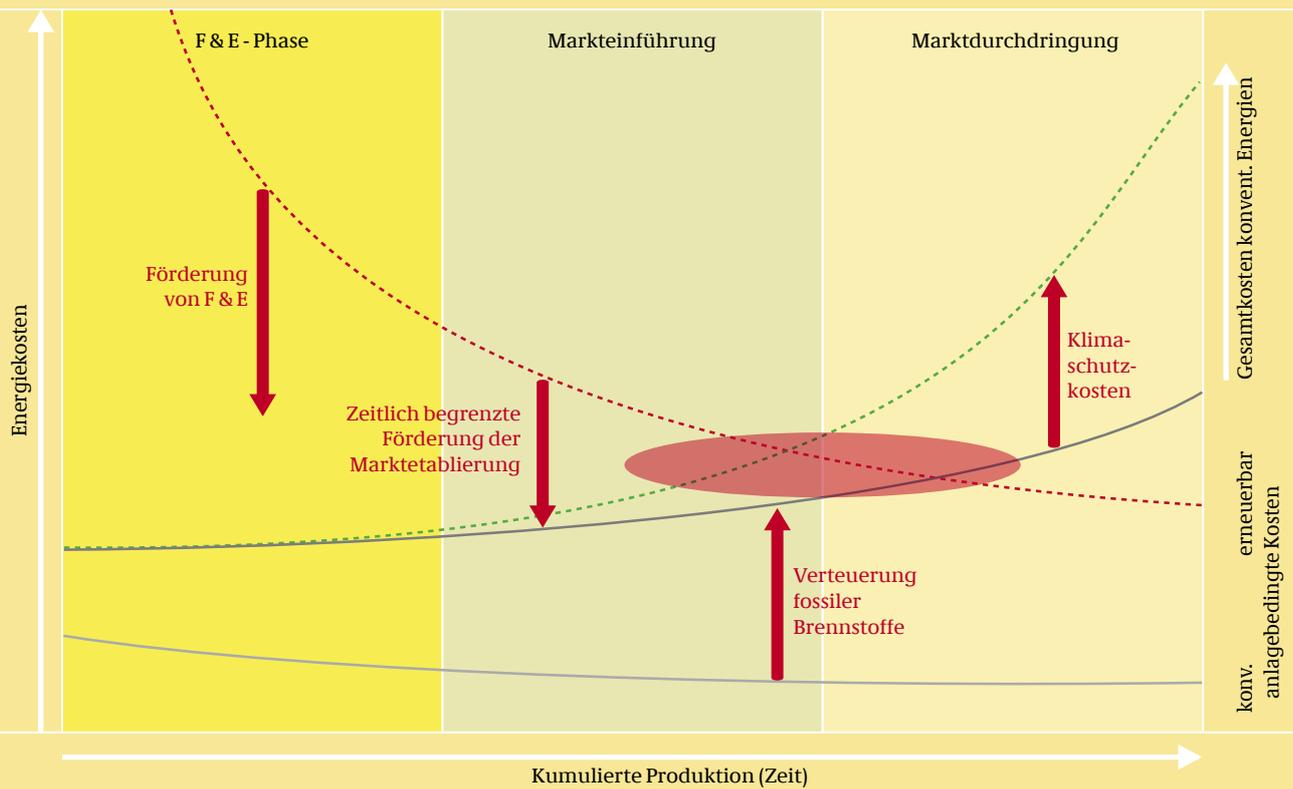
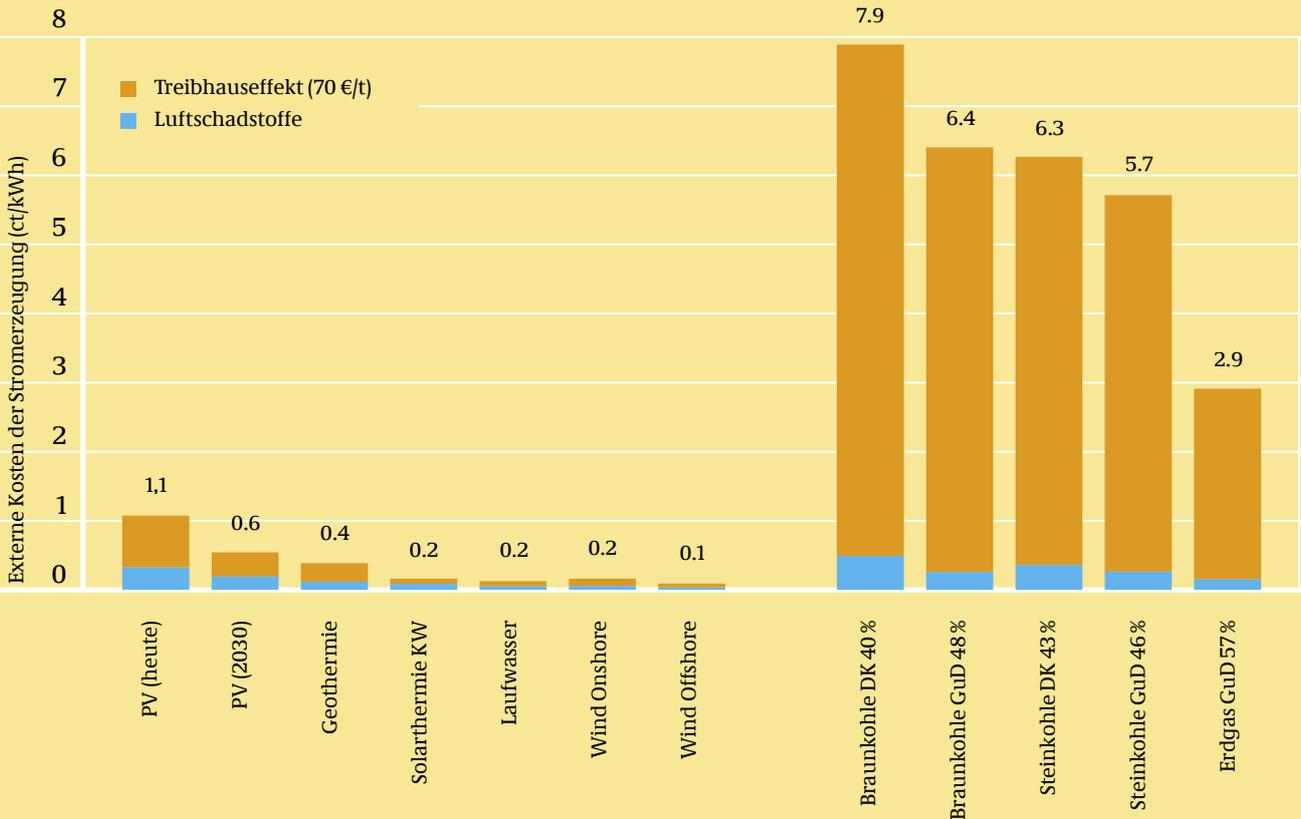


Abbildung 9: Externe Kosten fossiler und erneuerbarer Stromerzeugung

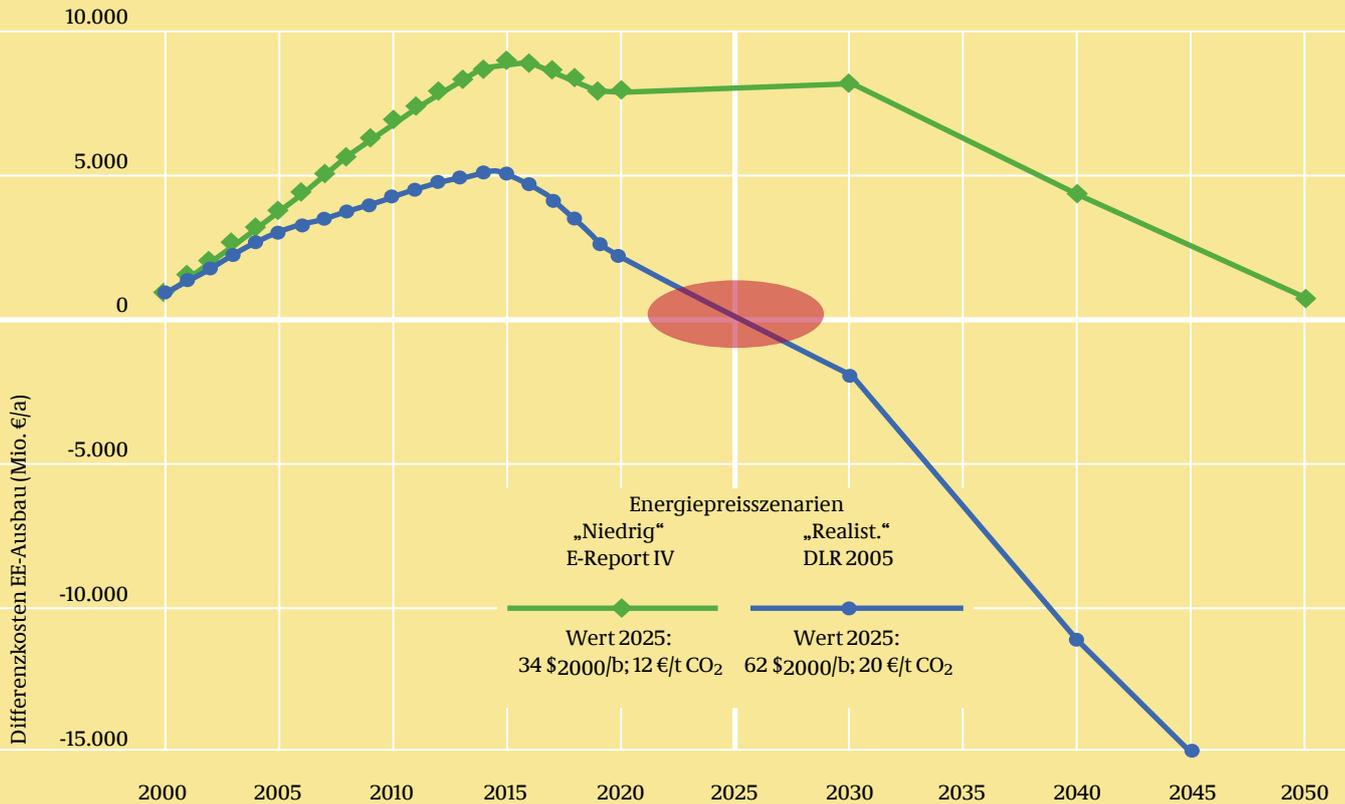
Bandbreite der Schadenskosten durch CO<sub>2</sub>-Emissionen: 15-280 €/t CO<sub>2</sub>



Quelle: DLR/ISI 2006

Abbildung 10: Energiepreisszenarien

Strom, Wärme und Kraftstoffe; Szenario NATPLUS (2005)

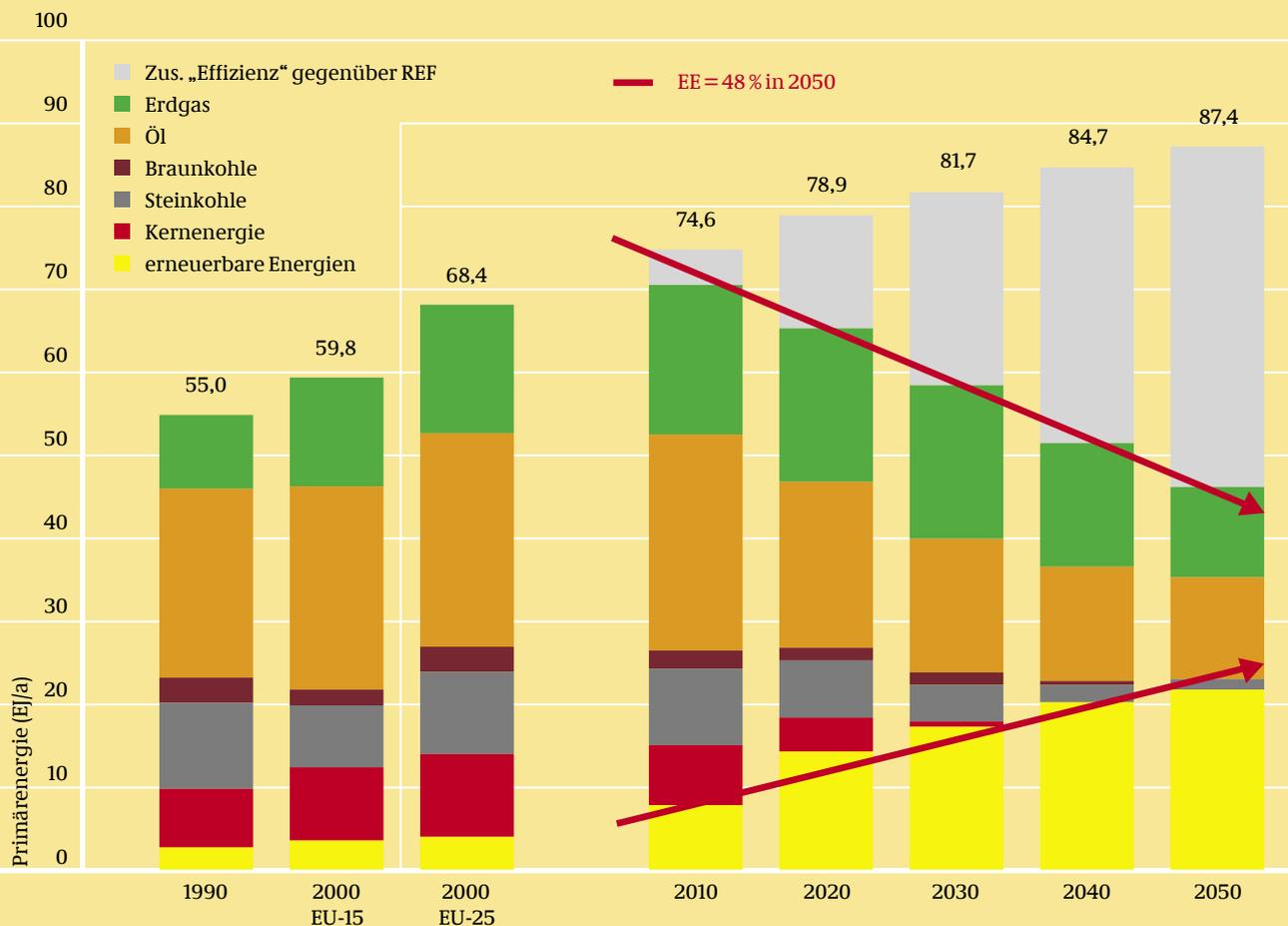


**Perspektiven der erneuerbaren Energien in Europa und weltweit**

Die zunehmende Integration Europas wirkt sich auch auf die zukünftige Entwicklung der EE aus. Noch bestimmen zwar die nationalstaatlichen Zielsetzungen und Regelungen im Wesentlichen ihre Ausbaudynamik. Doch auch das EU-Parlament und die EU-Kommission haben konkrete Ausbauziele für EE bis zum Jahr 2010 formuliert. Für längerfristige Zeiträume bis 2020/2030 gibt es gesamteuropäische Energieszenarios, bei denen auch auf die Anteile von erneuerbaren Energien eingegangen wird (EU 2003; EU 2004). Auch nimmt die EU-Kommission im gesetzlich vorgegebenen Rahmen Einfluss auf die Art der Förderung dieser Technologien in den einzelnen Ländern und ist bestrebt, die eingesetzten Förderinstrumente, die heute noch eine große Vielfalt aufweisen, einer Harmonisierung zuzuführen. Auch die Märkte für einzelne Technologien etablieren sich im Zuge der zunehmenden Liberalisierung der Energiemärkte zusehends europaweit. Die Anzeichen verstärken sich, dass die Europäische Union am Ende dieses Jahrzehnts die führende Region bei der energiewirtschaftlichen Nutzung und Vermarktung der erneuerbaren Energien sein wird.

Abbildung 11: Energiezukunft in Europa

Deutlich gesteigerte Effizienz als Voraussetzung für hohe EE-Anteile  
DLR EU-25 Alternative Szenario (2005)



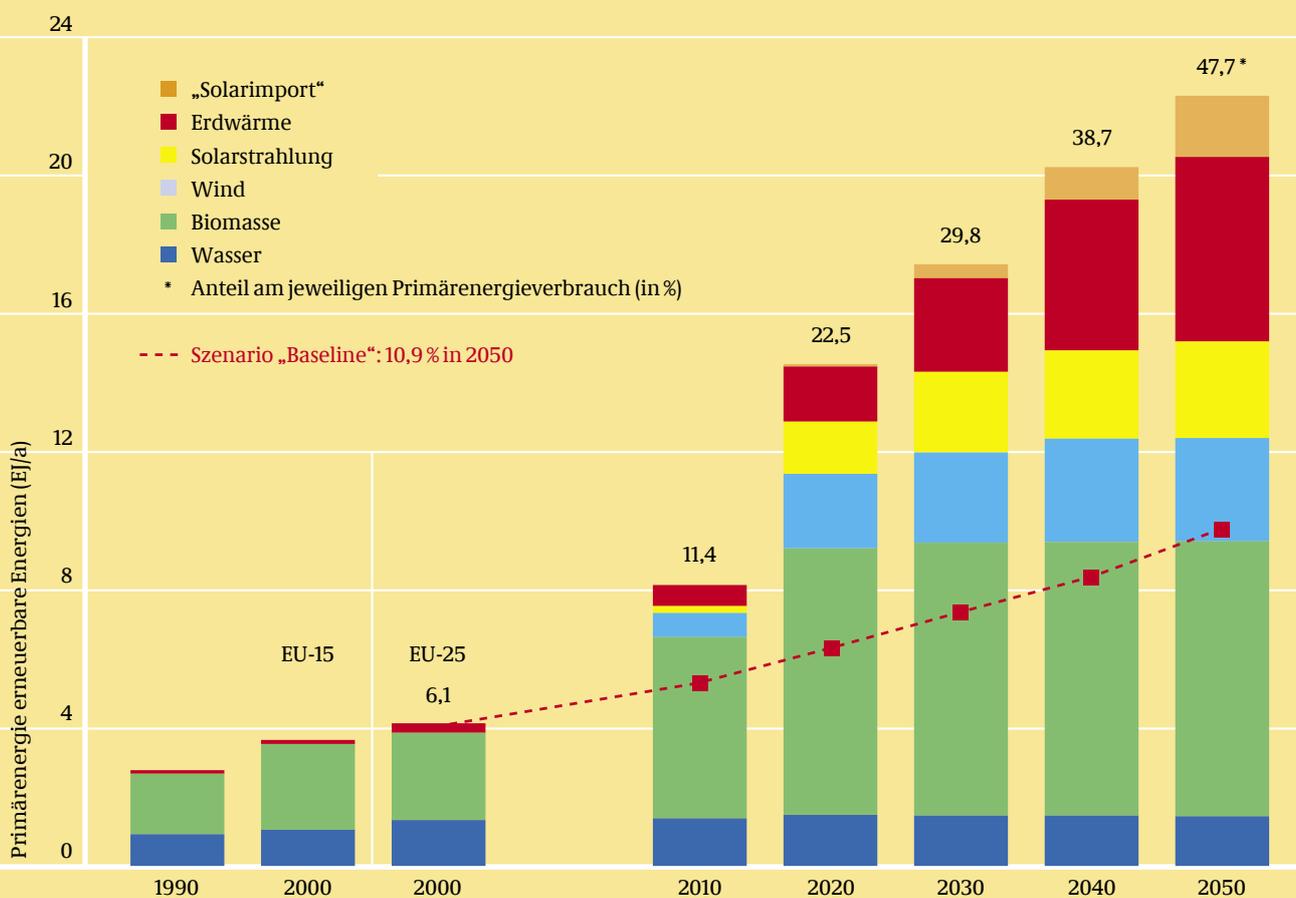
Die gegenwärtige Nutzung von erneuerbaren Energien in Europa wird – wie in den meisten anderen Kontinenten – durch die Wasserkraft und die traditionelle Nutzung der Biomasse zu Heizzwecken dominiert. Der Primärenergiebeitrag der erneuerbaren Energien steigt in Europa seit 1989 kontinuierlich, mit 3.850 PJ/a wurden im Jahr 2001 rund 6,4 Prozent des gesamten Primärenergieverbrauchs der EU mittels erneuerbarer Energien bereitgestellt. Biomasse mit 62 Prozent und Wasserkraft mit 31 Prozent überwiegen, es folgen Erdwärme mit knapp vier Prozent und Windenergie mit einem Anteil von drei Prozent. Der EE-Anteil am Stromverbrauch beträgt 15 Prozent. Der Strom wird zu 80 Prozent aus Wasserkraft bereitgestellt, zu zehn Prozent stammt er von der Biomasse. Der Beitrag der Windenergie ist inzwischen auf sieben Prozent gestiegen, der Anteil der Geothermie liegt bei 1,5 Prozent, Solarstrom ist mit 0,1 Prozent energiewirtschaftlich noch unbedeutend. Unübersehbar ist die Dominanz der Biomasse bei der Wärmebereitstellung.

Die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten der EE in Europa sind angesichts sehr großer Potenziale, insbesondere der Strahlungs- und der Windenergie, aber auch der Biomasse, beträchtlich. Andererseits wird in aktuellen Referenzentwick-

lungen, so genannten „Baseline“-Szenarios (EU 2004), weiterhin von beträchtlichen Verbrauchszunahmen und nur relativ gering steigenden EE-Beiträgen ausgegangen. Diese als relativ beharrlich unterstellten Tendenzen führen, wie u.a. im jüngsten Green Paper der EU-Kommission (COM 2006) ausgeführt, vielfach zu der Aussage, dass die energetische Versorgungssicherheit Europas und seine wirtschaftliche Prosperität durch wachsende Abhängigkeiten von knapper und teurer werdenden Energierohstoffen gefährdet seien. Zielorientierte Szenarios, die eindeutige Prioritäten auf die Mobilisierung der europaweit sehr großen Effizienzpotenziale und die erneuerbaren Energien legen, gelangen jedoch zu anderen Schlussfolgerungen. Gegenüber der Referenzentwicklung „Baseline“ kann zum einen der im Jahr 2050 erwartete Primärenergieverbrauch (der um 30 Prozent über dem heutigen Niveau liegen soll) nahezu halbiert werden, da die Effizienzpotenziale in der EU-25 noch deutlich höher als in Deutschland sind. Knapp die Hälfte dieses reduzierten Bedarfs kann bis 2050 durch erneuerbare Energien gedeckt werden (Abb. 11) (DLR 2005). Dazu ist etwa eine Verdopplung des in „Baseline“ erwarteten Primärenergiebeitrags der EE bis zu diesem Zeitpunkt erforderlich (Abb. 12), im Strombereich etwa eine

Abbildung 12: Primärenergiebeitrag erneuerbarer Energien bis 2050

DLR EU-25 Alternative Scenario (2005)

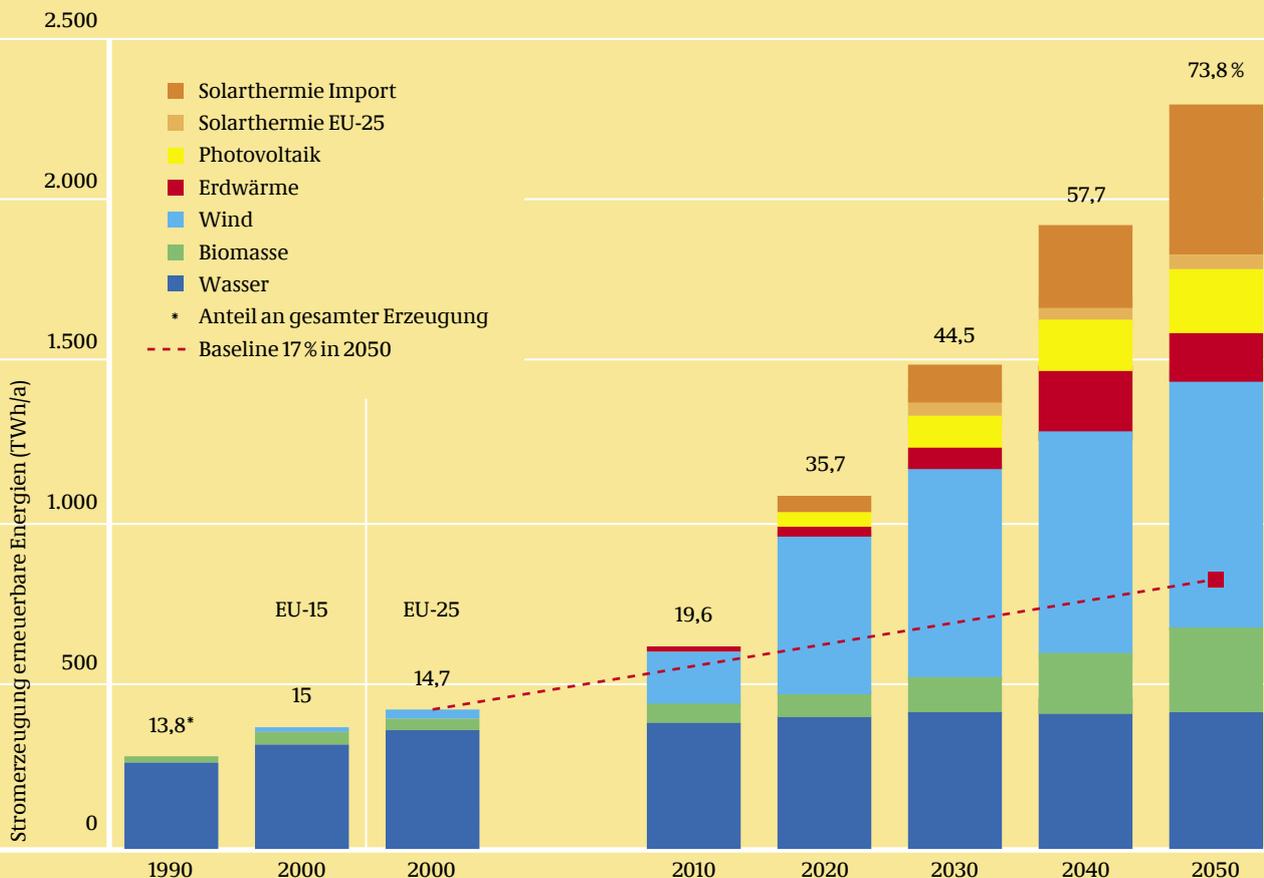


Verdreifachung (Abb. 13). Die Abhängigkeit Europas von Öl- und Gasimporten würde bei der Umsetzung dieses Zielszenarios drastisch sinken, längerfristig könnte Europa überwiegend auf „heimische“ Energiequellen zurückgreifen. Die im Vergleich zur deutschen Entwicklung großen Diskrepanzen zwischen dem Szenario „Baseline“ (das in etwa eine „Business as usual“-Entwicklung abbildet) und dem anzustrebenden Zielszenario deuten auf den noch sehr großen Handlungsbedarf in der europäischen Energiepolitik hinsichtlich einer nachhaltigeren Gestaltung der Energieversorgung hin und zeigen, dass es notwendig sein wird, rasch wirksamere Instrumente zu etablieren, wenn Europas Energieversorgung zukunftsfähig werden soll.

Im globalen Maßstab sind die zu lösenden Probleme ungleich größer. Auch bei sehr erfolgreichen Effizienzbemühungen wird die globale Energienachfrage noch mindestens um 50 Prozent („niedrig“) bis zu 100 Prozent („mittel“) steigen (Abb. 14). Insbesondere wird es erforderlich sein, die derzeit rasant wachsenden Energiesysteme in Ländern wie China oder Indien sehr effizient zu gestalten, ebenso dringend sind aber auch drastische Effizienzsteigerungen in den industrialisierten

Abbildung 13: Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bis 2050

EE können in absehbarer Zeit die Stromerzeugung in der EU-25 dominieren

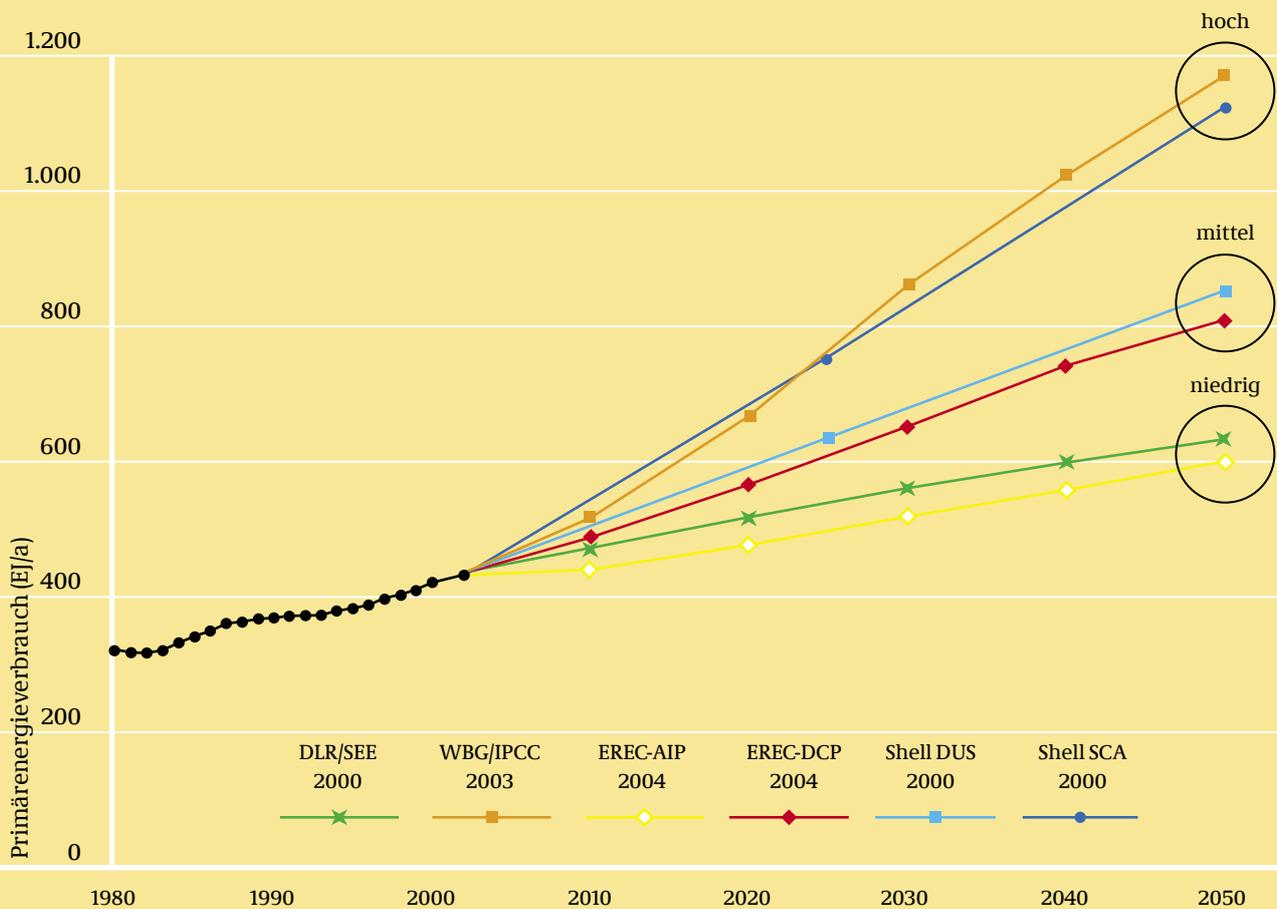


Hochverbrauchsländern, vor allem in den USA. Diese Grunderkenntnis spiegelt sich in zahlreichen Zukunftsentwürfen der globalen Energieversorgung des Jahres 2050 mehr oder weniger stark wider, was an der unterschiedlichen Verbrauchshöhe sichtbar wird (Abb. 15). Allen Szenarios ist jedoch ein hoher Beitrag der EE im Jahr 2050 gemeinsam, der teilweise über dem gesamten derzeitigen Primärenergieverbrauch von 443 EJ/a liegt. Unter Klimaschutzgesichtspunkten erfüllen die Hochverbrauchsszenarios jedoch nicht die CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele, da auch fossile Quellen in steigendem Maße beansprucht werden. Abgesehen davon, dass diese hohe Verfügbarkeit von Öl und Erdgas aus heutiger Sicht nicht gewährleistet sein dürfte, ist auch die in einigen Szenarios vorgeschlagene Rückhaltung der resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen sowohl ökologisch als auch ökonomisch wenig attraktiv (WI/DLR 2005). Letztlich bieten daher nur „Niedrigverbrauchsszenarios“ (Abb. 15, rechte Seite) hinreichend sichere Lösungsansätze zur gleichzeitigen Linderung der eingangs angesprochenen vier Problembereiche der gegenwärtigen Energieversorgung.

Eine umfassende Energieversorgung mittels EE wird wesentlich auf internationalen Partnerschaften aufgebaut sein müssen. Sie kommt somit der Liberalisierung der Energiemärkte entgegen und kann auch das politische Zusammenwachsen Europas befördern. Die weltweit sehr großen Potenziale von EE können nur mittels internationaler Verbundlösungen in ausreichendem Maße für eine globale, nachhaltige Energiebedarfsdeckung mobilisiert werden. Solche internationalen „solaren“ Energiepartnerschaften haben eminente geopolitische Vorteile. Sie sind eine ideale Möglichkeit, wirtschaftliche Ungleichgewichte zwischen Nord und Süd zu mindern und weltweite Märkte für zukunftsfähige Energietechnologien entstehen zu lassen. Konflikte um knappe Ressourcen oder um den Besitz machtsichernder Technologien (Kernenergie) sind nicht zu befürchten. Denn EE- und EFF-Technologien sind fehlerfreundlich und nicht missbrauchsfähig. So ist etwa die Erschließung der großen Solar- und Windpotenziale in Nordafrika unter dem Gesichtspunkt einer wirtschaftlichen Entwicklung und politischen Stabilisierung dieser Region und ihrer Beziehungen zu Europa von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Auch andere drängende Probleme lassen sich mit der in südlichen Ländern reichlich verfügbaren Solarenergie lösen. So können z.B. solarthermische Kraftwerke in südlichen Regionen gleichzeitig zur Erzeugung von Strom und unter

Abbildung 14: Entwicklung der globalen Energienachfrage bis 2050

Im globalen Maßstab sind die Probleme ungleich größer



Nutzung ihrer Abwärme zur Entsalzung von Meerwasser eingesetzt werden und dadurch zur Lösung der immer bedrohlicher werdenden Probleme der Trinkwasserversorgung beitragen.

Schließlich sind auch die ökonomischen Perspektiven viel versprechend. Geht man von einem mittelgroßen globalen Beitrag der EE in 2050 aus (vgl. z.B. Szenario EREC-DCP 2004 in Abb. 15), so wird sich das weltweite Investitionsvolumen in EE-Anlagen, das derzeit bei rund 40 Mrd. €/a liegt (knapp 17 Prozent davon werden in Deutschland getätigt), bis zum Jahr 2030 mehr als verzehnfachen und bei rund 450 Mrd. €/a liegen (Abb. 16). Selbst relativ kleine Anteile deutscher Unternehmen an diesem Markt sichern diesen ein stetig steigendes Umsatzvolumen und können damit zu einer wichtigen und stabilen Wachstumsbranche werden. Es fehlt nicht an Lösungsansätzen für die drängenden Probleme der Energieversorgung. Woran es mangelt, sind mutige und weitsichtige politische Anstrengungen, diesen Weg beherzt zu beschreiten und dabei nationale Egoismen hintanzustellen. Gerade die EU, die sich beim Voranbringen des Klimaschutzes mit Recht in einer Führungsrolle sieht, kann hier beispielgebend tätig werden und zudem ökonomisch und politisch gut damit fahren.

Abbildung 15: Zukunftsentwürfe der globalen Energieversorgung des Jahres 2050

Keine „Energiezukunft“ kommt ohne beträchtliche Beiträge der erneuerbaren Energien aus  
 ... aber die wenigsten sind klimaverträglich und ressourcenschonend!!

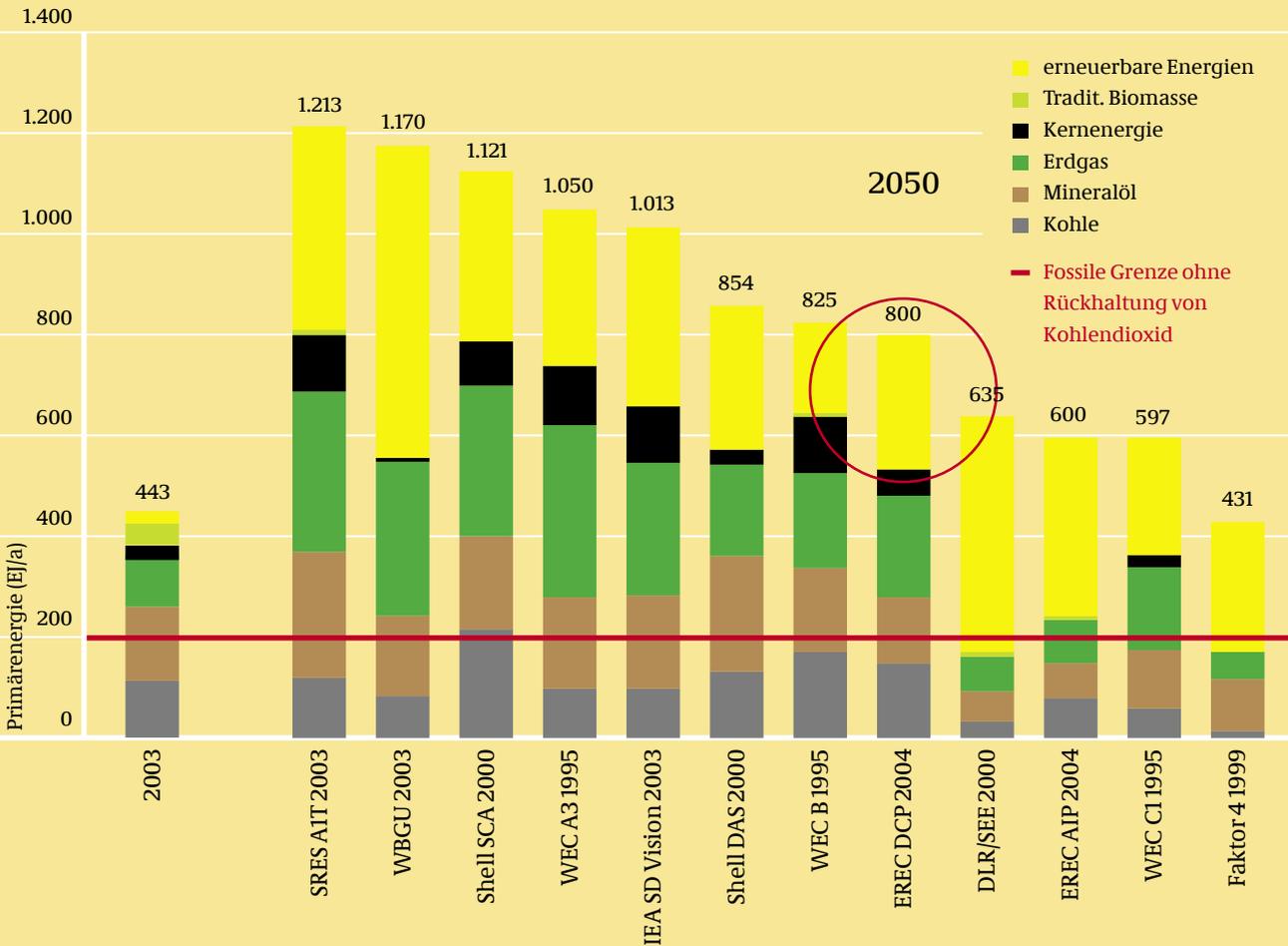
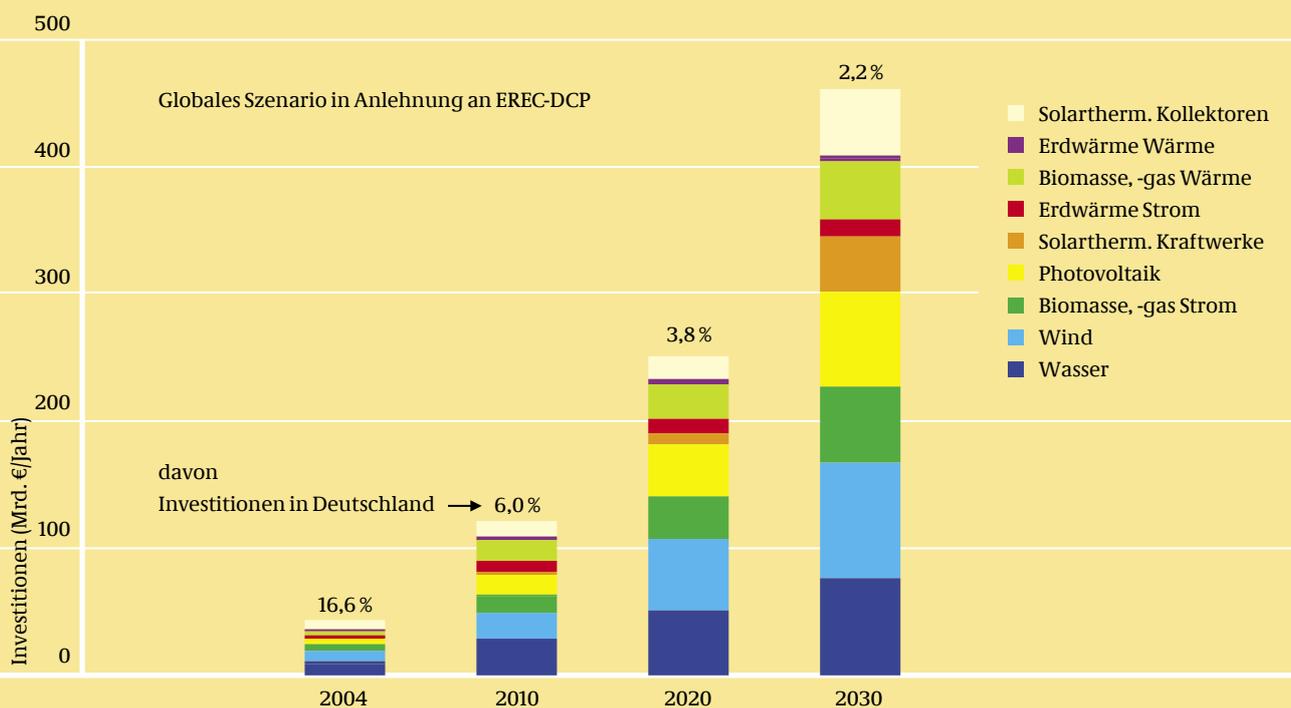


Abbildung 16: Potenzielle globale Investitionen in erneuerbare Energien



## Literatur

- BMU (2004): J. Nitsch, M. Fishedick, G. Reinhardt, u. a.: „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien.“ Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU Arbeitsgemeinschaft DLR/IFEU/WI, April 2004.
- BMU (2005): J. Nitsch, F. Staiss, u.a.: „Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor bis 2020“. Studie im Auftrag des BMU, Arbeitsgemeinschaft DLR/ZSW/WI, Dezember 2005.
- COM (2006): Green Paper – A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy, COM (2006) 105 final, Brüssel, 8. März 2006.
- DLR (2005): W. Krewitt DLR, S. Teske (Greenpeace): „Energy Revolution – a sustainable pathway to a clean energy future for Europe.“ Presentation European Parliament, Straßburg, 27. Sep. 2005; s. auch: Greenpeace Report: A European energy scenario for EU-25. Greenpeace International, Amsterdam, Sep. 2005.
- DLR/ISI (2006): W. Krewitt, B. Schlohmann: „Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und fossilen Energien.“ Untersuchung im Auftrag des ZSW, Arbeitsgemeinschaft DLR/ISI, Stuttgart, Karlsruhe, April 2006.
- Enquete (2002): Endbericht der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung.“ Berlin, Deutscher Bundestag, Drucksache 14/9.400 vom 7.7.2002, 675 Seiten.
- EWI/Prognos (2005): „Energierport IV – Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030.“ Energiewirtschaftliche Referenzprognose im Auftrag des BMWA, Köln., Basel, April 2005.
- EU (2003): „European Energy and Transport – Trends to 2030“ European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, 2003, Brussels.
- EU (2004): „European Energy and Transport-Scenarios on Key Drivers“. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, 2004, Brussels.
- WI/DLR (2005): M. Fishedick, P. Viebahn u. a.: „Vergleich regenerativer Energietechnologien mit Carbon Capture and Stoorage“. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU, Arbeitsgemeinschaft WI, DLR, ZSW, PIK. 3. Zwischenbericht, Wuppertal, Stuttgart, Potsdam, November 2005.



## Nachhaltige Stromerzeugung: Anforderungen an die Wirtschaft

Dr. Gerd Jäger

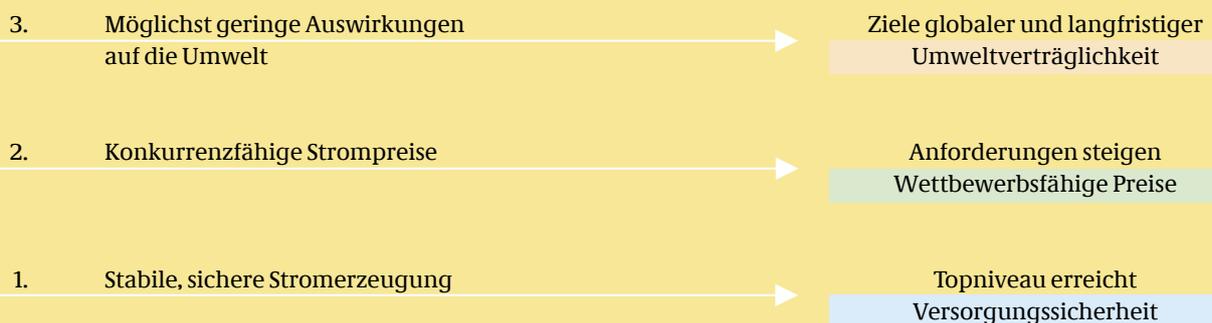
Mitglied des Vorstandes der RWE Power AG, Ressort Kernkraftwerke und Regenerative Energien

----- Es gilt das gesprochene Wort -----

Das Leitbild „Nachhaltige Entwicklung“ hat den ungeheuren Charme, dass man sich leicht auf eine derartige Zielsetzung verständigen kann. Leider existieren jedoch noch keine allgemein anerkannten Definitionen und Methoden zur Bewertung einzelner Konzepte und Aktionen. Die Diskussionen hierüber sind daher oft zu schwierig, um zu gemeinsamen Ergebnissen auf der Basis einheitlicher Grundverständnisse zu kommen.

Abbildung 1: Nachhaltigkeit der Stromerzeugung

Aus dem Blickwinkel unserer Kunden!



Was soll also „Nachhaltigkeit“ im Kontext der Stromerzeugung bedeuten? Ich möchte versuchen, dies aus dem Blickwinkel unserer Kunden zu definieren. Unsere Kunden wollen Strom zu jedem Zeitpunkt geliefert bekommen, die Stromerzeugung muss also stabil verfügbar sein. Hinsichtlich dieser Anforderung haben wir in Deutschland ein Topniveau erreicht. Darauf komme ich noch zurück.

Weiterhin wollen unsere Kunden Strom zu wettbewerbsfähigen Preisen. Diese Anforderung hat eine direkte soziale Komponente und ist darüber hinaus für den Erhalt von Arbeitsplätzen und die Stärkung der Wirtschaft im internationalen Standortwettbewerb von wesentlicher Bedeutung. Unsere nationalen Ziele einerseits und die Entwicklungen in den Wettbewerbsländern und -regionen andererseits erhöhen die Anforderungen in diesem Bereich enorm.

Waren in der Vergangenheit Preisstabilität und Versorgungssicherheit die dominierenden Erwartungen unserer Kunden, so wächst zunehmend das Bewusstsein für die ökologischen Anforderungen an die Stromerzeugung, einschließlich der Notwendigkeit des sorgfältigen Umgangs mit den Ressourcen. Im lokalen Umfeld in Deutschland haben wir damit früher als andere begonnen und entsprechende Erfolge erzielt. Das Thema Klimavorsorge und die globale Nachfrage nach Energierohstoffen führen jedoch sowohl zeitlich als auch räumlich zu neuen Anforderungsdimensionen.

Die Auswirkungen der Globalisierung zeigen uns täglich, dass wir gut beraten sind, den Blick über unseren Tellerrand hinaus zu richten:

Welche Erwartungen haben andere Kunden und insbesondere die fast zwei Milliarden bis heute lediglich potenziellen Kunden dieser Welt, die noch überhaupt keinen Zugang zu Elektrizität haben? Wie sieht aus Sicht dieser Kunden eine nachhaltige Stromversorgung aus? Wahrscheinlich wären hier schon wenige Stunden Stromversorgung pro Woche ein Quantensprung. Auch diese potenziellen Kunden müssen wir in eine Nachhaltigkeitsbetrachtung mit einbeziehen.

Die dargestellten extremen Gegensätze können keinen Bestand haben, und der Angleichungsprozess wird alle Anforderungen aus den Zielen der nachhaltigen Entwicklung enorm steigern. Der technische Fortschritt und die Nutzung aller Technologien und Ressourcen gewinnen hierbei entscheidend an Bedeutung.

Kommen wir zurück zu unseren Kunden und dem in Deutschland erreichten stabilen Nachhaltigkeitsgebäude, das aus den drei Stockwerken Versorgungssicherheit, Wettbewerbsfähigkeit und Umweltverträglichkeit besteht. Wie sieht der Grundriss unseres ersten Stockwerks aus? Wir müssen uns um eine langfristig stabile Erzeugung kümmern, rechtzeitig die

zukünftig benötigten Erzeugungskapazitäten prognostizieren und entsprechende Kraftwerke planen. Bei Kohlekraftwerken gehen wir bspw. von mindestens sechs Jahren Planungs- und Bauzeit aus. Dabei gilt es, die jeweils modernste, aber gleichzeitig eine wirtschaftlich darstellbare Technik zu verwirklichen und parallel dazu die nächsten Kraftwerksgenerationen, z.B. mit noch höheren Wirkungsgraden, geringeren Emissionen und niedrigerem Ressourcenverbrauch, auf den Weg zu bringen. Das klingt vielleicht nach „Routine“ und „Tagesgeschäft“, doch diese Entscheidungen für immer kapitalintensivere Kraftwerksneubauten mit Laufzeiten bis zu 40 Jahren und länger in einem Umfeld mit zunehmendem Wettbewerb sind mit steigenden wirtschaftlichen Risiken verbunden. Um diesen Anforderungen überhaupt gerecht werden zu können, sind zwei wesentliche Voraussetzungen unumgänglich: stabile politische Rahmenbedingungen, sozusagen die baurechtlichen Vorgaben für das Nachhaltigkeitsgebäude – hier sei als Beispiel die Ausgestaltung des nationalen CO<sub>2</sub>-Allokationsplans in Deutschland genannt –, und ein solides finanzielles Unternehmensfundament.

Neben der langfristigen Planung und Realisierung des Portfolios darf darüber hinaus die Aufgabe nicht unterschätzt werden, zu jedem Zeitpunkt die vom Kunden abgerufene Menge Strom zu erzeugen. Gaben früher geschlossene Versorgungsgebiete eine entsprechende Planungssicherheit, so wurde das Kunden- bzw. Angebotsverhalten nach der Liberalisierung zunehmend schwerer kalkulierbar. Kunden können den Lieferanten frei wählen, Kundenzu- und abgänge sind somit auf der Tagesordnung, das Kundenverhalten ist in Summe wesentlich schwieriger einzuschätzen. Aber auch die auf der Angebotsseite rasch zunehmende dezentrale Einspeisung, z.B. auf Windbasis mit nur eingeschränkt prognostizierbaren Strommengen, erschwert die kurz- und langfristige Sicherstellung des hohen Versorgungsniveaus.

Eine herausragend zuverlässige Versorgung im Vergleich zu unseren europäischen Nachbarn ist in Deutschland zur Selbstverständlichkeit geworden. Während bei uns pro Jahr und Kunde die Ausfallzeiten bei ca. 20 Minuten liegen, muss man in Großbritannien mit mehr als der dreifachen, in Norwegen gar mit der zehnfachen Ausfallzeit rechnen. Unser erstes Stockwerk des Nachhaltigkeitsgebäudes hat eine Auszeichnung verdient! Hier gilt es, das Niveau zu halten.

Dass die Energieversorger sich diesen Herausforderungen stellen, erkennen Sie an den enormen Investitionen, die im Rahmen des jüngst einberufenen Energiegipfels angekündigt wurden. Über 30 Milliarden Euro Investitionen in neue Kraftwerke und den Ausbau der Netze innerhalb der nächsten sieben Jahre sprechen für sich, weitere Investitionen in vergleichbarer Größenordnung werden durch den Ausbau der erneuerbaren Energien erwartet.

Wir können uns der Tatsache nicht entziehen, dass eine sichere und stabile Stromversorgung auf dem gewohnten Qualitätsniveau ihren Preis hat. Gleichzeitig wird uns im internationalen Vergleich zunehmend bewusst, dass wir in Deutschland Strom zu wettbewerbsfähigen Preisen benötigen. Die heutigen Strompreise sind Marktpreise, die sich durch Angebot und Nachfrage bilden, und zwar zunehmend im europäischen Wettbewerb. Wettbewerbsfähige Strompreise sind dabei nicht nur im Interesse des Standortes Deutschland und seiner Industrie, die sich im europäischen und zum Teil globalen Wettbewerb befindet, sondern auch im Interesse der Energieversorger: Die Verlagerung von industrieller Produktion bedeutet für uns Kundenverlust und für den Standort Deutschland den Verlust von wertvollen Arbeitsplätzen.

Aber auch bei der Stromversorgung der Haushalte stehen die Energieversorger im Wettbewerb: Jeder Haushalt kann zwischen zahlreichen Anbietern frei wählen, zunehmend kommen neue Anbieter hinzu. Auch hier sind wir gefordert, uns dem Wettbewerb mit konkurrenzfähigen Preisen zu stellen.

Der Strommarkt entwickelt sich zunehmend zu einem europäischen Markt, der Wettbewerb nimmt weiter zu. Wir sind zuversichtlich, die Anforderungen einer wettbewerbsfähigen Strombereitstellung erfüllen zu können, sofern die politischen Zuschläge als Bestandteil des Strompreises in Deutschland nicht zu hoch werden. Der zweite Stock unseres Nachhaltigkeitsgebäudes ist stabil, am Innenausbau wird jedoch noch gearbeitet und es darf nicht überfrachtet werden.

Schauen wir nun auf den dritten Stock unseres Gebäudes. Bereits Anfang der 80er Jahre standen wir in Deutschland im Bereich Umweltschutz an vorderster Front, haben früher als viele andere auch aus dem Verständnis eines Vorreiters heraus viel geleistet und erreicht, sowohl im Gewässerschutz als auch bei der Luftreinhaltung. Hohe Investitionssummen sind u.a. für die Entstaubung, Entstickung und Entschwefelung von Rauchgasen in die Nachrüstung bestehender und in die Standardausstattung neuer Kraftwerke geflossen. Wir hatten dieses enorme Investitionsprogramm bereits Ende der 80er Jahre abgeschlossen. Entgegen unserer Erwartungen ziehen andere EU-Staaten erst heute nach. So steht beispielsweise Großbritannien zurzeit erst vor der Aufgabe, Kraftwerke mit Rauchgasentschwefelungsanlagen nachzurüsten. Mit den neuen zehn EU-Mitgliedsstaaten wurden darüber hinaus Übergangsfristen bis 2017 vereinbart.

Auch in Bezug auf einen effizienten Umgang mit den Ressourcen haben wir in Deutschland viel über die Steigerung der Kraftwerkswirkungsgrade erreicht, weitere Technologien befinden sich im Stadium der Forschung und Entwicklung. Bei Kohlekraftwerken sind heute etwa 46 Prozent Wirkungsgrad erreichbar, an Technologien für Wirkungsgrade über 50 Prozent wird bereits intensiv gearbeitet. Zum Vergleich: Der durchschnittliche Wirkungsgrad der weltweit installier-

ten Kohlekraftwerke beträgt nur etwa 30 Prozent. Weitere Aktivitäten im Rahmen der Forschung und Entwicklung betreffen u.a. das CO<sub>2</sub>-freie Kraftwerk, die Brennstoffzellentechnologie, den Einsatz von Biomasse und die Geothermie.

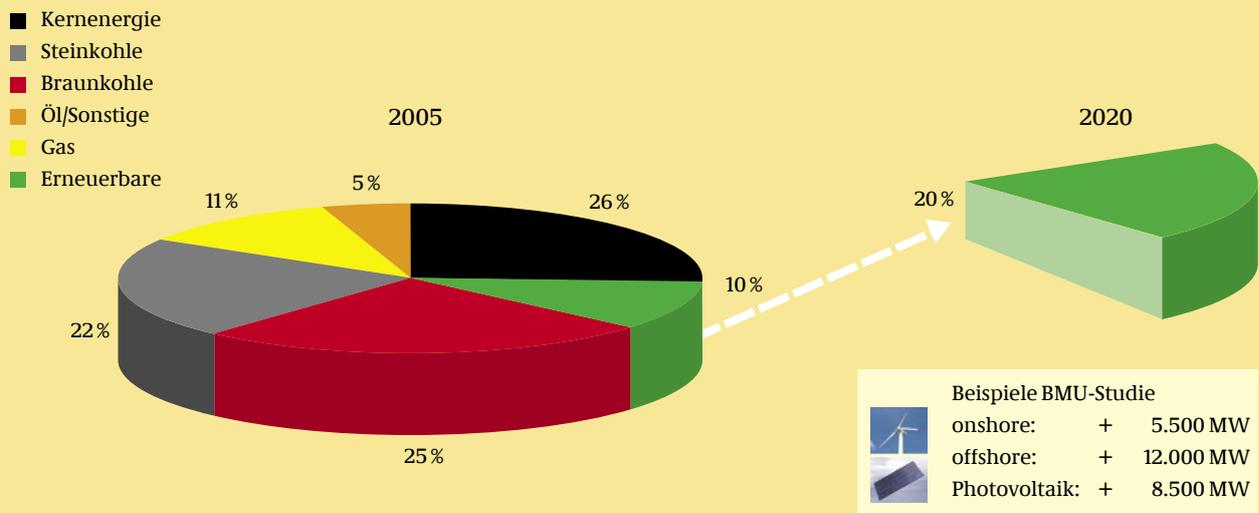
Das dritte Stockwerk unseres Nachhaltigkeitsgebäudes ist sicher in der Lage, unseren regionalen Bedarf zu decken. Die globalen Aufgaben Klimavorsorge und Ressourcenschonung erfordern jedoch noch einen erheblichen Ausbau. Die große Herausforderung besteht darin, dass diese Anforderungen zum Teil bereits auf ein und derselben Etage des Nachhaltigkeitsgebäudes miteinander im Wettbewerb stehen. Beispielsweise steigt der Ressourcenverbrauch durch den Verlust an Wirkungsgrad von bis zu zehn Prozent-Punkten, wenn das CO<sub>2</sub> aus dem Kraftwerksprozess herausgetrennt und gelagert wird. Darüber hinaus werden die unten liegenden Stockwerke massiv gefordert. So sind z.B. sowohl den Wirkungsgrad steigernde Maßnahmen als auch Technologien für die CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Speicherung sehr kapitalintensive Anlagen: Dies wirkt sich wiederum negativ auf den Strompreis aus. Beim Ausbau dieses Stockwerks muss somit sorgfältig auf die Substanz des restlichen Gebäudes geachtet werden.

Das Erreichen bzw. Halten eines hohen Nachhaltigkeitsniveaus in der Stromerzeugung hat also viele Facetten, die zum Teil mit gegenläufigen Effekten verbunden sind. Die Ansprüche zur Erfüllung einer nachhaltigen Stromerzeugung in Deutschland sind in Summe deutlich gestiegen und die Herausforderungen bestehen darin, dieses Niveau unter lokalen Gesichtspunkten zu halten und auf globale Anforderungen auszurichten.

In Deutschland sehen wir uns als Wirtschaftszweig besonders dadurch herausgefordert, dass die an uns gestellten Anforderungen z.T. sehr konträr sind und insbesondere im Kontext der Stromerzeugung nicht nur auf der Ebene der Kriterien der Nachhaltigkeit, sondern z.T. bis in den Bereich einzelner Technologien hinein bestehen. Dies betrifft aktuell z.B. den ehrgeizigen Ausbau der regenerativen Energien bis 2020 und den Ausstieg aus der Kernenergie.

Abbildung 2: Das Ausbauziel für regenerative Energien in Deutschland

Ausbauziel der regenerativen Energien in Deutschland ist ehrgeizig



Für den Ausbau der regenerativen Energien hat sich die Bundesregierung in Deutschland das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 einen Anteil von 20 Prozent an der Gesamtstromerzeugung zu erreichen. Dass dieses Ziel in jeder Hinsicht ehrgeizig ist, zeigen die damit verbundenen Ausbauerfordernisse: beispielsweise der Ausbau der Windenergie von heute ca. 18.000 Megawatt auf knapp das Doppelte, inklusive 12.000 Megawatt neuer Wind-Offshore-Anlagen sowie etwa 6.000 Megawatt neuer Wind-Onshore-Anlagen, und der Fotovoltaik von heute etwa 1.000 Megawatt auf die zehnfache Leistung, also knapp 10.000 Megawatt im Jahr 2020.

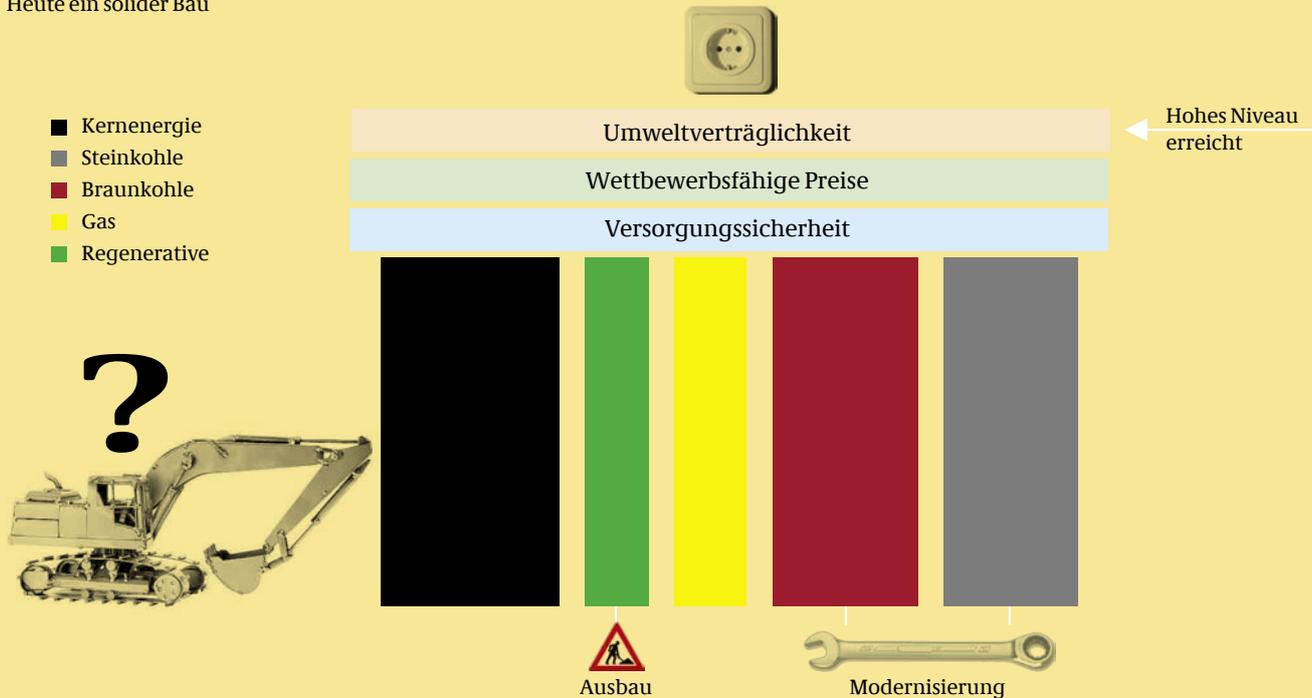
Der Ausbau der regenerativen Energien ist aus dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit unter den Aspekten „Ressourcenschonung“ und „Klimaschutz“ betrachtet natürlich außerordentlich positiv zu bewerten. Die damit verbundenen erforderlichen Investitionen auch in den Netzausbau werden jedoch nicht ohne Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung bleiben, und die zum Teil kaum steuerbare Produktion stellt eine besondere Herausforderung für die Versorgungssicherheit dar. Wir müssen dabei also gut aufpassen, dass unsere ersten beiden Stockwerke nicht in Mitleidenchaft gezogen werden.

Mit einem Blick über den Tellerrand hinaus müssen wir uns vielleicht auch die Frage stellen, ob der Ausbau von 10.000 Megawatt Fotovoltaik in Deutschland wirklich nachhaltig ist bei einer Auslastung der Zellen von etwa 900 Volllaststunden pro Jahr und einer Investition bis 2020 in Summe von ca. 23 Milliarden Euro. In den südlichen Ländern Europas könnten wir mit der Hälfte der Anlagen die gleiche Menge Strom erzeugen. Die andere Hälfte der Anlagen könnten wir dann sogar den Menschen schenken, die bisher noch keinen Zugang zu Elektrizität haben, und damit dort einen ersten Grundstein legen. Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit bei uns wäre das jedenfalls lokal kein Verlust und unter globalen Gesichtspunkten erheblich sinnvoller. Damit an dieser Stelle keine Missverständnisse aufkommen: Der Ausbau der regenerativen Energien ist sinnvoll und notwendig. Auch RWE engagiert sich hier mit ca. 650 Millionen Euro innerhalb der nächsten fünf Jahre.

Für Deutschland bedeutet der Ausbau der regenerativen Energien also eine enorme Herausforderung, die aber mit erheblicher Anstrengung des Industriezweiges sowie insbesondere der Bereitschaft der Kunden, den geplanten Ausbau zu finanzieren, leistbar erscheint. Wir sollten aber alles daran setzen, dass der notwendige Ausbau der regenerativen Energien zumindest im europäischen, wenn nicht gar globalen Zuschnitt erfolgt.

Abbildung 3: Das Nachhaltigkeitsgebäude der deutschen Stromerzeugung

Das Nachhaltigkeitsgebäude der deutschen Stromerzeugung  
Heute ein solider Bau



Ein Blick auf das Nachhaltigkeitsgebäude der deutschen Stromversorgung bestätigt noch einmal das erreichte hohe Niveau und den stabilen Unterbau durch einen breit gefächerten Energiemix. Während die regenerativen Energien ausgebaut werden, steht gleichzeitig eine Modernisierung oder besser eine anspruchsvolle Weiterentwicklung der Kohlekraftwerke an.

Bei all diesen Baumaßnahmen an unserem Gebäude stellt sich nun die Frage, wie ein weiterer massiver Eingriff in die Statik verkräftet werden soll: der Ausstieg aus der Kernenergie. Die dickste Säule unserer Stromerzeugung soll herausgebrochen werden. Die Kernkraftwerke leisten den höchsten Anteil an der Stromerzeugung mit niedrigsten Erzeugungskosten, und zwar klima- und ressourcenschonend und auf höchstem Sicherheitsniveau. Mit Blick auf das Thema dieser Tagung möchte ich an dieser Stelle betonen, dass wir alles tun müssen, um einen Unfall wie in Tschernobyl mit seinen schrecklichen Folgen für Menschen und Umwelt für die Zukunft auszuschließen. Für unsere Anlagen in Deutschland, die auf einer grundlegend anderen Technik basieren und auf einem hohen Sicherheitsniveau betrieben werden, das uns regelmäßig durch die Behörden bestätigt wird, können wir ein solches Ereignis ausschließen. Die Kernkraftwerke in Deutschland erfüllen auch unter Einbeziehung der notwendigen sicheren Entsorgung der radioaktiven Abfälle in hervorragender Weise die Anforderungen an eine nachhaltige Stromerzeugung.

Wenn wir den Anteil der Kernenergie an der Grundlaststromerzeugung ersetzen müssen, kommen wir um einen weiteren Ausbau fossil gefeuerter Kraftwerke nicht herum. Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit, d.h. unter Erhalt der Versorgungssicherheit und des Preisniveaus auch in naher Zukunft, ist die entstehende Lücke durch regenerative Energien oder Einsparungen nicht zu schließen. Zusätzliche CO<sub>2</sub>-Emissionen wären unvermeidbar, die u.a. zu einer höheren Nachfrage nach Zertifikaten und damit zu einem Anstieg des CO<sub>2</sub>-Preises führen. Da zudem die Stromerzeugung aus Kohle und Gas, bedingt durch die Primärenergieträger, teurer ist als die Stromerzeugung aus Kernenergie, ist ein Ausstieg unweigerlich auch mit höheren Strompreisen verbunden.

Hinzu kommen noch eine höhere Importabhängigkeit und damit eine sinkende Versorgungssicherheit.

Es liegen bisher noch keine Vorschläge vor, wie das heute erreichte hohe Niveau der Nachhaltigkeit der Stromerzeugung ohne die Kernenergie erhalten werden kann, geschweige denn, wie die neuen global wirkenden Anforderungen Klimaschutz und Ressourcenschonung zusätzlich bewältigt werden können, ohne Versorgungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit der Preise zu gefährden. Wir brauchen darauf dringend Antworten, damit wir das stabile Nachhaltigkeitsgebäude mit seinem hohen Qualitätsniveau in Deutschland erhalten können.

### Fazit

- Nachhaltigkeit in der Stromerzeugung hat viele gegenläufige Facetten,
- die Ansprüche an die Stromerzeugung in Deutschland sind deutlich gestiegen und steigen weiter,
- das Nachhaltigkeitsgebäude der deutschen Stromerzeugung ist heute ein solider Bau.

Es bedarf wohl bedachter Handlungen der beteiligten Architekten, um das Nachhaltigkeitsgebäude der Stromerzeugung in Deutschland nicht ins Wanken zu bringen oder gar gravierend zu beschädigen. Das gerade von der Bundesregierung gestartete Projekt „Energiekonzept“ bietet hierzu die Chance.



## Umweltfreundliche Energieerzeugung

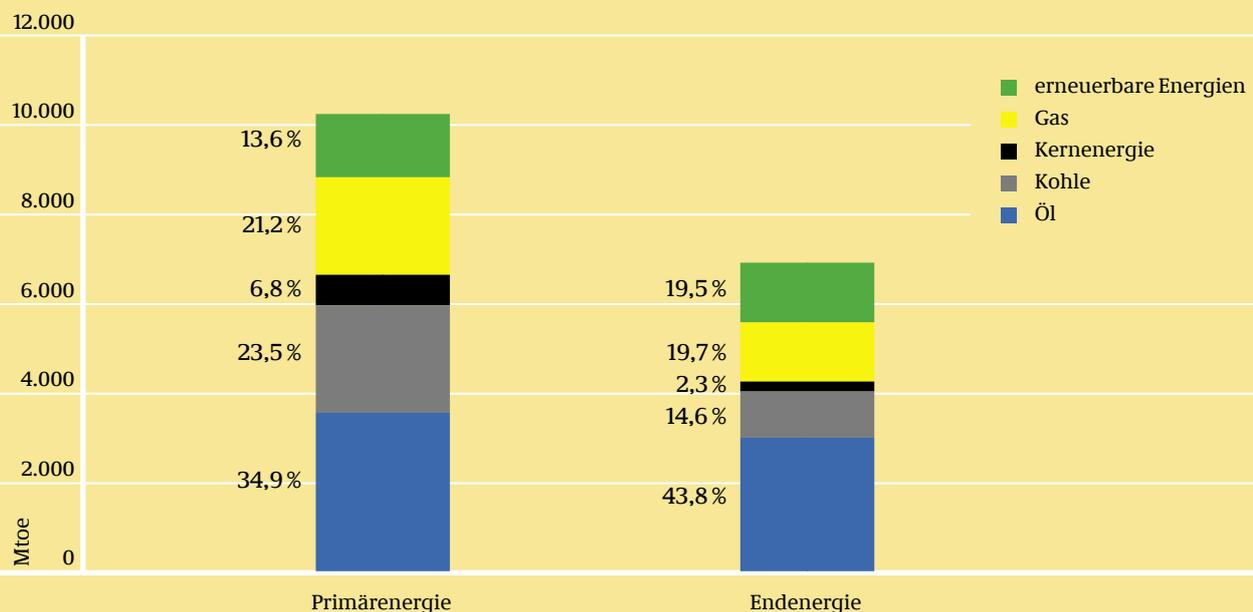
Johannes Lackmann

Präsident des Bundesverbandes Erneuerbare Energien (BEE)

### 1. Weltweite Entwicklung erneuerbarer Energien

Der Energieverbrauch wird in den Statistiken überwiegend primärenergetisch dargestellt. Die primärenergetische Betrachtung führt aber zu einer Überbewertung der Kernenergie und der fossilen Energien, weil nicht die Energie berechnet wird, die beim Verbraucher ankommt, sondern der Energiewert der eingesetzten Brennstoffe gemessen wird. Die Energieverluste bei der Stromerzeugung aus nuklearen und fossilen Brennstoffen sind immens, mehr als zwei Drittel gehen verloren. Bei den erneuerbaren Energien kommt dagegen der Großteil der eingesetzten Energie auch beim Verbraucher an. Durch die dezentrale Stromproduktion aus erneuerbaren Energien werden zudem Verluste beim Transport des Stroms reduziert. Daher ist es wichtig, den Endenergieverbrauch zu betrachten, um die realen Anteile der verschiedenen Energieträger zu ermitteln. Abbildung 1 zeigt den Primär- und Endenergieverbrauch weltweit. Erneuerbare Energien haben bereits einen Anteil von ca. 20 Prozent am Endenergieverbrauch. Kernenergie trägt dagegen nur mit einem Anteil von ca. 2,3 Prozent zum Endenergieverbrauch bei.

Abbildung 1: Weltweiter Energieverbrauch 2003



Quelle: Eigene Berechnung nach IEA 2005

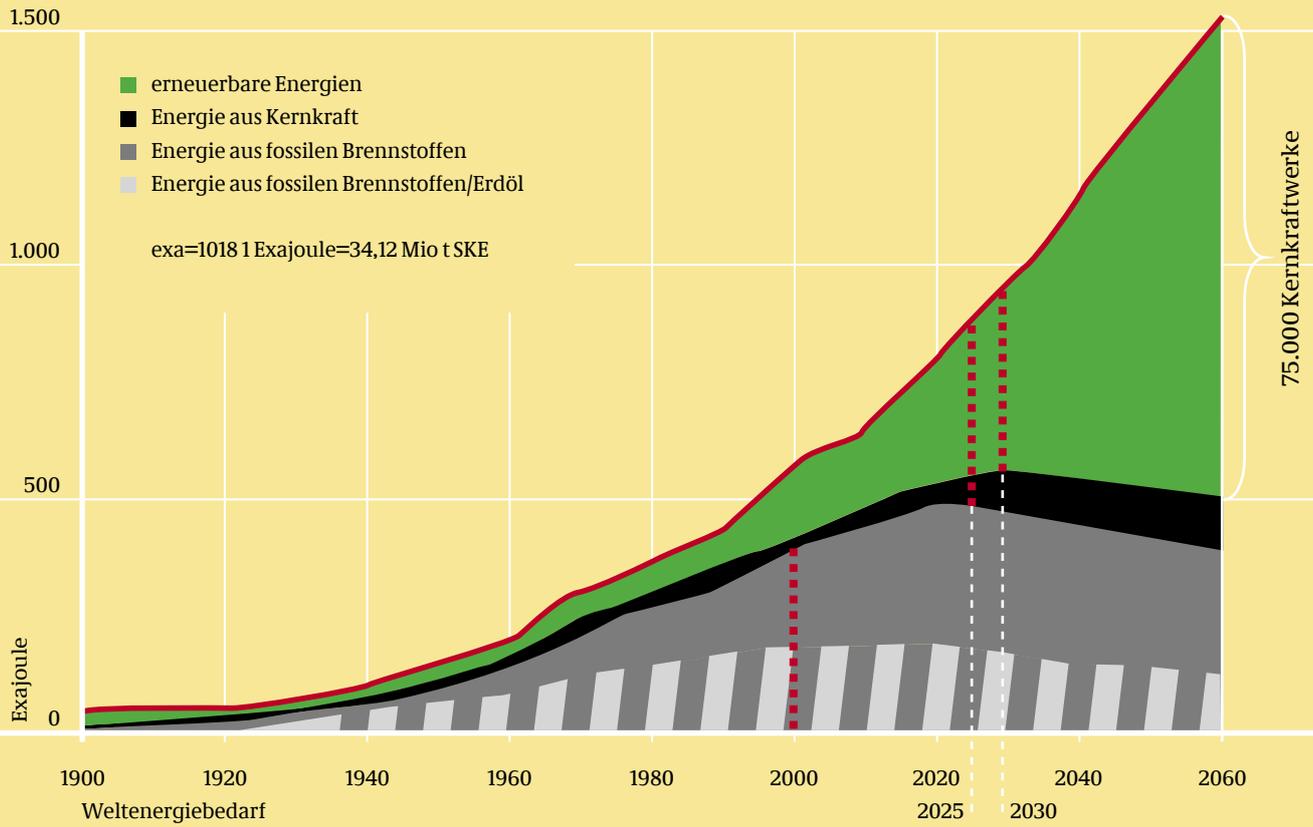
Die globale Bedeutung erneuerbarer Energien wächst stetig. Nach einem Szenario von Shell (vgl. Abbildung 2) können erneuerbare Energien 2060 bereits mehr als zwei Drittel des weltweiten Energiebedarfs decken.

Um diese Energiemenge mit Kernenergie bereitzustellen, müssten 75.000 Kernkraftwerke gebaut werden. Wegen der Endlichkeit von Uran müssten bereits in wenigen Jahrzehnten schnelle Brüter genutzt werden. Der Wiedereinstieg in die Brütertechnologie ist aber mit zusätzlichen wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Risiken verbunden, da hochgiftiges Plutonium erzeugt wird.

### 2. Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland

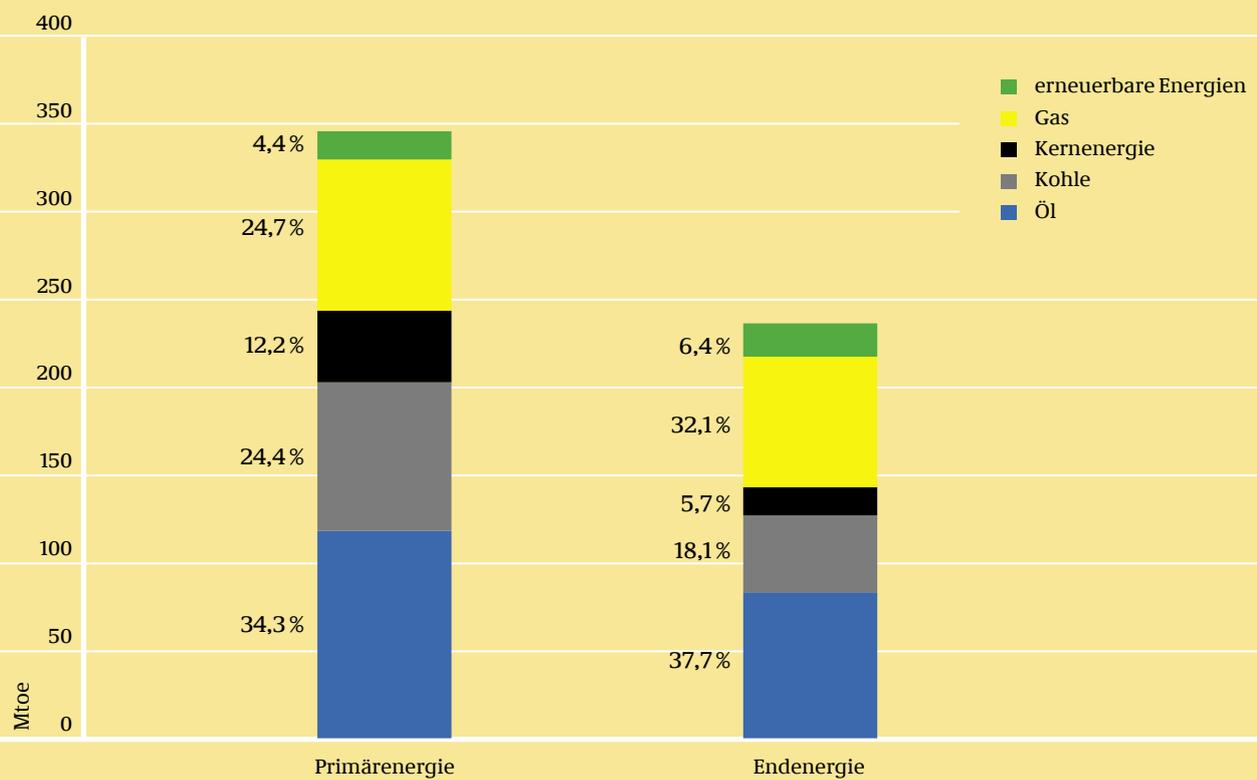
In Deutschland haben die erneuerbaren Energien in 2005 mit einem Anteil von rund 6,4 Prozent erstmals mehr zur Endenergieversorgung beigetragen als die Kernenergie (vgl. Abbildung 3). Insgesamt wurden 2005 mit erneuerbaren Energien 83 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> und drei Milliarden Euro für Energieimporte vermieden (vgl. Abbildung 4). Die Zahl der Arbeitsplätze im Bereich der erneuerbaren Energien ist auf über 170.000 gestiegen. Das sind schon heute mehr als viermal so viel wie in der Kernenergie.

Abbildung 2: Shell-Szenario der zukünftigen Energieversorgung



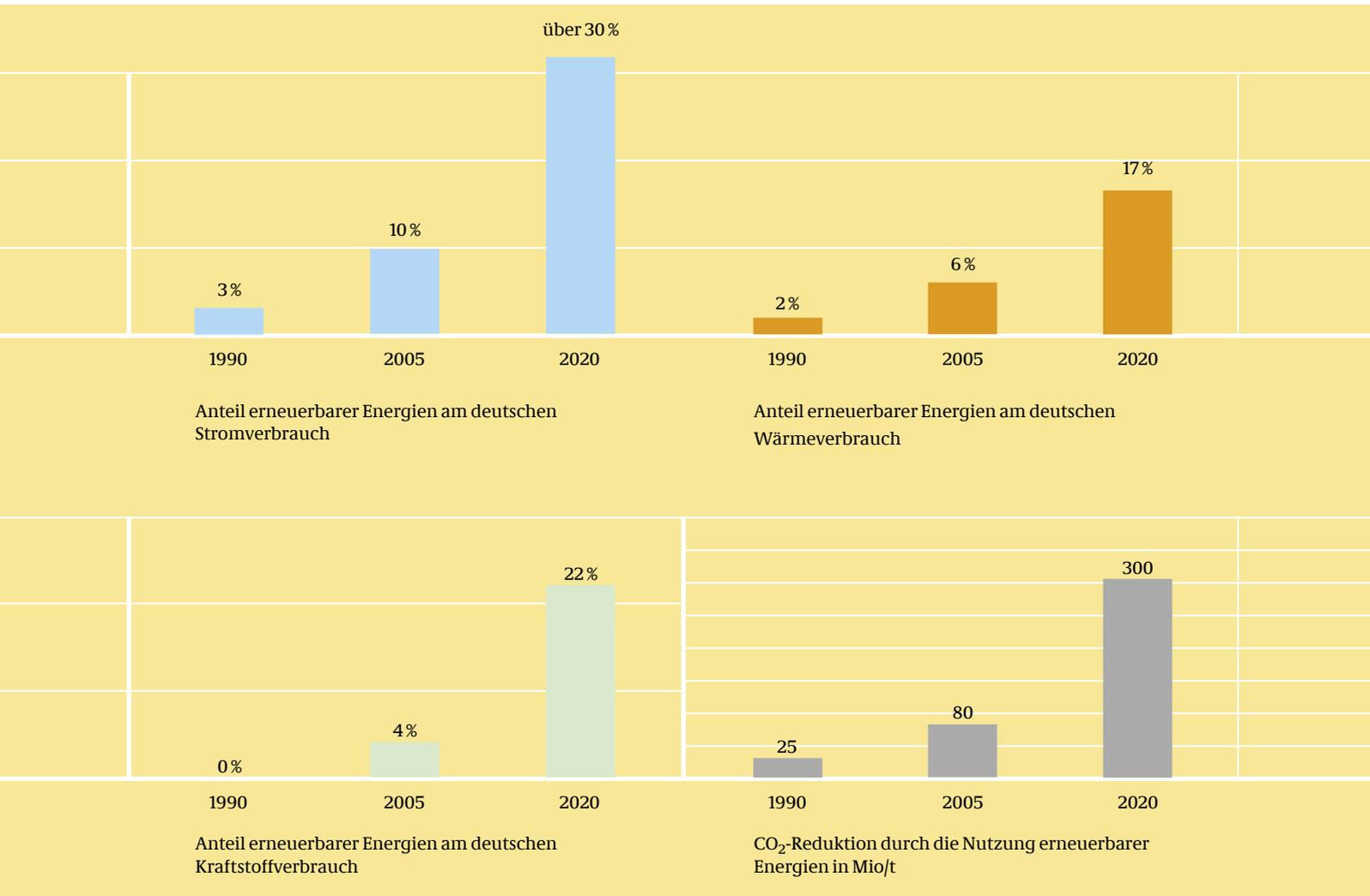
Quelle: Hennicke 2003

Abbildung 3: Energieverbrauch in Deutschland 2005



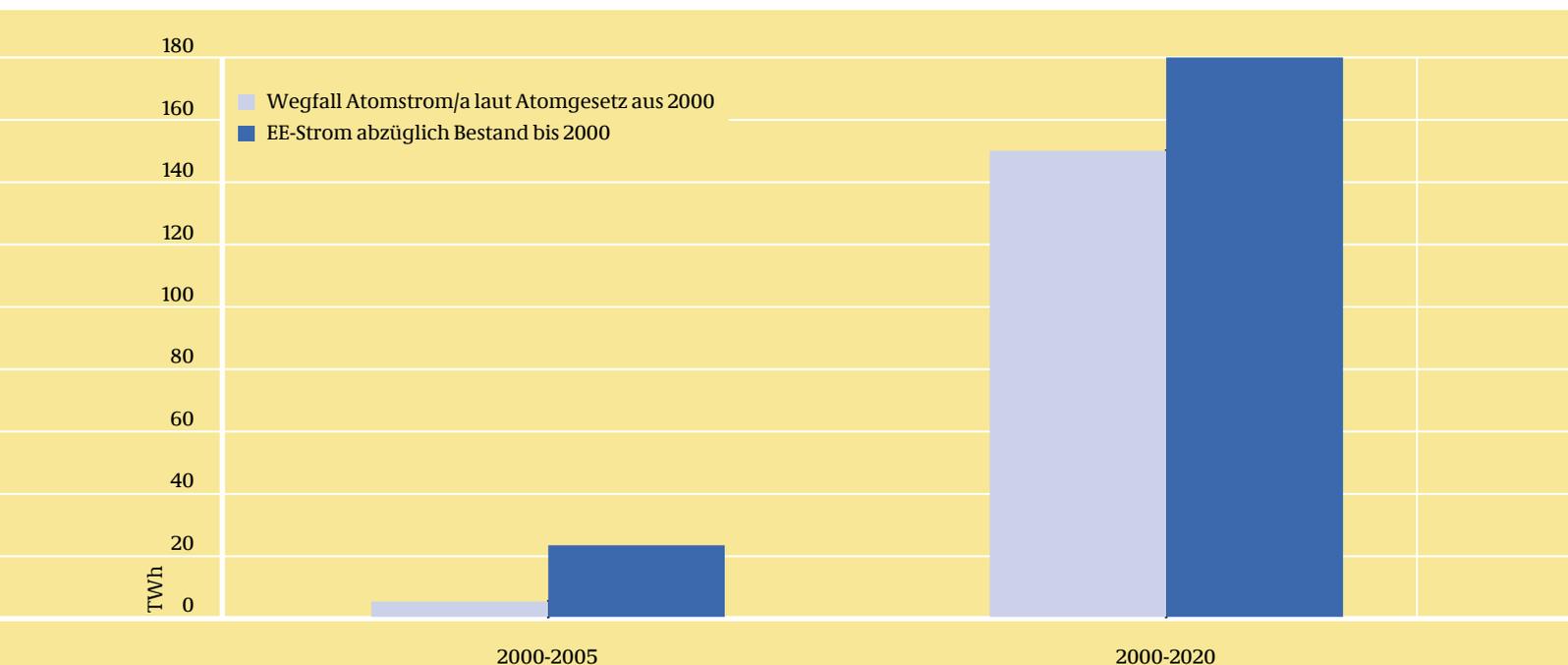
Quelle: Eigene Berechnung nach AG Energiebilanzen 2005, VDEW 2004, BMU 2005, BMWA 2004

Abbildung 4: Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland



Quelle: Eigene Berechnung nach BMU 2005

Abbildung 5: Atomausstieg und erneuerbare Energien



Quelle: Eigene Berechnung nach Bundesregierung 2000

Schon 2020 werden die erneuerbaren Energien mit einem Anteil von mindestens 20 Prozent am Endenergieverbrauch zum wichtigsten heimischen Energieträger in Deutschland. Mit der zusätzlichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien kann die Lücke in der Energieversorgung, die durch den Ausstieg aus der Atomkraft entsteht, leicht ausgeglichen werden (vgl. Abbildung 5).

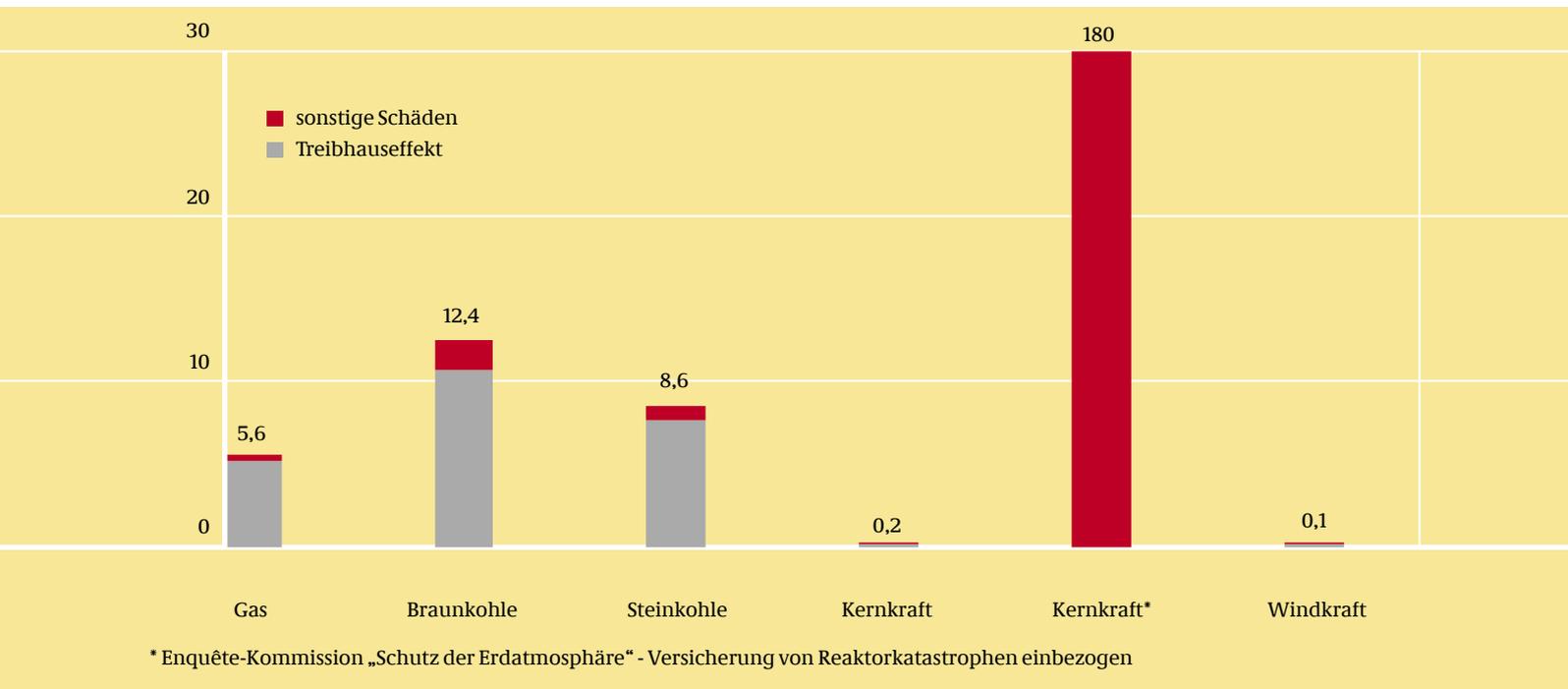
Bis 2020 werden Investitionen von über 200 Milliarden Euro in den Ausbau der erneuerbaren Energien fließen. Das entspricht dem Zehnfachen der bisher geplanten Investitionen in konventionelle Kraftwerke. 2020 werden mehr als 500.000 Menschen im Bereich der erneuerbaren Energien arbeiten. Außerdem werden erneuerbare Energien 2020 mehr als 300 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> und 20 Milliarden Euro an Energieimporten einsparen.

### 3. Externe Kosten der Energiebereitstellung

Erneuerbare Energien entlasten die Volkswirtschaft durch die Vermeidung der sozialen und ökologischen Folgekosten der konventionellen Energieerzeugung, die bislang zum größten Teil nicht von den Betreibern, sondern der Allgemeinheit, den Steuerzahlern und künftigen Generationen getragen werden. Wären diese externen Kosten in den Preisen der konventionellen Energien enthalten, wären die erneuerbaren Energien schon heute wettbewerbsfähig.

Die umfangreichste Studie zur Berechnung externer Kosten der Stromproduktion ist das ExternE-Projekt der EU. Das ExternE-Projekt kommt zu dem Ergebnis, dass die Stromproduktion jährlich externe Kosten in Höhe von 64,6 bis 90,5 Milliarden Euro verursacht (vgl. Abbildung 6). In dieser schon beträchtlichen Summe sind noch nicht einmal alle Kosten der Stromproduktion enthalten, da die Auswirkungen der Kernenergie im ExternE-Projekt nicht ausreichend erfasst worden sind (Oosterhuis 2001). Der strittigste Punkt ist das Ausmaß der Schäden durch einen möglichen Reaktorunfall. Andere Studien kommen auf der Basis höherer Unfallwahrscheinlichkeiten als der im ExternE-Projekt angenommenen und auf der Basis schwerer wiegender Unfallauswirkungen zu wesentlich höheren externen Kosten als das ExternE-Projekt (Hohmeyer 2002: 10; Oosterhuis 2001). Würden z.B. die Kraftwerksbetreiber verpflichtet, die gesamte potenzielle Schadenssumme eines Reaktorunfalls zu versichern, müsste nach Berechnungen von Moths eine Haftpflichtversicherung für einen derartigen Unfall die Zahlung einer Versicherungsprämie von 1,80 €/kWh verlangen, um den Schaden nach gängigen versicherungsmathematischen Kalkülen abdecken zu können (Moths 1994: 76).<sup>1</sup>

Abbildung 6: Externe Kosten der Stromerzeugung



Quelle: ExternE (EU), Treibhauseffekt auf der Basis von Schadenskosten in Höhe von 310 US\$/t nach Azar und Sterner (1996)

1 Die Berechnungen von Moths beruhen auf Ergebnissen von Ewers und Rennings (1994: 157), die auf einen möglichen Gesamtschaden von 5,3 Milliarden Euro eines Reaktorunfalls im Kernkraftwerk Biblis kommen.

Außerdem wurden im ExterneE-Projekt bei der Berechnung der externen Kosten des Nuclear Fuel Cycles nur die Auswirkungen der Kernenergie in Frankreich untersucht, obwohl weltweit die Uranabbau- und Uranverarbeitungsmethoden sowie auch die Umweltstandards sehr unterschiedlich sind. Zur Erläuterung der Umweltauswirkungen aller Prozessschritte der Kernenergie werden in Tabelle 1 die Abfallmengen aufgeführt, die jährlich durch die atomare Stromproduktion in Deutschland anfallen. Durch den Uranbergbau, die Brennelementfertigung und die Wiederaufbereitung fallen radioaktive Abfälle in großen Mengen an, die aufwendig entsorgt und für immer gesichert werden müssen. Die Halbwertszeit der Schlammhalden beträgt z.B. 4,5 Milliarden Jahre. Die Auswirkungen für die Menschen und die Umwelt sind gravierend. In Ländern wie Namibia, Russland und Kasachstan werden die Menschen massiv durch giftige und radioaktive Stäube und Sickerwässer des Uranbergbaus belastet.<sup>2</sup> Der weltweite Zubau von Reaktoren wird dieses Problem weiter verschärfen. Um den stetig wachsenden Uranbedarf decken zu können, müssen immer mehr minderwertige Uranvorkommen erschlossen und Erze genutzt werden, deren Urangehalt nur noch im Promillebereich liegt.

Außerdem müssen die Gesundheitsfolgen durch radioaktive Strahlung neu bewertet werden, wie die Europäische Kommission für Strahlenrisiken (ECRR) 2003 in ihrem Bericht „The Health Effects of Ionising Radiation Exposure at Low Doses for Radiation Protection Purposes“ festgestellt hat, da die herkömmlichen Risikomodelle nicht das gehäufte Auftreten von Krebs, insbesondere Leukämie, in der Bevölkerung erklären, die radioaktiven Isotopen aus anthropozentrischen Quellen ausgesetzt sind.

Laut ECRR sind weltweit zwischen 1945 und 1989 61,7 Millionen Erwachsene sowie 1,5 Millionen Kinder an Krebs aufgrund radioaktiver Einflüsse militärischer und ziviler Atomenergienutzung gestorben; 1,9 Millionen Babys wurden tot geboren. Die Strahlenexperten gehen davon aus, dass die Abgabe von Radioisotopen in die Umwelt im Rahmen ziviler Atomkraftnutzung für einen weiteren Anstieg von Krebs- und anderen Erkrankungen sorgen wird (ECRR 2003).

Tabelle 1: Abfallmengen der atomaren Stromproduktion in Deutschland

Abfallarten	Abfallmengen der atomaren Stromproduktion in Deutschland 2002 (156.000 GWh)
Abrammaterial der Uranerzförderung: hoher Schwermetallgehalt, schwach radioaktiv	10.000.000 t*
Abfälle der Erzaufbereitung (Tailingsdeponien): mehlartige Konsistenz, hoher Wassergehalt, problematische Lagerung, radioaktiv	1.900.000 t*
Abfälle der Urankonversion: radioaktiv, Sicherung im Zwischenlager notwendig	2.500 t fest 23.600 m <sup>3</sup> flüssig
Abfälle der Urananreicherung: angereichertes Uran, Endlagerung notwendig, potenzielles Waffenmaterial	220 m <sup>3</sup> fest 4.000 m <sup>3</sup> flüssig
Abfälle der Energiegewinnung: hochradioaktive abgebrannte Brennstäbe	470 t
Abfälle der Energiegewinnung: schwach- und mittelradioaktiv	3.000 m <sup>3</sup>

\* bei einer Urankonzentration von 0,2 Prozent

Begriffserläuterung: Das Abrammaterial der Uranerzgewinnung ist gering uranhaltiges Gestein, das im Tage- und Untertagebau bei der Freilegung der ergiebigeren uranhaltigen Erzschieben anfällt. Tailingsdeponien sind Schlammabsetzanlagen, die die Rückstände enthalten, die nach der mechanischen Zerkleinerung des Uranerzes und der chemischen Extraktion des Urans mittels Schwefelsäure verbleiben (Schmidt 2002). In den schwierig zu lagernden Schlämmen (mehlartige Konsistenz, hoher Wassergehalt) sind immer noch 85 Prozent der ursprünglichen Radioaktivität enthalten, darunter langlebige Strahler wie Thorium 230 und Radium 226 (Ehmke 1995).

Quellen: Eigene Berechnungen nach WISE (World Information Service on Energy);  
GEMIS Version 4.13 (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme);  
Schmidt (Öko-Institut Darmstadt) 2002;  
Bundesamt für Strahlenschutz (Deutschland) 2001

Ein weiteres Beispiel für bisher nicht erfasste externe Kosten sind die Folgen des Braunkohletagebaus<sup>3</sup>:

- Mehr als 300 Ortschaften wurden bisher weggebaggert und 100.000 Menschen umgesiedelt;
- mehr als 2.300 km<sup>2</sup> Fläche sind zerstört worden;
- hochwertige land- und forstwirtschaftliche Flächen können nicht wiederhergestellt werden;
- die Tagebauseen versauern, das Grundwasser wird durch hohe Schwermetallbelastungen gefährdet;
- ca. 100 Mrd. m<sup>3</sup> Wasser (die dreifache Menge des Bodensees) wurden seit 1960 in den deutschen Braunkohlerevierern abgepumpt;
- 6.000 km<sup>2</sup> sind von den Grundwasserabsenkungen betroffen;
- wertvolle Trinkwasservorräte sind zerstört worden;
- der Grundwasserhaushalt bleibt noch mehrere Jahrhunderte geschädigt;
- besonders gravierend ist die Lage im Mitteldeutschen Revier und der Lausitz (Ostdeutschland);
- durch die abnehmenden Niederschläge wird die Flutung der Braunkohletagebaue immer schwieriger;
- die Wasserdefizite haben bereits Auswirkungen auf die Wasserversorgung in Berlin.

Die Umweltauswirkungen der konventionellen Energieerzeugung werden durch Konflikte noch verschärft. Besonders durch Anschläge auf Erdöl- und Erdgaspipelines werden ganze Landstriche verseucht. In Kolumbien wurden alleine in den letzten Jahren mehr als 1.000 Anschläge auf Erdölpipelines verübt. Mehr als drei Millionen Barrel Öl – das 14fache der Exxon-Valdez-Katastrophe – verseuchen die Böden und Flüsse.

Zusätzlich zu den Umweltauswirkungen werden Volkswirtschaften durch die hohen Subventionen für die konventionellen Energien belastet. Alleine in die Kernenergie sind weltweit bis heute mehr als eine Billion Dollar geflossen. In Deutschland betragen die Subventionen für Kernenergie sowie Stein- und Braunkohle kumuliert mehr als 230 Milliarden Euro (vgl. Tabelle 2).

### Fazit

Im Fokus der Betrachtung der Umweltauswirkungen der Energiebereitstellung steht bisher der Klimawandel. Weitere Folgen, wie z.B. die Umweltschäden des Uranbergbaus sind aber gravierend und verdeutlichen, dass Kernenergie nicht nur wegen des Risikos eines katastrophalen Unfalls keine Option für eine klimafreundliche Energiebereitstellung sein kann. Auch die Folgen des Kohlebergbaus müssen stärker berücksichtigt werden. Durch das Abpumpen immenser Wassermengen im Braunkohlebergbau wird die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Dürreperioden in Ostdeutschland weiter erhöht. Der Kohlebergbau stellt zusammen mit der Kühlwasserentnahme für die Kohle- und Kernkraftwerke eine Gefahr für die zukünftige Wasserversorgung in Deutschland dar.

Die Substitution der fossilen Energien und der Kernkraft durch erneuerbare Energien ist daher zwingend notwendig.

---

3 Eigene Berechnungen nach BUND 2001; Grünewald 2001; LMBV 2003; Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung 2003, Glowa 2004.

Tabelle 2: Subventionen für Kernenergie und fossile Energieträger in Deutschland

<b>Subventionen für Kernenergie</b>	
Bau von Forschungsreaktoren	ca. 20 Mrd. € <sup>1</sup>
Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen (bis 2009)	3,4 Mrd. € <sup>2</sup> (laufende Vorhaben, davon am Standort Karlsruhe 2,1 Mrd. €)
Abriss des Atomversuchsreaktors Jülich (bis 2020)	ca. 500 Mio. € <sup>3</sup>
Betrieb und Stilllegung Endlager Morsleben	1,2 Mrd. € <sup>4</sup>
Öffentlicher Finanzierungsanteil an gescheiterten Projekten (Kalkar, Hamm-Uetrop, Wackersdorf, Hoberg, Nukem, Mox, Mühlheim-Kärlich)	ca. 9 Mrd. € <sup>5</sup>
Castortransporte	3 Mrd. € <sup>6</sup>
Sanierung Wismut (bis 2005)	6,6 Mrd. € <sup>7</sup>
Abriss/Endlagerung Kernkraftwerk Greifswald (2035)	ca. 3,7 Mrd. € <sup>8</sup>
Verlust von Steuereinnahmen aufgrund nicht versteuerter Rückstellungen	ca. 20 Mrd. € <sup>9</sup>
Staatshaftung oberhalb von 2,5 Mrd. € für Kernkraftwerke	??
<b>Subventionen für Steinkohle</b>	
Steinkohlesubventionen	146 Mrd. € (1980-2003) <sup>10</sup>
Lastenausgleich für die Bergbau BG	400 Mio. €/a <sup>11</sup>
Kosten für Abpumpungen und Bergschäden	500 Mio. €/a <sup>12</sup>
<b>Subventionen für Braunkohle</b>	
Braunkohleschutzklausel (Subventionierung der Kraftwerksmodernisierung durch höhere Strompreise für ostdeutsche Stromkunden)	8 Mrd. € <sup>13</sup>
Sanierung der mitteldeutschen und Lausitzer Braunkohlegebiete	bisher 6 Mrd. €, für die nächsten 2 Jahre weitere 2 Mrd. € <sup>14</sup>
Wasserentnahme („Sümpfungen“)	650 Mio. € <sup>15</sup>
Öffentliche Mittel für die Modernisierung von Braunkohlekraftwerken, z.B. des Kraftwerks Schkopau	ca. 300 Mio. €

Quellen: 1 Die Welt online 2000; 2 Forschungszentrum Karlsruhe 2002; 3 Schätzung des Bundesrechnungshofes. In: Eckert 2002; 4 Bundesamt für Strahlenschutz 2001; 5 Lüttke 1996; 6 BKWK 2002; 7 Wismuth GmbH 2003; 8 Energiewerke Nord GmbH (EWN). Kosten für Demontage, 40-jährige Zwischenlagerung, Endlagerung, Gebäuderückbau; 9 Die Welt online 2000; 10 Umweltbundesamt 2003: Abbau der Steinkohlesubventionen – Ergebnisse von Modellrechnungen; 11 Deutsches Institut für Altersvorsorge 2005: [http://www.dia-vorsorge.de/df\\_050320.htm](http://www.dia-vorsorge.de/df_050320.htm); 12 Angabe der Bundesregierung; 13 BKWK 2003; 14 Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH; 15 STATISTIK DER KOHLENWIRTSCHAFT 1,3 Mrd. m<sup>3</sup> Wasser x 0,5 € (Annahme: Wert des abgepumpten Wassers 0,5 €/m<sup>3</sup>)

## Literatur

- AGEE-Stat (2005): Energie und Umwelt in Zahlen 2005.
- AG Energiebilanzen (2005): Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik 2005.
- Azar, C. und T. Sterner (1996): Discounting and distributional considerations in the context of global warming. In: *Ecological Economics* 19, 169-184.
- BKWK (2002). Vortrag von Johannes van Bergen (CEO Stadtwerke Schwäbisch Hall) auf der BKWK-Konferenz am 12. 04. 02 in Berlin.
- BMU (2005): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung. Stand Juni 2005.
- BMWA (2004): Energiedaten 2004.
- BUND (2001): Die Braunkohle in der deutschen Energiewirtschaft.
- Bundesamt für Strahlenschutz (2001): Zwischenlager im Entsorgungskonzept für Deutschland. Vortrag von Dipl.-Ing. Wolfram König, Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz, auf der Wintertagung des Deutschen Atomforums am 01./02. Februar 2001 in Berlin.
- Bundesregierung (2000): Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 14. Juni 2000.
- Bundesregierung (2001): 18. Bundessubventionsbericht 2001.
- Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (2002): Zusammenfassung des TAB-Arbeitsberichtes Nr. 75 «Kernfusion». [www.tab.fzk.de/en/projekt/zusammenfassung/ab75.htm](http://www.tab.fzk.de/en/projekt/zusammenfassung/ab75.htm)
- CEPN (Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire) (1995): ExternE – Externalities of Energy. Vol. 5: Nuclear. Luxembourg.
- Deutsches Institut für Altersvorsorge (2005): [http://www.dia-vorsorge.de/df\\_050320.htm](http://www.dia-vorsorge.de/df_050320.htm)
- Die Welt online (2000): Laufzeiten, Importe, Subventionen – die Eckdaten des deutschen Ausstiegsszenarios. 04/18/2000.
- Diehl, P. (2001). Uranium mining and milling wastes: An introduction. [www.wise-uranium.org/uwui.html](http://www.wise-uranium.org/uwui.html).
- EC (European Commission) (1999): ExternE – externalities of energy. Vol. 10. National implementation. Luxembourg.
- Eckert, D. (2002): Großreinemachen in Jülich. In: taz 15.7.2002.
- ECRR (Europäische Kommission für Strahlenrisiken) (2003): The health effects of ionising radiation exposure at low doses for radiation protection purposes.
- EEA (2004): Energy subsidies in the European Union: A brief overview.
- Ehmke, W. (1995): Nadelöhr Atommüllentsorgung. Ökobüro Hanau.
- EREF (European Renewable Energies Federation) (2003): RES-E prices. First edition.
- Ewers, H.-J. und K. Rennings (1994): Economics of nuclear risks – A German study. In: Hohmeyer, O. und R. L. Ottinger [Hrsg.], *Social costs of energy – present status and future trends. Proceedings of an International Workshop held at Racine, Wisconsin, September 8-11, 1992.* Springer-Verlag, Berlin.
- Forschungszentrum Karlsruhe (2002): Halbjahresbericht über den Stand der BMBF-Stillegungsprojekte und der vom BMBF geförderten FuE-Arbeiten zu „Stilllegung/ Rückbau kerntechnischer Anlagen“. Berichtszeitraum: 01. Januar – 30. Juni 2002 (PTE-S Nr. 4).
- GEMIS Version 4.13 (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme).
- Glowa (2004): Thesen zu den Folgen des globalen Wandels auf Wasserverfügbarkeit und Wassernutzungskonflikte im Elbe-Einzugsgebiet (GLOWA-ELBE). Projektleiter: F. Wechsung, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
- Grünewald, U. (2001): Sanierung des Wasser- und Stoffhaushaltes in bergbaubeeinflussten Gewässereinzugsgebieten Ostdeutschlands – Probleme und Lösungsansätze. In: BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) [Hrsg.], *EG-Wasserrahmenrichtlinie und Bergbaufolgelandschaften. Internationaler Workshop, 13.-15. März 2001, Leipzig, 23-38.*
- Hennicke, P. (2003): Katastrophenkurs oder nachhaltige Entwicklung? Wege zu einem zukunftsfähigen Energiesystem. Vortrag am 22.5. 03 im Energieinstitut Vorarlberg.
- Hohmeyer, O. (2002): Ausarbeitung zum aktuellen Sachstand der wissenschaftlichen Debatte um externe Kosten im Auftrag der SPD-Fraktion des Deutschen Bundestages.
- IEA (2005): Key World Energy Statistics.
- Krewitt, W. und J. Nitsch (2002): Das EEG – eine Investition in die Zukunft zahlt sich schon heute aus. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 08/02.
- Larsen und Shah (1992): World energy subsidies and global carbon emissions. World Bank Research Paper 1002.
- Lüttke, M. (1996): Atomenergie: größter Subventionsempfänger. In: *Neue Energie* 11/96.
- LMBV (Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH) (2003): Einblicke. [www.lmbv.de/presseservice/medienverzeichnis/frame1.htm](http://www.lmbv.de/presseservice/medienverzeichnis/frame1.htm).
- MIT (2003): The future of nuclear power. An interdisciplinary MIT study.
- Moths, E. (1994): Internalization of external costs during the crisis of environmental policy or as a crisis for economic policy. In: Hohmeyer, O. und R. L. Ottinger [Hrsg.], *Social costs of energy – present status and future trends. Proceedings of an International Workshop held at Racine, Wisconsin, September 8-11, 1992.* Springer-Verlag, Berlin.
- Mpangana, S. (1992): (zuständig für Gesundheit und Sicherheit in der Nationalen Minenarbeiter-Gewerkschaft von Südafrika (NUM)) Vortrag auf dem World Uranium Hearing in Salzburg 1992; [www.ratical.com/radiation/WorldUraniumHearing/index.html](http://www.ratical.com/radiation/WorldUraniumHearing/index.html).
- Mutjavikua, C. (1992): (Generalsekretär der Gewerkschaft der Minenarbeiter von Namibia) Vortrag auf dem World Uranium Hearing in Salzburg 1992; [www.ratical.com/radiation/WorldUraniumHearing/index.html](http://www.ratical.com/radiation/WorldUraniumHearing/index.html).

Oosterhuis, F. (2001): Energy subsidies in the European Union. Final report, Institute for Environment Studies, Vrije Universiteit Amsterdam, July 2001. Working document of the European Parliament's DG for Research. Not yet published by the European Parliament.

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (2003): Brandenburgstudie 2003 – Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Autoren: F.-W. Gerstengarbe, F. Badeck, F. Hattermann, V. Krysanova, W. Lahmer, P. Lasch, M. Stock, F. Suckow, F. Wechsung, P. C. Werner.

Robinson, P. (1999): Impacts of uranium mining in Krasnokamensk. Environmental damage and policy issues in the uranium and gold mining districts of Chita oblast in the Russian Far East: A report on existing problems at Baley and Krasnokamensk and policy needs in the region. Southwest Research and Information Center.

Scheer, H. (2004): Kernenergie gehört ins Technikmuseum. Immer noch zu teuer, immer noch zu gefährlich: Eine Antwort auf Gero von Randows Plädoyer für die Atomkraft. In: Die Zeit 32/2004.

Umweltbundesamt (2003): Abbau der Steinkohlesubventionen.

UNEP & United Nations Foundation (2004). Energy subsidies: Lessons learned in assessing their impact and designing policy reforms.

VDEW Materialien (2004): Endenergieverbrauch 2003.

WISE (World Information Service on Energy). Nuclear fuel energy balance calculator. [www.antenna.nl/wise/uranium/nfce.html](http://www.antenna.nl/wise/uranium/nfce.html).

WISE Uranium Project. [www.antenna.nl/wise/uranium](http://www.antenna.nl/wise/uranium).

Wismuth GmbH (2003). [www.wismut.de](http://www.wismut.de).



## Forum: Mehr Zukunft mit weniger Energie

### Moderation:

Dr. Hans-Joachim Ziesing  
DIW Berlin

### Die Rolle der Energieeffizienz für eine erfolgreiche Klimaschutzpolitik

Ulrich Kelber  
MdB, stellvertretender Vorsitzender der SPD-Bundestagsfraktion

### Energieeffizienz in der Energieerzeugung

Dr. Felix Christian Matthes  
Koordinator des Bereichs Energie & Klimaschutz des Öko-Instituts

### Die Bedeutung der Energieeffizienz im Innovationswettbewerb

Dr. Joachim Hafkesbrink  
Geschäftsführer der Gesellschaft für Arbeits-, Reorganisations- und ökologische Wirtschaftsberatung mbH (ARÖW)

### Faktor 10 - Best Practice bei der energetischen Gebäudesanierung

Dr. Burkhard Schulze-Darup  
Architekt



*Forum „Mehr Zukunft mit weniger Energie“  
mit Dr. Felix Matthes, Öko-Institut, Ulrich Kelber, stv. Vorsitzender der SPD-Bundestagsfraktion,  
Dr. Hans-Joachim Ziesing, DIW Berlin und Moderator des Forums, Dr. Burkhard Schulze-Darup, Architekt (sitzend v.l.n.r.) und  
Dr. Joachim Hafkesbrink, Geschäftsführer der ARÖW am Rednerpult*



## Die Rolle der Energieeffizienz für eine erfolgreiche Klimaschutzpolitik<sup>1</sup>

Ulrich Kelber

Stellvertretender Vorsitzender der SPD-Bundestagsfraktion

Energieeffizienz ist in der Diskussion über Energiefragen in der Tat immer noch das vernachlässigte Thema. Ja, es findet sich in fast allen Sonntagsreden, es findet sich auch in der Koalitionsvereinbarung.

Ich halte das dort formulierte Ziel der Steigerung der Energieeffizienz<sup>2</sup> durchaus für erreichbar – aber ohne echte Maßnahmen, die jetzt in Angriff genommen werden, wird es nicht zu realisieren sein. Nur auf den Markt zu setzen, nur auf die Preissignale, wird nicht ausreichen, sondern die Rahmenbedingungen müssen sich ändern.

Es war auch für mich eine Enttäuschung, dass der Energiegipfel dieses Thema nicht behandelt hat. Es hätte das Thema Nummer eins sein müssen.

Auf dem Energiegipfel sind auch andere Themen weniger behandelt worden, als es eigentlich notwendig gewesen wäre – was vor allem dem Streit über die Atomenergie geschuldet ist. Dieser Streit ist gerade von Wirtschaftsminister Glos vorangetrieben worden, dessen Aufgabe es sein müsste, im Bereich der Energieeffizienz offiziell die Vorschläge zu machen. Denn die Zuständigkeit bei der Kompetenzverteilung zur Energiepolitik liegt für Fragen der Energieeffizienz bei ihm und nicht im Umweltministerium.

Wir werden in den nächsten Wochen darauf drängen, dass wir eine Debatte in Deutschland beginnen zu der Frage: Was steht im nationalen Energieeffizienzplan, den wir im Rahmen der europäischen Endenergieeffizienzrichtlinie bis 2007 abgeben müssen? Diese bleibt zwar in ihren Einsparungsvorschlägen weit hinter den deutschen Zielen zurück, aber eine nationale Strategie, die benennt, in welchen Bereichen was mit welchen Methoden unternommen werden soll, ist eine Grundvoraussetzung für die Politik.

Zur Rolle der Energieeffizienz für eine erfolgreiche Klimaschutzpolitik habe ich vier einfache Thesen entwickelt.

### These 1

Wir sind beim Klimaschutz umso erfolgreicher, je mehr Interessen wir mit unserer Klimaschutzstrategie bündeln können. Mit einer Energieeffizienz-Revolution lösen wir gleichzeitig Problemstellungen auf der Seite der Kosten der Energieversorgung, der Sicherheit der Energieversorgung und der Klimafolgen der Energieversorgung.

Ich glaube, Energieeffizienz hilft uns in der Klimaschutzpolitik, weil sie Interessen bündeln kann. Jetzt sitzen bei dieser Konferenz Menschen, die ein Faible für dieses Thema haben, die mehr machen wollen, die schneller vorangehen wollen.

Aber die Welt da draußen ist nicht so. In Deutschland nicht und in anderen Staaten schon gar nicht. In denen, die jetzt mächtig an Fahrt gewinnen – Indien, China – setzt man ebenfalls mehr auf nationale Interessen als auf multilaterale Ergebnisse. Auch Russland ist dem Kyoto-Protokoll nicht aus Altruismus beigetreten. Und auch eine neue amerikanische Administration wird andere Wege bevorzugen als die, die wir bisher in unserer Klimaschutzpolitik definiert haben.

Das heißt, wir müssen möglichst vielen Folgendes deutlich machen: Wo liegen ihre Interessen beim Klimaschutz? Energieeffizienz kann ein solches Thema sein: Erstens, weil es die Kostenseite anspricht, zweitens die Sicherheitsseite und drittens eben auch die Frage der Klimafolgen. Es werden zwar nicht diejenigen ein Interesse an Energieeffizienz haben, die noch über längere Zeit über fossile Energieressourcen verfügen. Aber diejenigen, die diese Energieträger nur noch für eine bestimmte Zeit zur Verfügung haben, und all jene, die diese importieren, müssten ein Interesse daran haben, sparsamer mit diesen Ressourcen umzugehen.

Die Energiepreise wird keiner von uns beeinflussen können. Sie werden durchschnittlich weiter ansteigen. Aber der Verbrauch verursacht am Ende die Kosten. Unsere Argumentation ist, dass wir nur an dieser Stellschraube drehen können – das gilt für Privathaushalte, für die Industrie und für ganze Volkswirtschaften – um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Nun zur Frage der Sicherheit: Ich weiß nicht, wer von Ihnen die Papiere zum G8-Gipfel in Moskau gelesen hat. Da wird einem wirklich angst und bange. Denn da ist ausschließlich die Rede davon, wie man mehr aus einer Ölquelle rausholen

1 Dieser Beitrag ist ein redaktionell bearbeitetes Transkript der gehaltenen Rede.

2 Verdopplung der Energieproduktivität bis 2020 gegenüber 1990 [Anmerkung der Redaktion].

kann und wie man dafür sorgen kann, dass wir mehr Lieferanten haben! Das Thema Nummer eins zum Stichwort Energieeffizienz war also: Wie können wir bestehende Öl- und Gasquellen effizienter ausbeuten?

Ich glaube, die beste Methode, die Sicherheit der Energieversorgung zu gewährleisten, ist, weniger Energie importieren zu müssen und weniger Energie zu verbrauchen. Die Auswirkungen eines geringeren Energieverbrauchs auf das Klima müssen nicht weiter erklärt werden.

### These 2

Konflikte um Ressourcen – ob direkt oder indirekt – werden die sicherheitspolitische Lage des 21. Jahrhunderts bestimmen. Weniger Verbrauch von Ressourcen ist – neben der Umstellung auf die Nutzung erneuerbarer Energien – der Schlüssel zu einer weltweiten Politik für Frieden, Stabilität und Entwicklung.

Wir haben bisher einen Weltenergiemarkt, auf dem die freie Marktwirtschaft ihre Regeln ausspielt. Das spüren wir Europäer an den Zapfsäulen. Wenn die Amerikaner nicht genügend Ressourcen haben für Diesel und Benzin, dann importieren sie sie aus Europa. Und der Preis steigt schneller als am Rohölmarkt.

Einige Tendenzen zeigen jedoch, dass die marktwirtschaftliche Logik – wer am meisten bezahlt, bekommt die Energie – nicht mehr lange funktionieren wird. In Ländern wie China investieren Staatskonzerne massiv in den Ankauf von Ressourcen. In immer mehr Ländern sind es ebenfalls Staatskonzerne, die Zugriff auf die verbliebenen Ressourcen haben. Das militärische Engagement – auch westlicher Staaten – findet vor allem dort statt, wo die Ressourcen sind. Und das alles ist ein Hinweis darauf, dass wir nicht mehr mit Sicherheit sagen können, dass in zehn, 20 oder 30 Jahren die Ressourcen dorthin gelangen, wo am meisten dafür gezahlt wird. Wohin Ressourcen gelangen, wird derjenige bestimmen, der die direkte oder indirekte Kontrolle über die Ressourcen hat.

Mein größter Albtraum ist die Frage, was es eigentlich für westliche Demokratien bedeuten würde, wenn sie nicht-marktwirtschaftliche Methoden einsetzen müssten, um an Ressourcen zu gelangen, wenn sie nicht auf Energieeffizienz oder heimische Versorgung bauen würden. Wie lange wäre es für eine westliche Demokratie auszuhalten, sich mit militärischen Optionen und militärischem Druck oder durch die Etablierung entsprechender Regime die Energieversorgung zu sichern? Ich glaube, das hätte auch Auswirkungen auf das Binnenklima, nicht nur auf internationale Beziehungen.

### These 3

Nur eine Effizienz-Revolution ermöglicht Staaten wie China, Indien, Brasilien usw. eine faire Entwicklungschance. Unsere derzeitige Energieversorgung und Mobilität sind auf solche Bevölkerungszahlen technisch und ökologisch nicht erweiterbar.

Wir haben heute eine Weltwirtschaft, die darauf aufgebaut ist, Wohlstand für etwa eine Milliarde Menschen zu garantieren. Jetzt klopfen aber drei weitere Milliarden ziemlich heftig an die Tür, vor allem in den zwei ganz großen Staaten China und Indien, aber auch in weiteren großen und kleineren Ländern. Die wollen genauso partizipieren. Sie sagen, sie möchten spätestens am Ende des Jahrhunderts auf dem gleichen Entwicklungsstand sein. Sie wollen Mitte des Jahrhunderts mindestens auf dem Stand der osteuropäischen Transformationsländer sein – und auch deren Wohlstand wächst!

Wie organisiert man eigentlich eine Ressourcenwirtschaft so, dass vier Milliarden – irgendwann sieben oder neun Milliarden – Menschen in Wohlstand leben können?

Klar ist, mit der Art der Energieversorgung, der Mobilitätsversorgung, die wir heute haben, ist das nicht einmal ansatzweise realisierbar. Am deutlichsten merkt man das übrigens bei den Atomenergiedebatten, wenn aufgezählt wird, wie viele Atomkraftwerke gebaut werden sollen und kurz darauf versichert wird, wir hätten noch für mindestens 130 Jahre Uranbrennstoff zu vernünftigen Preisen zur Verfügung. Wenn man die beiden Zahlen kombiniert – eine Versechsfachung der Produktion und 130 Jahre Reichweite bei statischer Verwendung – zeigt sich, dass das alles nicht zusammenpasst.

Eine Energieeffizienz-Revolution ist die dringende Voraussetzung, um mehr Menschen den gleichen Wohlstand zu ermöglichen – um überhaupt eine faire Entwicklung zu gewährleisten.

### These 4

Eine Effizienz-Revolution kann mit simplen Methoden angestoßen werden: mit spezifischen Vorgaben, Emissionshandelsvorschriften, Kraft-Wärme-Kopplung, Energieeffizienz-Fonds, erhöhten Recycling-Anteilen, Top-Runner-Systematik.

Wir haben an vielen Stellen noch Probleme zu definieren: Wie stoßen wir eine echte Ressourceneffizienz-Revolution an, die über das hinausgeht, was Industrie, Wirtschaft und Privathaushalte bei der Verwendung von Rohstoffen bisher gemacht haben?

Im Bereich der Energie kennen wir eigentlich die meisten Instrumente, die uns zur Verfügung stehen. Sie müssen nur konsequent angewandt werden. Natürlich ist es für jemanden, der Politik macht, frustrierend, wenn es ein Instrument wie den Energiepass gibt, und trotz vieler Befürworter gelingt es einer Lobby-Gruppe, sich gegen einen verbindlichen Energiepass politisch durchzusetzen. Das sind die Rückschläge.

Aber ich glaube, es liegen wirklich sehr viele Ideen auf dem Tisch. Wir können im Bereich der spezifischen Vorgaben viel machen, auch im Emissionshandel. Ich habe die Kritik vorhin am Emissionshandel gehört – wir werden unsere Haltung als SPD-Fraktion auch da definieren.

Unterschiede bei der Behandlung von Kondensationskraftwerken und Kraft-Wärme-Kopplungs-Kraftwerken zu machen wäre ein Beispiel, die Energieeffizienz zu fördern, indem man die energieeffizientere Art besser stellt. Wir werden im Bereich der Energieeffizienzfonds arbeiten müssen. Wir werden uns auch fragen müssen, wie wir vor allem im Bereich des Rohstoff- und des Energieeinsatzes eine kombinierte Strategie entwickeln können, um mit höheren, verbindlichen Recycling-Anteilen zu arbeiten und darüber den Energieeinsatz zu reduzieren.

Mit dem letzten Beispiel komme ich zu meinem „Lieblingskind“: der Top-Runner-Systematik, die sich eindeutig auch im Koalitionsvertrag wiederfindet. Hinter der Top-Runner-Systematik steckt folgende Überlegung: Lasst uns doch Innovationswettläufe um Energie- und Ressourceneffizienz dadurch anstoßen, dass wir die Idee der Normung und der Standardvorgabe völlig auf den Kopf stellen: Der Beste setzt den Standard und den müssen andere innerhalb von wenigen Jahren erreichen. Damit wird ein dauernder dynamischer Wettbewerb um energieeffiziente Produkte ausgelöst.

Als Kind habe ich mal diesen Schüttelreim gelernt: „Dem Ingeniör ist nichts zu schwör.“ Daran müssten wir uns eigentlich wieder messen. Dann wäre einiges erreichbar!



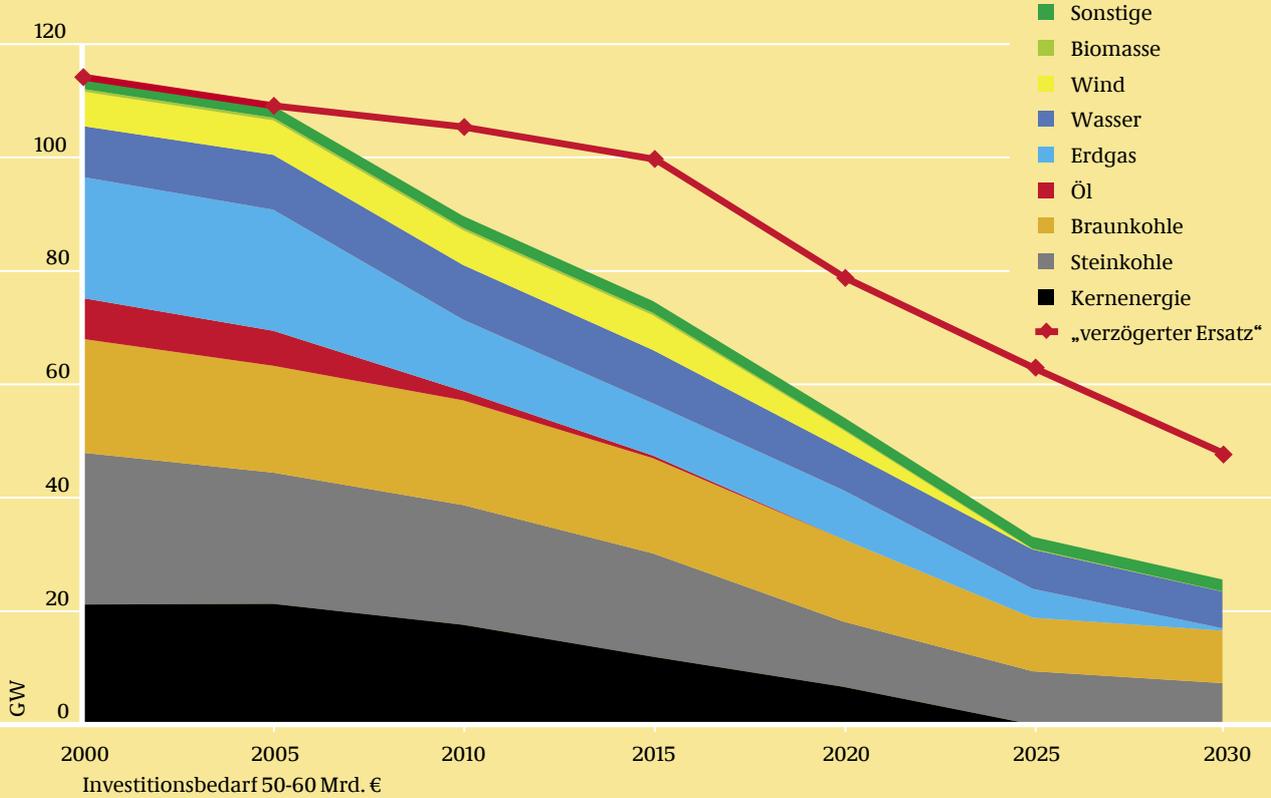
## Energieeffizienz in der Energieerzeugung

Dr. Felix Christian Matthes

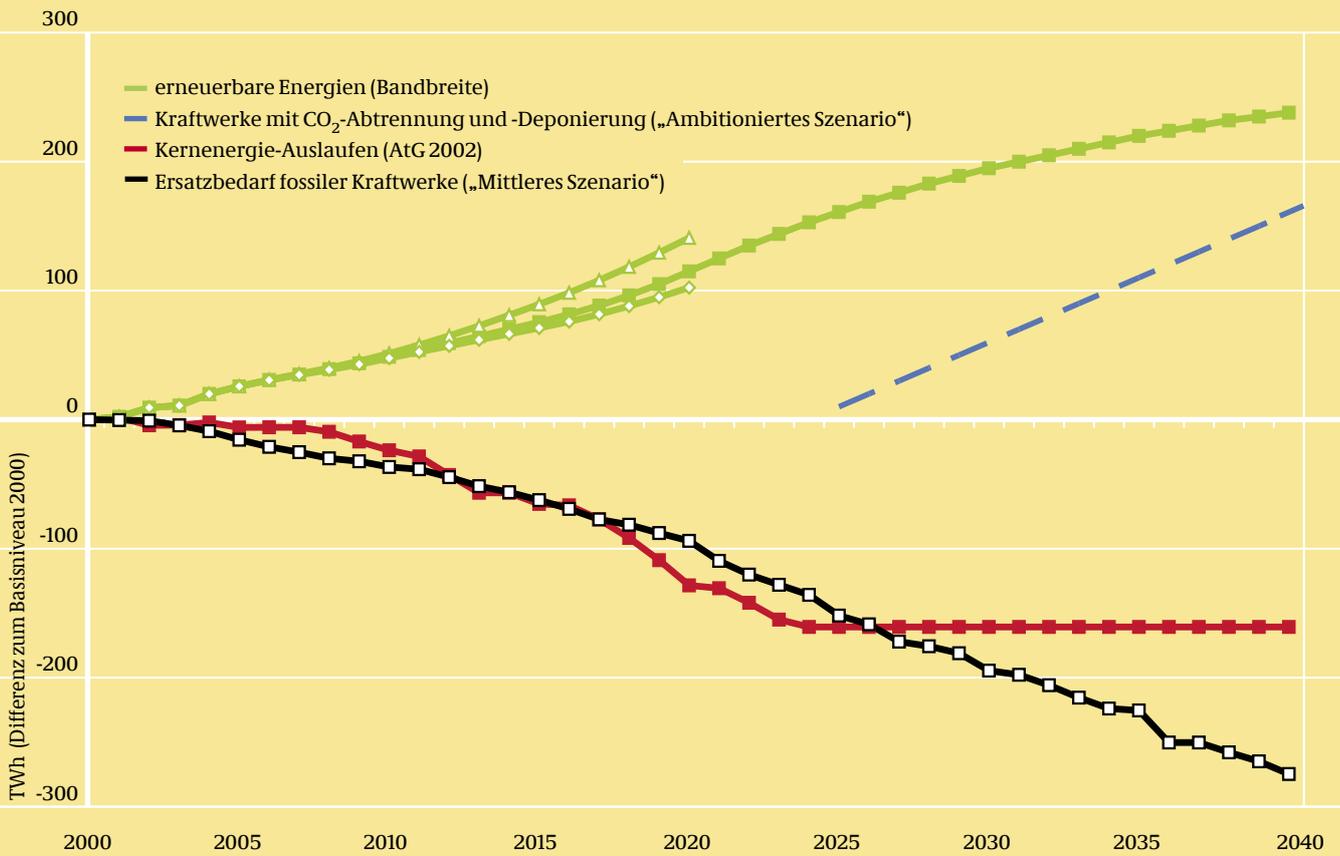
Koordinator des Bereichs Energie & Klimaschutz des Öko-Instituts

Folienpräsentation

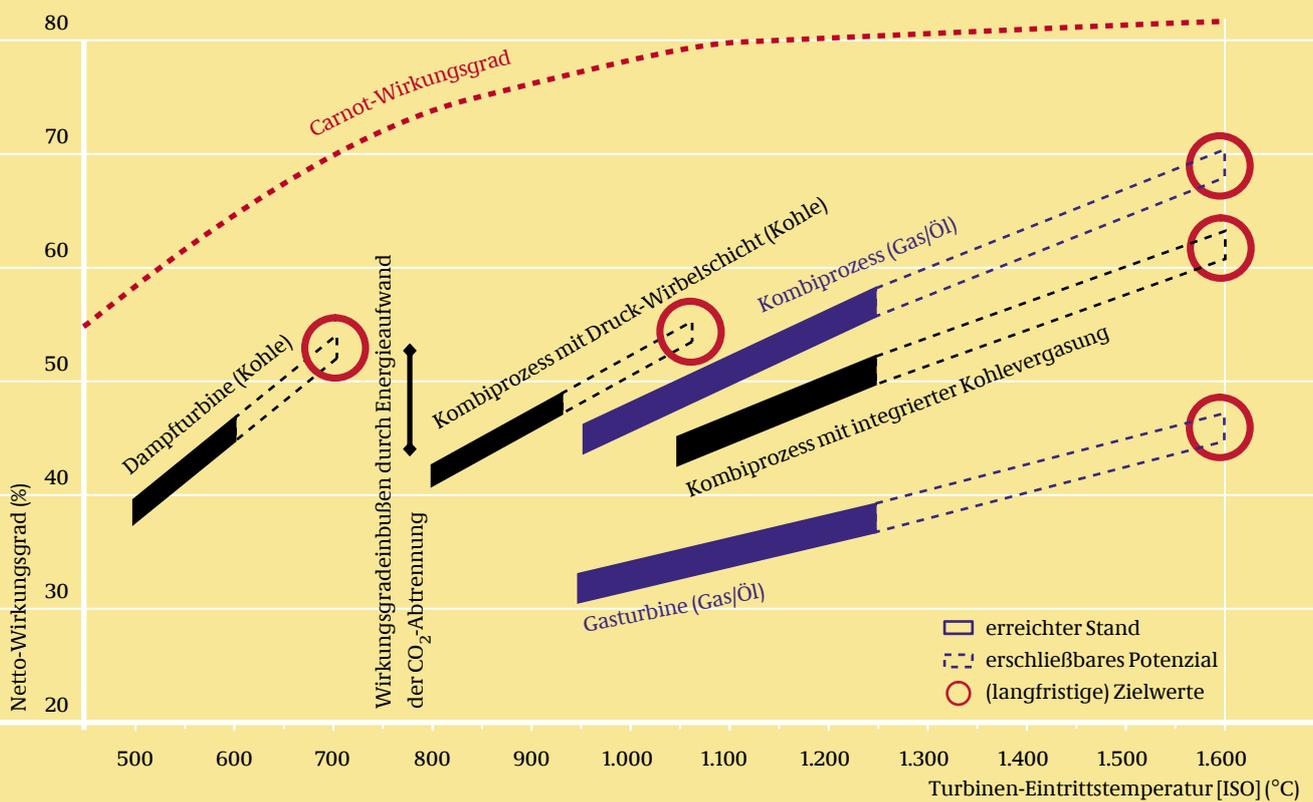
Folie 1:  
**Investitionsbedarf Stromerzeugung**  
**Alter des Kapitalstocks & Politik**



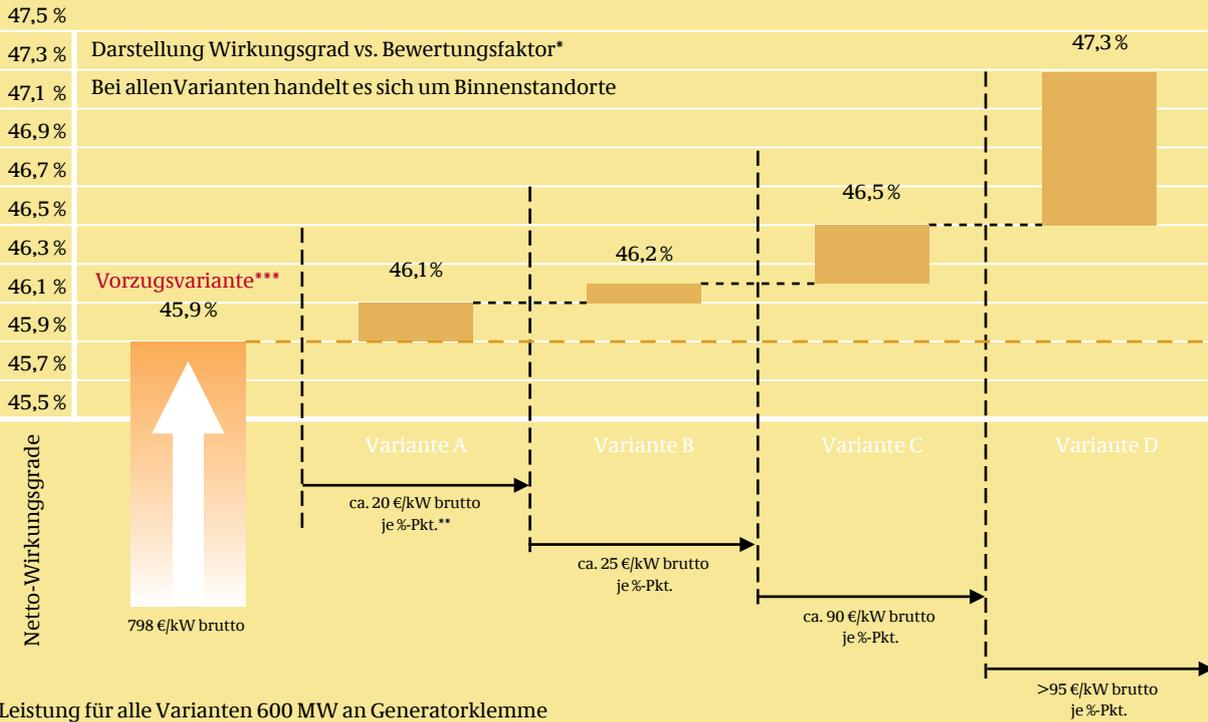
Folie 2:  
Politische Rahmenbedingungen des Investitionsfensters



Folie 3:  
Effizienz-Fortschritte bei Kondensationskraftwerken



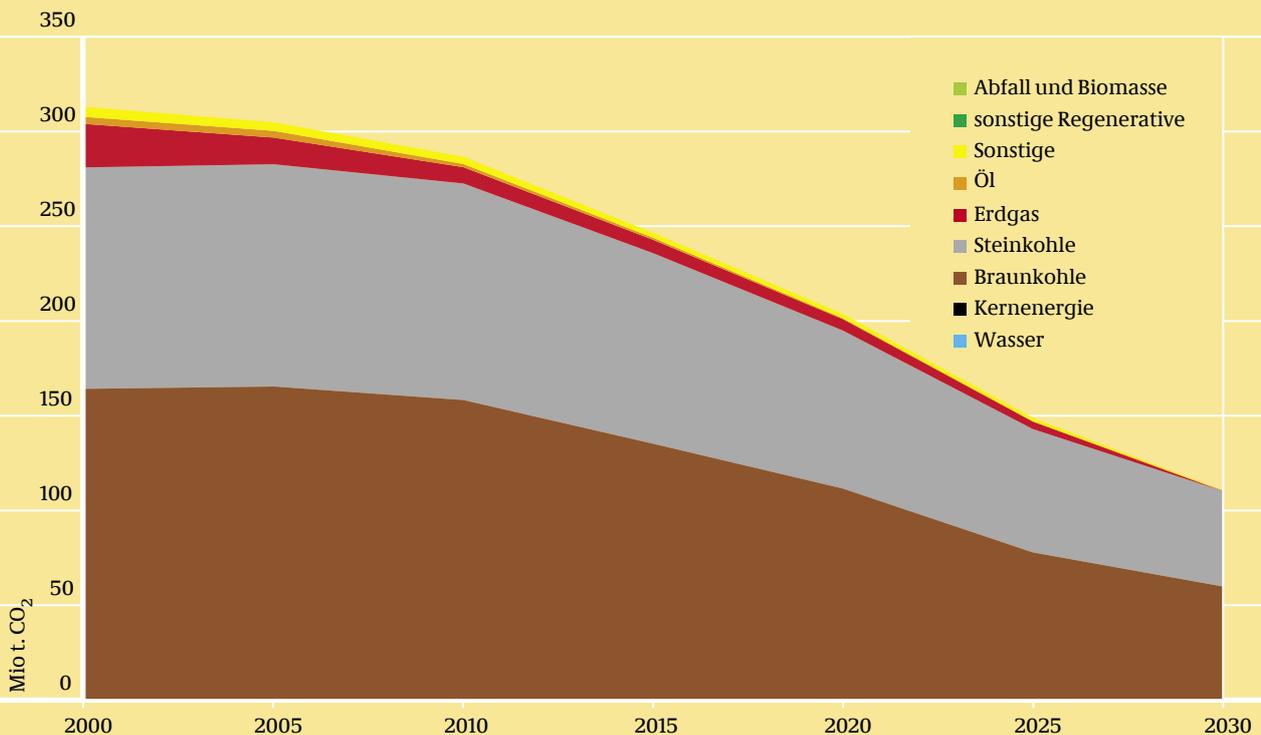
Folie 4:  
**Bestverfügbare Technik ist eine ökonomische Kategorie**



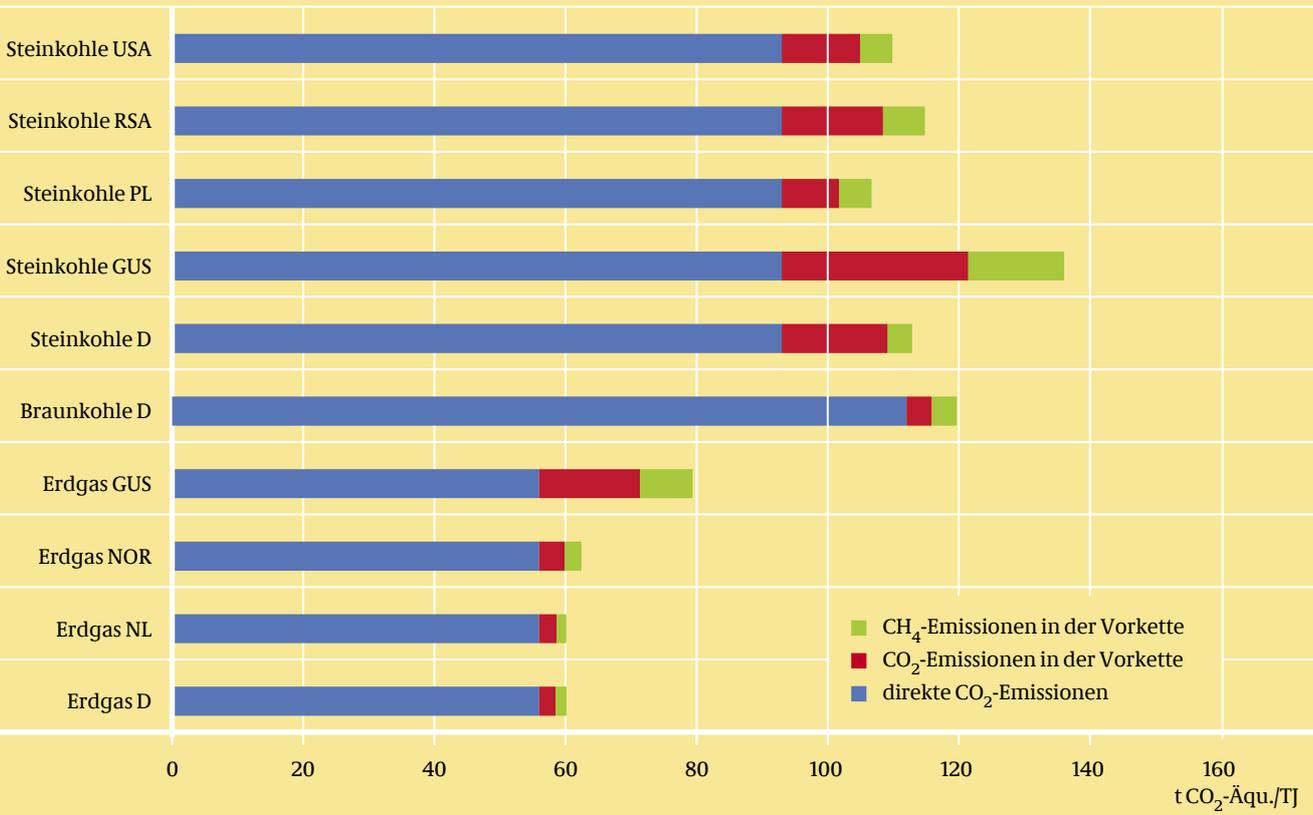
Leistung für alle Varianten 600 MW an Generatorklemme

- \* Wirkungsgradsteigerung in €/kW brutto/%-Pkt.
- \*\* Der Wirkungsgradgewinn der Variante A enthält zusätzlich eine Reduzierung des Eigenbedarfs, die eine weitere Mehrinvestition in Höhe von ca. 8 €/kW brutto erfordert.
- \*\*\* Die Vorzugsvariante wurde im Rahmen der Konzeptstudie untersucht, die Varianten A-D wurden abgeleitet.

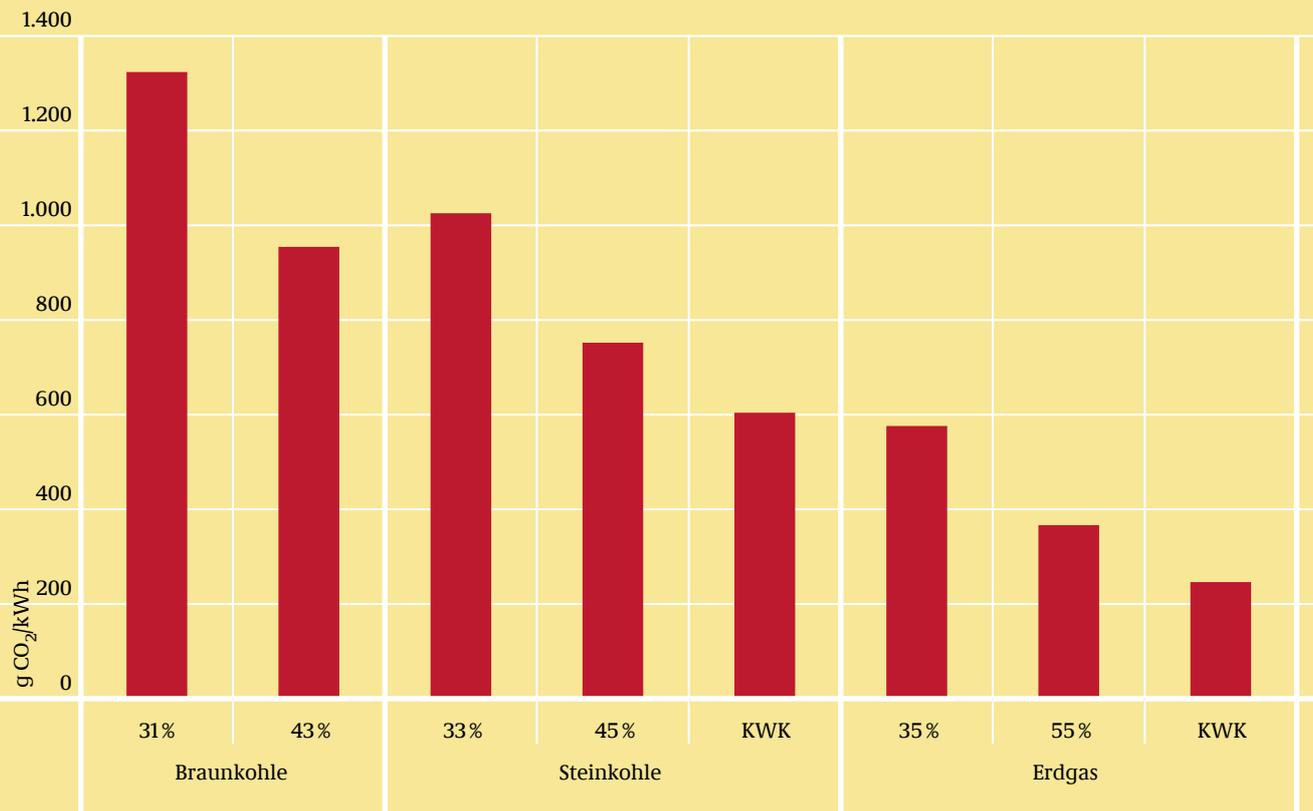
Folie 5:  
**CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kraftwerksbestandes**



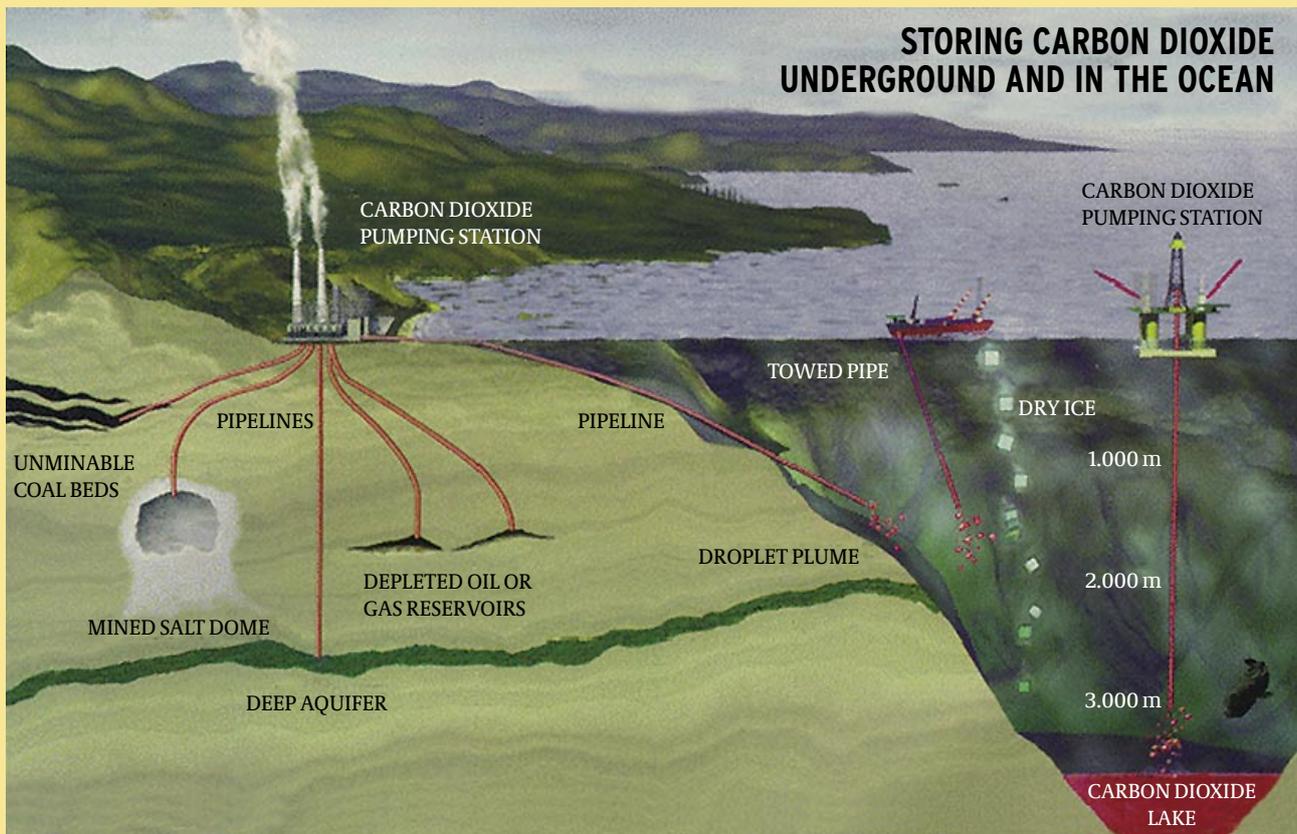
Folie 6:  
Spezifische THG-Emissionen verschiedener fossiler Brennstoffe



Folie 7:  
Effizienz, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kraft-Wärme-Kopplung



Folie 8:  
**CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Speicherung als Zukunftstechnologie**



Folie 9:  
**Schlussfolgerung**

- Stromerzeugungssektor ist ein Schlüsselsektor
  - großer Anteil am Energieverbrauch
  - langlebiger & emissionsintensiver Kapitalstock
- Effizienzerhöhungen im fossilen Kraftwerkspark sind notwendig
  - aber keineswegs genug
- Brennstoffwechsel ist unabdingbar
  - herausragende Rolle für erneuerbare Energien, Erdgasverstromung & KWK
- Stromeinsparung spielt zentrale Rolle
- Zukunftstechnologie CCS
- ohne klimaverträglichen „Einstieg“ keinen nachhaltigen Ausstieg



## Die Bedeutung der Energieeffizienz im Innovationswettbewerb

Joachim Hafkesbrink<sup>1</sup>

Geschäftsführer der Gesellschaft für Arbeits-, Reorganisations- und ökologische Wirtschaftsberatung mbH (ARÖW)

### 1. Einleitung

Nach Angaben des Hamburger Weltwirtschaftlichen Archivs hat sich der globale Energieverbrauch seit 1970 nahezu verdoppelt.<sup>2</sup> Die Internationale Energieagentur (IEA) schätzt, dass bis 2030 der globale Bedarf nochmals um 50 Prozent wächst<sup>3</sup>, wenn keine Gegenmaßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz greifen.

Die Gründe dafür sind vielfältig. Die drei wichtigsten Treiber sind:

- Verbraucherverhalten: Trotz einiger good news – so ist zum Beispiel die Zuwachsrate beim Stromverbrauch in Deutschland (derzeit ca. 520 Mrd. kWh/Jahr) von zwei Prozent in den 80er Jahren über etwa ein Prozent in den 90er Jahren auf nunmehr ca. 0,7 Prozent gesunken – ist eine wirkliche Wende zur 2.000-Watt-Gesellschaft (vgl. Jochem 2003) nicht absehbar. Die Probleme sind Bequemlichkeit und Verhaltenstrajektorien: Solange der Bürger mit seiner Situation halbwegs zufrieden ist, gibt es keine Nachfragewende. Wer zieht denn schon zu Hause den Stecker aus allen Elektrogeräten, um den Standby-Stromverbrauch zu vermeiden? Wer hat denn schon alle Lampen durch Energiesparlampen ersetzt?
- Demographische Entwicklung und Patchwork-Lifestyles: „Just retired“ – neue Wohn- und Lebensformen sowie die starke Zunahme von Einpersonenhaushalten führen zu einer zunehmenden Elektrifizierung (IT-Domotik<sup>4</sup> etc.). Inwieweit der Gesamtenergieverbrauch durch insgesamt rückläufige Bevölkerungszahlen sinkt oder durch Elektrifizierung steigt, kann noch nicht gesagt werden.
- Weltweit fortschreitende Industrialisierung: Der wirtschaftliche Aufschwung, die wachsende Bevölkerung und die Erhöhung des Lebensstandards in den Entwicklungs- und Schwellenländern führen zu einem dramatischen Anstieg des Energieverbrauchs.

Mit der Verknappung fossiler Ressourcen werden jedenfalls die Energiepreise stetig steigen. So ist der Preis für Rohöl von 1995 bis 2005 um ca. 350 Prozent gestiegen, ein Barrel kostet jetzt ca. 60 US-Dollar, umgerechnet 0,35 €/l. Damit einher gehen Preisanstiege bei Heizkosten (von 2000 bis 2005 um ca. 22 Prozent, im Vergleich dazu: von 1990 bis 2005 um ca. acht Prozent), Benzinkosten etc.

Der vorliegende Beitrag skizziert vor diesem Hintergrund die Bedeutung und Rolle der Energieeffizienz im Innovationswettbewerb der deutschen Wirtschaft. Diesbezügliche Treiber und Hemmnisse für den Innovationswettbewerb werden geschildert, und es wird ein Bogen von gesamtwirtschaftlichen Rahmenbedingungen bis hin zu einzelwirtschaftlichen Innovationsstrategien geschlagen. Beispiele aus dem Arbeitsbereich des Autors illustrieren absehbare Trends hin zu einer wachsenden Bedeutung der Energieeffizienz im Innovationsprozess. Der Beitrag schließt mit einigen Thesen zum Verhältnis von Energie und Innovation.

### 2. Energieeffizienz und Innovationswettbewerb – einige Begriffe

Unter Energieeffizienz soll hier das Verhältnis von aufgewendeter Energie und genutzter Energie in einem System verstanden werden.<sup>5</sup> Das System kann ein energiebetriebenes Gerät, eine Energieumwandlungskette oder die Volkswirtschaft als Ganzes sein. Eine hohe Energieeffizienz ist ein Maß dafür, dass ein hoher Wirkungsgrad erreicht wird, also Energieverluste möglichst klein gehalten werden und die Nutzenergie möglichst maximiert wird. Auf der Ebene der umweltökonomischen Gesamtrechnung wird entsprechend unter Energieeffizienz das Verhältnis des Bruttoinlandsproduktes zum Primärenergieverbrauch verstanden, im Bereich der Umwandlungskette von Primär- in Nutzenergie das Verhältnis von Nutzenergie zu Energieaufwand (= Wirkungsgrad). Auf der betrieblichen Ebene wird es dann sehr konkret, es geht um die

1 Ich danke Stefan Gößling-Reisemann, Universität Bremen – FB 4: Technikgestaltung und Technologieentwicklung – für wertvolle Hinweise zum Beitrag.

2 Vgl. [http://www.hwwa.de/Forschung/Publikationen/Wirtschaftsdienst/2005/wd\\_docs2005/wd0508-braeuningner.pdf](http://www.hwwa.de/Forschung/Publikationen/Wirtschaftsdienst/2005/wd_docs2005/wd0508-braeuningner.pdf).

3 Vgl. <http://www.worldenergyoutlook.org/>.

4 Unter IT-Domotik wird die vollständige Durchdringung von Haustechnik mit IT-Systemen verstanden.

5 Korrekt wäre eigentlich, hier von Exergie zu sprechen: dem Anteil an nutzbarer Energie. Exergie bleibt nicht erhalten (anders als die Energie), sie wird während der Nutzung wirklich zerstört. Energie hingegen wird im Allgemeinen nur umgewandelt (z.B. von chemischer in thermische Energie bei der Verbrennung). Meistens wird der Begriff Energie (unwissentlich) so benutzt, als meinte man Exergie.

effiziente Energienutzung in der Produktion, z.B. im Hinblick auf den Energieverbrauch von Pumpen, Motoren etc., bei der Erstellung von Dienstleistungen, im Gebäude- oder Verkehrsbereich bzw. insgesamt bei der Produktnutzung oder schlussendlich bei der Verwertung von Abfällen, beim Recycling bzw. bei der energetischen Verwertung.<sup>6</sup>

Innovationswettbewerb ist gemäß der Innovationstheorie die Grundlage für Wachstum, komparative Vorteile und Beschäftigung. Innovationswettbewerb als Wettbewerb um die erfolgreiche Umwandlung von Wissen in neue Produkte, Verfahren, Organisationsformen, Institutionen etc. spielt sich in und zwischen Firmen und Forschungseinrichtungen, Branchen, Regionen, Volkswirtschaften, jedenfalls immer in oder auch zwischen Innovationssystemen ab. Die Innovationsprozesse reichen je nach Ausmaß der Neuerung von inkrementellen bis hin zu Systeminnovationen, also von z.B. kleineren Produktverbesserungen bis hin zu umfassenden Veränderungen der Elemente und Strukturen eines Innovationssystems. Die Akteure in einem Innovationssystem sind die Firmen in der Ausrüster- und Wertschöpfungskette, die Universitäten und Forschungseinrichtungen, Intermediäre und Dienstleister wie Berater, Banken und Versicherungen, Wettbewerber, Nichtregierungsorganisationen (NGOs), kurz: alle Stakeholder, die im Hinblick auf das Ergebnis der Innovationstätigkeit bestimmte Interessen haben. Wichtig für das Verständnis von Innovationssystemen, ihrer Funktion, Effektivität und Effizienz, ist auch der Kontext: Vielfältige Rahmenbedingungen und Treiber prägen die Innovationstätigkeit der Akteure in einem Innovationssystem, wie z.B. Gesetze, Verordnungen und andere staatliche Anreizsysteme, etwa Förderprogramme, das Verhalten von globalen oder lokalen Wettbewerbern, die Verfügbarkeit von grundlegenden Enabling-Technologien etc.

Innovationswettbewerb wird hier als zentrale Möglichkeit für Innovationsakteure zur Erlangung komparativer Vorteile im Benchmarking gegenüber ihren Konkurrenten betrachtet. In diesem Beitrag wird im Rahmen des Innovationswettbewerbs unterschieden zwischen Technologie- und Verfahrenswettbewerb, Produkt- und Dienstleistungswettbewerb, Institutionenwettbewerb einschließlich neuer Organisationsmodelle sowie Wissens- und Kompetenzwettbewerb. Energieeffizienz spielt – wie gezeigt wird – in all diesen Teilbereichen des Innovationswettbewerbs eine zunehmend wichtige Rolle, bedingt durch Trends in den Rahmenbedingungen und Anreizsystemen, die auf das Innovationssystem wirken. Energieeffizienz ist damit Gegenstand vielfältiger Gestaltungsmaßnahmen auf der Ebene von Politik (Makroebene), von Verbänden und NGOs (auf der Mesoebene), von Unternehmen und Individuen (auf der Mikroebene).

Schließlich sollen als energiebezogene Innovationen solche Neuerungen bezeichnet werden, die mit dem Ziel umgesetzt werden, Wettbewerbsfähigkeit durch Win-Win-Strategien zu erreichen, d.h. neben der Verbesserung der wirtschaftlichen mindestens auch eine Verbesserung der Energieeffizienz anstreben. Energiebezogene Innovationen können damit Nachhaltigkeitsziele in einem Innovationssystem wirksam unterstützen, insbesondere wenn – wie auch gezeigt wird – sie auch zum sozialen Ausgleich, zu Beschäftigungszuwächsen, zur Gesundheitssicherung und Qualifizierung beitragen (Win-Win-Win-Situation).

### 3. Innovationstreiber

Zur Diskussion der Bedeutung von Energieeffizienz im Innovationswettbewerb bietet es sich an, zunächst die wichtigsten Treiber und Hemmnisse für energiebezogene Innovationen herauszuarbeiten. Hierzu wird unterschieden zwischen folgenden Innovationstreibern:

#### 3.1 Regulatory Push

Gesetze, Verordnungen und andere staatliche Anreizsysteme, die verhaltenssteuernd wirken über Compliance-Anforderungen, marktwirtschaftliche Instrumente der Politiksteuerung oder etwa Fördermaßnahmen unter dem Subsidiaritätsprinzip. Eine wichtige Rolle spielen hier:

- EU-Rahmenbedingungen (Lissabon-Strategie, Cardiff-Prozess etc. sowie die Umsetzung der EU-Nachhaltigkeitspolitik über Richtlinien, freiwillige Vereinbarungen mit der Industrie etc.), wie z.B. Emission Trading Schemes, Integrierte Produktpolitik (IPP) der EU<sup>7</sup>, die EuP-Richtlinie<sup>8</sup> über energiebetriebene Produkte, die EU-Richtlinie über

6 Wir verwenden hier demnach einen bewusst weit gefassten Begriff der Energieeffizienz, d.h. angelehnt an die jeweilige Betrachtungsebene: a) für das Verhältnis von Nutzen und Aufwand in energetischen Einheiten, b) in monetären Einheiten (BSP/Primärenergiebedarf) und c) in betriebswirtschaftlichen Einheiten: Endenergiebedarf pro Produkt oder pro funktionelle Einheit.

7 IPP: Integrierte Produktpolitik – Mitteilung der Kommission (KOM 302) endgültig vom 18.06.2003 „Integrierte Produktpolitik – Auf den ökologischen Lebenszyklus-Ansatz aufbauen“.

8 Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.

Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen<sup>9</sup>, das Motor Challenge Program (MCP)<sup>10</sup>, Energieverbrauchs-kennzeichnungen etc.,

- nationale Gesetze und Verordnungen sowie freiwillige Selbstverpflichtungen, wie z.B. das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das Einspeisevergütungen regelt, zahlreiche Verordnungen im Ordnungsrecht mit Energiebezug (z.B. die BatterieVO), Regelungen im Haftungsrecht, im Steuerrecht (Ökosteuern) etc.,
- Förderprogramme der EU, des Bundes und der Länder mit Bezug zu Energiethemen (z.B. das Energieforschungsprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft (BMWi), das Forschungsprogramm Nachhaltigkeit des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), die Forschungsförderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Zinsverbilligungen für Investitionen in Gebäudesanierung der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) etc.), die Anreize für energiebezogene Innovations- und Investitionstätigkeit bieten,
- Good-Practice-Beispiele in anderen nationalen Innovationssystemen, die zur Nachahmung anregen: So ist z.B. der Top-Runner Approach aus Japan (das energieeffizienteste Gerät wird zum Standard erklärt und ist Benchmark für den Marktzutritt) längst in andere Innovationssysteme übernommen worden (USA – Thema „Kraftstoffverbrauch“), das Energie-Einspeise-Gesetz gilt heute bereits in 17 Ländern.

### 3.2 Technology Push

Entwicklungen in grundlegenden Enabling-Technologien, die die Umsetzung von Energieeffizienz-Zielen in Wirtschaft und Gesellschaft ermöglichen, wie z.B. in der

- Biotechnologie (z.B. Verringerung energieintensiver Prozesse in der Grundstoff- und Anwendungschemie),
- Nanotechnologie (z.B. Entwicklung maßgeschneiderter Werkstoffe wie etwa nano-strukturierter Dämmstoffe, intelligenter Beschichtungen, Einsatz im Katalysator),
- Mikrosystemtechnik (z.B. geringerer Energieverbrauch durch Miniaturisierung, Funktionsoptimierung),
- Internet (z.B. Virtualisierung, Dematerialisierung von Funktionen wie etwa bei elektronischen Anrufbeantwortern) (vgl. Schlesinger 2003: 10 ff.).

### 3.3 Market Pull

Treiber in den Märkten und in der Gesellschaft, die Einfluss auf die Genese und Umsetzung von energiebezogenen Innovationen haben, wie z.B.

- zunehmender Wettbewerb von Energieversorgern als Folge der Liberalisierung der Energiemärkte,
- zunehmende Schadensrisiken des Klimawandels und der Klimaerwärmung,
- knapper werdende Ressourcen und Ölpreissteigerungen,
- steigende Importabhängigkeit im Bereich der Primärenergieversorgung und politische Instabilität einiger Förderländer<sup>11</sup>,
- demographischer Wandel und Veränderung der Nachfragestruktur,
- Wirtschaftswachstum in Entwicklungs- und Schwellenländern,
- zunehmende Mobilität.

### 3.4 Societal Drivers

Änderungen in den Wertesystemen einer Gesellschaft mit Auswirkungen auf Verhaltensdispositionen der Menschen oder auch kurzfristig wirksame Impulse, wie z.B. Umweltunfälle und -skandale, Einflussnahme von Bürgerinitiativen etc.

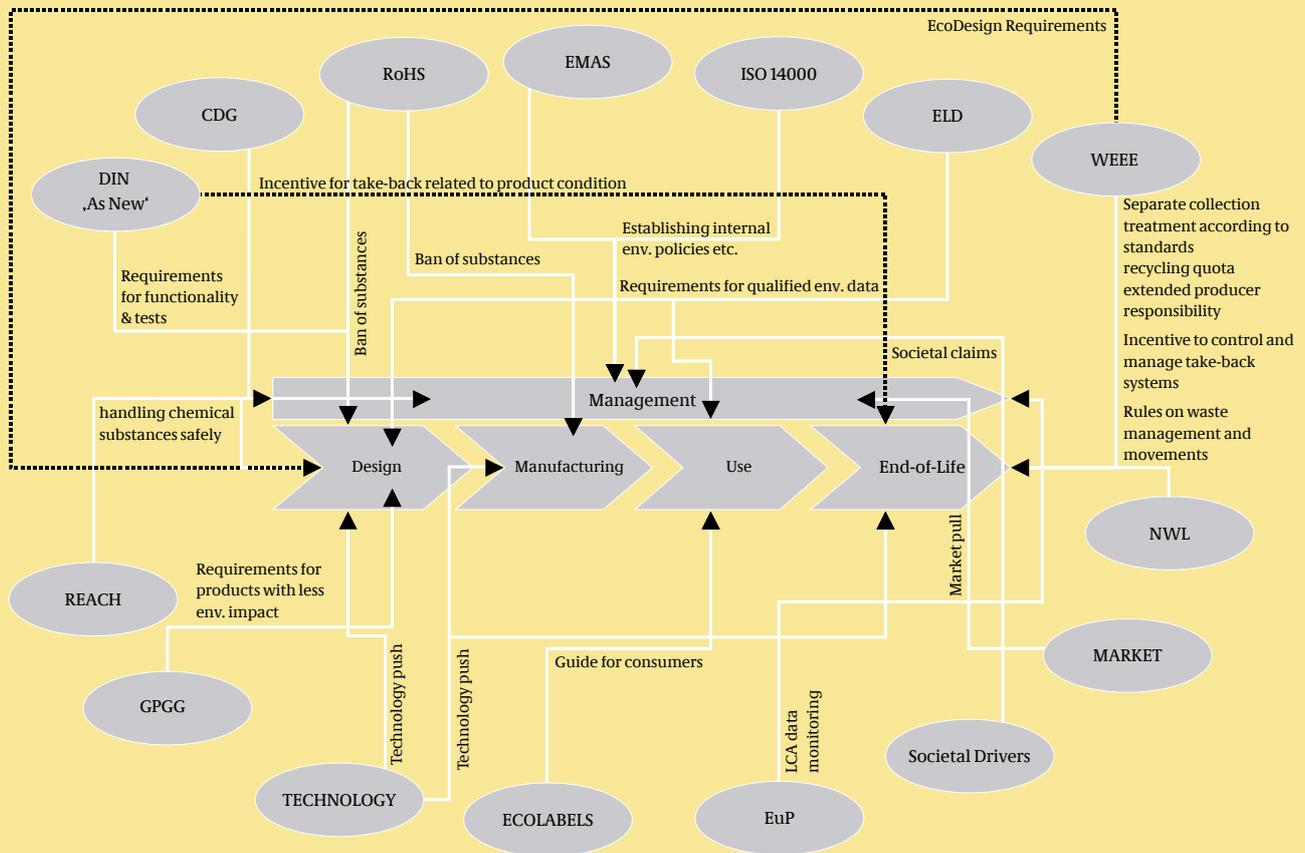
9 KOM (2003) 739 Energy Services Directive.

10 Vgl. zu näheren Informationen <http://energyefficiency.jrc.ecc.eu.int/motorchallenge/>.

11 Derzeit beträgt die Importabhängigkeit etwa 50 Prozent bei Öl und Gas; ein Anstieg auf 65 bis 70 Prozent in 2030 ist abzusehen.

Die Bedeutung der unterschiedlichen Treiber ist von Innovationssystem zu Innovationssystem unterschiedlich. Nachfolgende Abbildungen zeigen ausgewählte Treiber am Beispiel des Innovationssystems der Elektroindustrie (vgl. Abb. 1) und deren Beurteilung durch die betroffenen Stakeholder (vgl. Abb. 2).

Abbildung 1: Innovationstreiber im Innovationssystem der Elektroindustrie



Quelle: Hafkesbrink und Halstrick-Schwenk (2005a): 86.

Die Bewertung des Einflusses der Treiber auf die wesentlichen Stellschrauben im Innovationsprozess ist Gegenstand der Abbildung 2.

Die genannten Treiber sorgen für anhaltende Marktdynamik und veranlassen Innovationsakteure zur Ansteuerung von Innovationen auf unterschiedlichen Stufen und Ebenen des Innovationssystems. Sie führen zu neuen Produkten, Verfahren, zu neuen Sektorstrategien in ganzen Branchen, zu neuen komplexen Produkt-Service-Systemen, zu veränderten Organisationsformen des Wirtschaftens und neuen Geschäftsmodellen, die im Hinblick auf die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit doppelte Dividenden umzusetzen versuchen. Einige Beispiele für Innovationen finden sich weiter unten.

#### 4. Innovationshemmnisse

Gleichwohl sind auch zahlreiche Hemmnisse für energiebezogene Innovationen auszumachen, die ihre Wurzeln in unterschiedlichen Bereichen des Innovationssystems haben. Zweckmäßigerweise sollte man zwischen den folgenden Innovationshemmnissen unterscheiden.

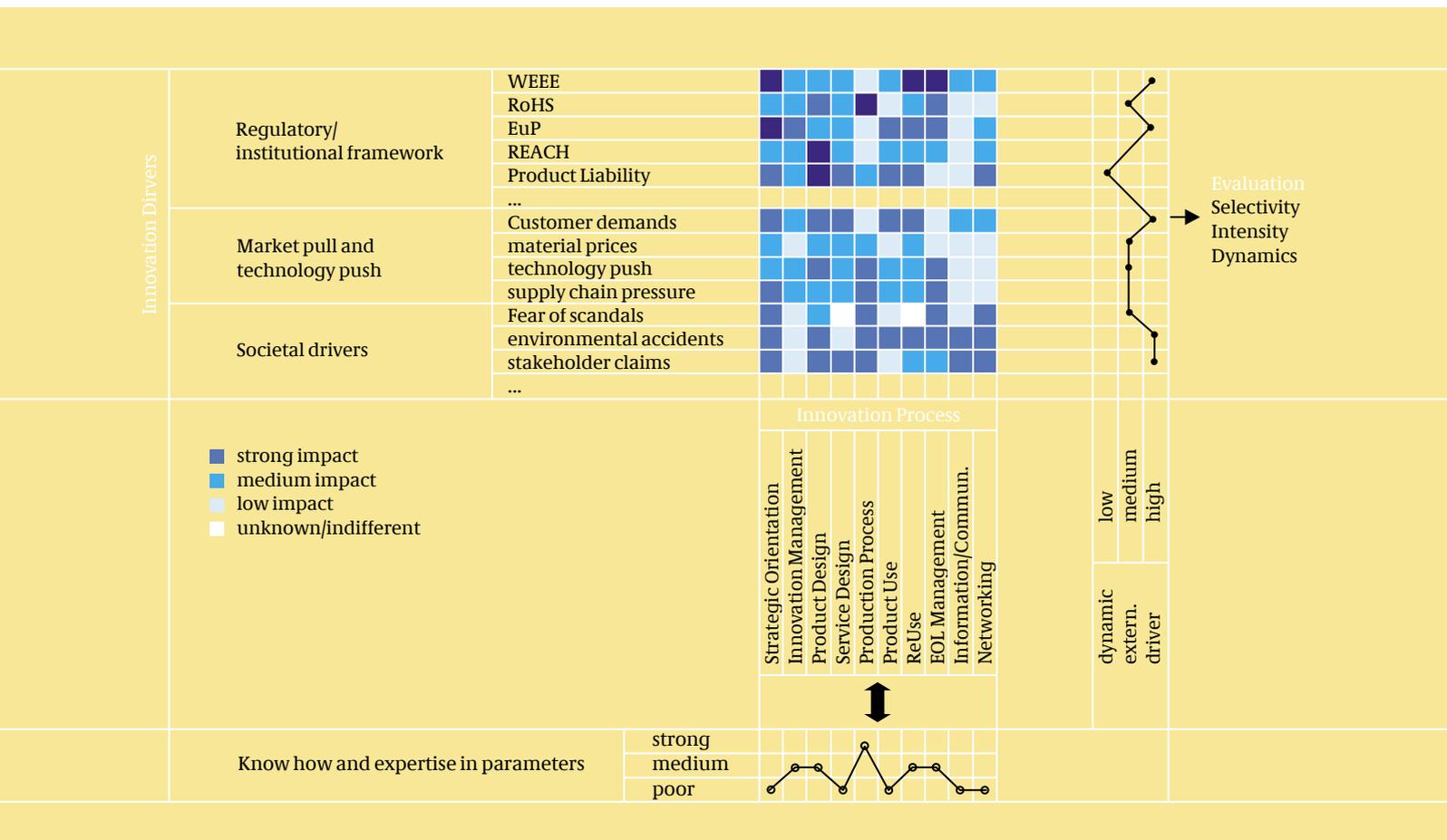
##### 4.1 Strukturelle Innovationshemmnisse

Aus der Sicht der evolutiven Innovationstheorie sind bestimmte über die Zeit entwickelte Zustände in einem Innovationssystem häufig Grund für die Tatsache, dass sich wirtschaftlich tragfähige und gesellschaftlich erwünschte Innovationen (zunächst) nicht umsetzen lassen. Dazu gehören in erster Linie strukturelle Lock-In-Phänomene aufgrund von Innovations-Trajektorien (d.h. eines bestimmten Innovationspfades, der nicht ohne weiteres verlassen werden kann). Ein Beispiel für solche Lock-Ins sind die Steinkohlesubventionen, die den in Deutschland vorherrschenden Energiemix aufgrund von in anderen Zusammenhängen begründeten politischen Entscheidungen prägen. Ein anderes Beispiel sind die Agrarsubventionen im EU-Haushalt, die aufgrund der Budgetverteilung jede zukunftsorientierte Forschungs-, Technologie-, Innovations- und Energiepolitik auf EU-Ebene nahezu vollständig lähmen.

### 4.2 Personelle Innovationshemmnisse

Im Mittelpunkt so genannter personeller Hemmnisse stehen Wissens- und Kompetenzdefizite der handelnden Akteure, und zwar auf allen Ebenen des Innovationssystems. Hierzu gehören in erster Linie Defizite in den Methodenkompetenzen

Abbildung 2: Einfluss von externen Treibern auf den Innovationsprozess am Beispiel der Elektroindustrie



Quelle: In Anlehnung an Hafkesbrink und Halstrick-Schwenk (2005b).

der Akteure, z.B. Wissensdefizite bezüglich der Win-Win-Effekte von Maßnahmen der Energieeffizienz, von produktions-integrierten Umweltschutzmaßnahmen im Bereich der Prozessgestaltung, DfE-Maßnahmen im Bereich der Produkt-gestaltung (DfE = Design for Environment), fehlende Tools wie z.B. Life-Cycle-Cost-Analysen, mangelndes Wissen über Energiekosten-Treiber in Unternehmen etc.

### 4.3 Technologische Innovationshemmnisse

Bei allen Fortschritten in den grundlegenden Enabling-Technologien bestehen häufig technische Innovationshemmnisse, die die Umsetzung von energiebezogenen Innovationen behindern (z.B. Speicherprobleme in der Wasserstoff-wirtschaft).

### 4.4 Organisatorische und institutionelle Innovationshemmnisse

Schließlich spielen auch organisatorische/institutionelle Widerstände eine große Rolle bei der Umsetzung von energie-bezogenen Innovationen. Hier geht es um so unterschiedliche Dinge wie Zugangsmöglichkeiten zu Kapital (z.B. von Kom-munen), tradierte institutionelle Regelungen zur Verhaltenssteuerung (z.B. Abschreibungsdauer von Anlagen und da-durch determiniertes Investitionsverhalten, Kurzfristig- und Kurzsichtigkeit im Denken im Zusammenhang mit Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Shareholder- versus Stakeholdervalue etc.), mangelnde Internalisierung externer Kos-ten aufgrund fehlender formaler institutioneller Regeln etc.

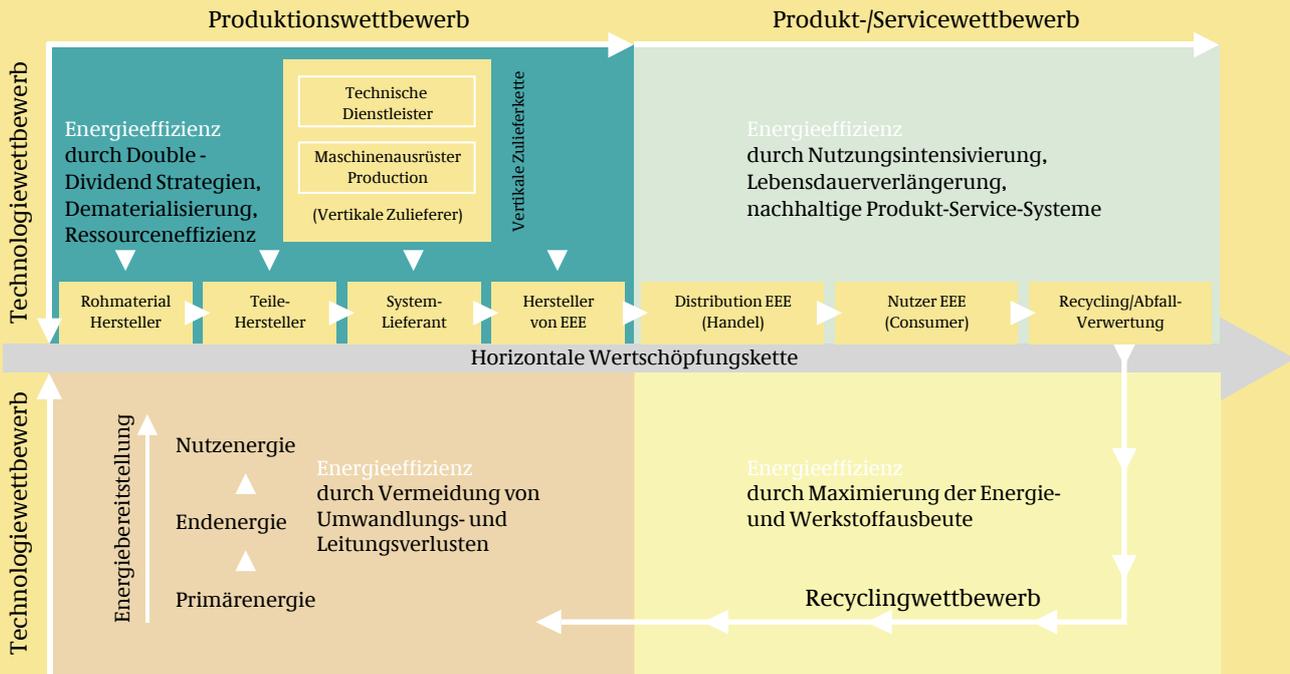
Technologische, personelle und organisatorisch-institutionelle Innovationshemmnisse können auch kumulieren und werden zu Systemhemmnissen, wie dies etwa die Umsetzung der Brennstoffzelle zeigt (fehlende Infrastruktur, Technolo-gieprobleme etc.).

Innovationstreiber und -hemmnisse stehen häufig in Wechselbeziehung zueinander und können sich gegenseitig blockieren, verstärken etc.; sie führen jedenfalls in Übereinstimmung mit allen Beobachtungen in der Praxis derzeit dazu, dass es einen maßgeblichen Unterschied zwischen dem tatsächlichen Einsparpotenzial im Bereich der Energieeffizienz (insgesamt mindestens 20 Prozent) und dem wahrgenommenen Einsparpotenzial (geschätzt weit unter zehn Prozent) gibt. Hier setzen dann auch die vielfältigen Informations- und Sensibilisierungsmaßnahmen von EU, Bund und Ländern sowie Intermediären an, um das Bewusstsein für Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zu schärfen.

**5. Energiebezogene Innovationen im Innovationssystem**

Betrachten wir folgendes Modell des Innovationssystems (vgl. Abb. 3). Das Modell ist eher generisch aufgebaut und verdeutlicht die grundlegende Rolle der Energieeffizienz auf einzelnen Stufen des Innovationssystems:

Abbildung 3: Generisches Innovationssystem mit Beispielen zur Energieeffizienz



Wie die Abbildung zeigt, spielt Energieeffizienz auf allen Stufen eine Rolle, auf den Stufen des Wertschöpfungsprozesses (Materialbereitstellung, Teilebereitstellung, Produktion, Distribution, Logistik, Produktnutzung, Instandhaltung, End-of-Life), im Bereich der Energiebereitstellung selbst sowie im Bereich der Ausrüstungsindustrie und der Recyclingindustrie.

**5.1 Innovationen in der Energieumwandlung**

Vorrangiges Ziel von Innovationen in den Stufen der Energieumwandlung von Primär- in Nutzenergie ist die Vermeidung von Umwandlungs- und Leitungsverlusten. Die derzeitigen Kraftwerkwirkungsgrade liegen bei unter 40 Prozent<sup>12</sup>, d.h. 60 Prozent bestehen in Umwandlungs- und Leitungsverlusten. Von den durchschnittlich 15.000 PJ Primärenergie werden als Nutzenergie nur etwa 5.000 PJ vom Verbraucher verwendet. Da die Effizienz von 66 Prozent (Endenergie) auf 33 Prozent (Nutzenergie) sinkt, heißt das, dass beim Verbraucher selbst noch einmal ca. 50 Prozent der ankommenden Energie „verpuffen“.<sup>13</sup> Hier herrscht vorwiegend ein *Technologiewettbewerb*: Anlagen wie etwa die „ultra-superkritischen Anlagen“ von SIEMENS erreichen schon einen Wirkungsgrad von 46 Prozent. Einige der technologischen Innovationen fristen derzeit ein Nischendasein (z.B. Brennstoffzellen, Wirkungsgrad bis etwa 60 Prozent), andere sind bereits technisch ausgereift und in den Markt diffundiert (z.B. Wärmepumpen, Gasturbinen). Im Bereich der Nutzenergiebereitstellung sind neben dem Technologiewettbewerb auch *neue Kooperationsformen* („Organisationswettbewerb“) anzutreffen, z.B. virtuelle Kraftwer-

12 Dies gilt für die Gewinnung von Elektrizität. Nimmt man die Kraft-Wärme-Kopplung (z.B. Einspeisung der bei der Stromerzeugung entstehenden Abwärme in das Fernwärmenetz) hinzu, steigt der Wirkungsgrad auf bis zu 90 Prozent.

13 Die beim Verbraucher ankommende „Endenergie“ wird mit einer durchschnittlichen Effizienz von 66 Prozent geliefert (Verhältnis von Primär- zu Endenergie; dies beinhaltet auch alle Brennstoffe, die direkt an die Verbraucher geliefert werden, Kraftstoffe etc.) Für den Stromanteil beträgt diese Primär-zu-Endenergie-Effizienz tatsächlich eher 38 Prozent.

ke, die dezentrale Energiestationen bündeln, Spitzenlasten und Überkapazitäten besser ausgleichen und vermarkten können, sowie auch *neue Services* (z.B. Demand-Side-Management oder Vertriebsleasing), mit denen sich Energieversorger im Wettbewerb abzuheben versuchen.

## 5.2 Innovationen im Wertschöpfungsprozess

Auf den verschiedenen Stufen der Wertschöpfung sind zahlreiche energiebezogene Innovationen zu finden, die zum Teil ineinander greifen, zum Teil eigenständig von einzelnen Akteuren der Wertschöpfungskette umgesetzt werden. Wichtige *technologische Innovationen* zur Verbesserung der Energieeffizienz in den Vorleistungsstufen sind zum Beispiel

- Neuerungen im Leichtbau,
- Verbesserungen von Materialeigenschaften und Ressourcenverbräuchen,
- Simulationsdienstleistungen über Eigenschaften von Materialien und Teilen,
- Verbesserung der Ausbeute von Maschinen und Anlagen, Verminderung des Energieverbrauchs von Anlagen durch neue Produktionsverfahren im Bereich der vertikalen Zuliefer- und Ausrüsterindustrie (B2B<sup>14</sup>).

Im *Produktionswettbewerb* findet sich eine Vielzahl von ausgereiften Win-Win-Maßnahmen zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz. Diese Maßnahmen sind bekannt unter dem Stichwort „PIUS – Produktionsintegrierter Umweltschutz“ und umfassen ein großes Spektrum technisch-organisatorischer Double-Dividend-Strategien, die in der Umsetzung zu nachhaltigen Energieeinsparungen<sup>15</sup> führen, wie z.B.

- die Verbesserung der Kosten- und Materialeffizienz bei Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen,
- die Optimierung der Prozessabläufe,
- Stoff- und Energieflussoptimierungen,
- die Vermeidung von Nacharbeiten und Materialverschwendung,
- Wasser- und Abwassermanagement,
- Druckluft-Optimierung,
- Kreislaufschließung und Nutzung von Abwärme etc.

Während bei technologischen Innovationen nach wie vor Forschungs- und Entwicklungs- sowie Innovationsbedarf in weiten Teilen der Wirtschaft besteht, fehlt es im Bereich des produktionsintegrierten Umweltschutzes vorwiegend an der Breitendiffusion. Vorurteile nach dem Muster „Umweltschutz kostet Geld“ sowie das Tagesgeschäft in kleinen und mittleren Unternehmen behindern die systematische Verbreitung von PIUS. Das Verbesserungspotenzial im Bereich der Energieeffizienz wird hier allgemein als noch beträchtlich angesehen. In einigen Bundesländern (z.B. NRW, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz) werden PIUS-Umsetzungsmaßnahmen nach wie vor gefördert.

Als Hebel für Win-Win-Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz kann auch der Handel mit Verschmutzungsrechten (Emission Trading Schemes) dienen, der für den Kreis der betroffenen Unternehmen (derzeit ca. 5.000 in Deutschland) ebenfalls Anreize für entsprechende Maßnahmen bietet. Allerdings soll aus Platzgründen darauf an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.<sup>16</sup>

14 B2B = Business-to-Business.

15 Hier ist der spezifische Energieverbrauch gemeint, z.B. pro Stück produzierte Einheit. Zu berücksichtigen ist, dass „dank“ solcher positiver Rückkopplungsschleifen und des Rebound-Effekts (Überkompensation von Einsparungen durch vermehrte Nutzung und Konsum) die Energieeinsparungen leider nicht immer zu einer Verminderung des absoluten Energieverbrauchs führen. Ein Ausstieg aus dieser Spirale scheint weniger nach dem Effizienz- als nach dem Suffizienzprinzip möglich.

16 Zu berücksichtigen ist, dass Emissionshandel auch zu schlechterer Energieeffizienz führen kann, wenn die Maßnahmen zur Emissionsreduktion zwar den Wirkungsgrad verschlechtern, aber wirtschaftlich (durch den Zertifikatehandel) sinnvoll werden.

### 5.3 Innovationen in der Nutzungsphase (B2C)

Aus dem Bereich Business to Consumer (B2C) sollen hier zwei Beispiele vertieft werden, die den Bogen zum Thema Energieeffizienz schlagen:

#### 5.3.1 Neue Geschäftsmodelle im Rahmen von Produkt-Service-Systemen

Im Bereich der Nutzung von Konsumgütern wurden in den letzten Jahren interessante und zum Teil weitreichende Innovationen angeschoben, die mehrere Ziele im Innovationswettbewerb vereinen. Angesichts des durch fernöstliche Wettbewerbsprodukte ausgelösten Preiskampfes wurden hier neue Produkt-Service-Systeme (PSS) entwickelt, also Kombinationen von Produkten und Dienstleistungen, die die Kundenbindung verstärken, Einstiegsschwellen bei Qualitätsprodukten absenken, Wertschöpfung in Kooperation von Innovationsakteuren ermöglichen sowie gleichzeitig nachhaltig im Sinne ökonomischer, ökologischer und auch sozialer Ziele sind. Meist steht hier nicht mehr der Produktverkauf, sondern der Verkauf des Produktnutzens im Vordergrund. Produktbegleitende Dienstleistungen führen zu einer möglichst hohen Nutzensausbeute und zu einer Nutzungsdauerverlängerung der Produkte, verbunden mit intelligenten Optionen des Upgradings, der Instandhaltung bzw. der Wiederverwendung von Teilen nach Ende der Nutzungsphase (vgl. Hafkesbrink 2006). Produkt-Service-Systeme verlagern den Innovationswettbewerb vom Produktfokus auf komplexe Systeminnovationen – es werden häufig mehrere Partner eines Wertschöpfungssystems in die Innovation eingebunden, die Geschäftsmodelle sind im Hinblick auf die Geld- und Warenströme häufig komplexer Natur, die Umsetzung bedarf völlig anderer Organisations- und Kooperationsformen sowie weitreichender Kompetenzen auf der Betriebs- und Mitarbeiterenebene (vgl. Hafkesbrink et al. 2006).

Viele dieser Produkt-Service-Systeme sind zugleich mit direktem Bezug zu Energieeffizienz konzipiert, wie z.B. das „Pay-per-Wash“-Geschäftsmodell der Electrolux in England. Hier werden qualitativ hochwertige Waschautomaten gegen eine geringe Installationsgebühr in Mehrfamilienhäusern aufgestellt; der Produktnutzen wird einzeln über eine Gebühr pro Wascheinheit verkauft. In der Markteinführungsphase wurden die lokalen Energieversorger beteiligt, die über eine Messeinrichtung in den Waschautomaten dem Kunden die Energiekosten pro Waschgang ausrechneten. Im Verbund mit Kundeninformationen über die optimale Beladung der Waschtrommel und den Gebrauch von Waschmitteln sowie Zusatzstoffen konnten Win-Win-Effekte im Sinne der Energieeffizienz umgesetzt werden.

Während das „Pay-per-Use“ im B2B-Bereich heute schon überwiegend akzeptiert ist (z.B. beim Leasing von Kopierern, Fahrzeugen, bei Contracting-Modellen im Bereich von Kühlschmierstoffen und anderen Hilfs- und Betriebsstoffen<sup>17</sup>), befindet sich die Diffusion derartiger Produkt-Service-Systeme im B2C-Bereich noch weitgehend am Anfang. Hier stehen einer breiten Umsetzung häufig Verhaltenstrajektorien der Konsumenten entgegen („Eigentum ist besser als Funktionsnutzung“) (vgl. Hafkesbrink 2006).

#### 5.3.2 Neue Geschäftsmodelle im Bereich des Bedarfes Wohnen und Gebäudesanierung

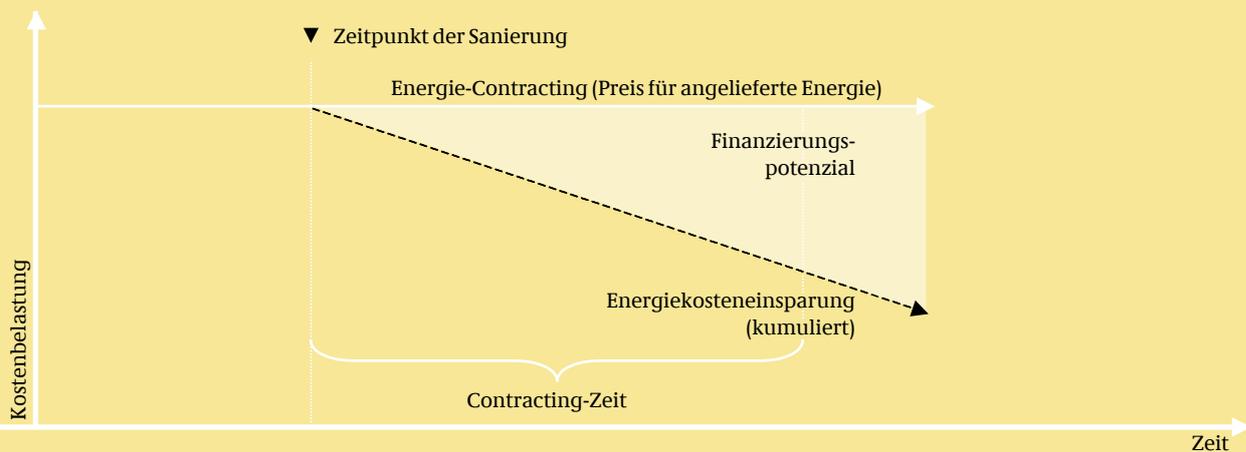
Ein weiteres Beispiel für gelungene Systeminnovationen ist das Projekt „Thermoprofit“, das am Umweltamt der Stadt Graz Ende der 90er Jahre entwickelt wurde. Das Kooperationsmodell des Energie-Einspar-Contracting sieht im Grundsatz wie folgt aus:

- Die örtlichen Stadtwerke finanzieren über ein regionales Finanzierungsinstitut energetische Gebäudesanierungen aufgrund einer umfassenden Analyse des Sanierungsbedarfs und einer Prognose der Energie- und Kosteneinsparungen.
- Mit den Arbeiten wird das lokale bzw. regional ansässige Handwerk betraut.
- Die Betreiber der sanierten Wohnungen, Gebäude und Liegenschaften schließen mit den Stadtwerken einen langfristigen Vertrag ab, der so ausgestaltet wird, dass die Kosten der Sanierungsmaßnahmen einschließlich notwendiger Zinsen an die Stadtwerke zurückfließen, und zwar über die Differenz der Energiekosten vor und nach der Sanierung.

Die Betreiber der Wohnungen, Gebäuden und Liegenschaften zahlen damit quasi zunächst ohne Änderung der finanziellen Bedingungen und Lasten die Kosten für die Sanierung über die eingesparten Energiekosten an die Stadtwerke zurück (vgl. Abb. 4):

17 Robert U. Ayres hat diese Strategien «Rent-A-Chemical» oder «Rent-A-Molecule» genannt (vgl. Ayres 2000).

Abbildung 4: Finanzierungspotenzial aus Energie-Einspar-Contracting



Erfahrungen aus derartigen Pilotprojekten wie in Graz belegen, dass Laufzeiten von zehn bis 15 Jahren genügen, um selbst größere Sanierungsinvestitionen über das Modell zu finanzieren. Die Benefits lassen sich wie folgt fassen:

- Senkung des Energieeinsatzes für Heizung und Kühlung von Gebäuden,
- wirtschaftliche Vorteile für Eigentümer und Nutzer durch geringe Energiekosten<sup>18</sup>,
- Senkung der Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen,
- Mobilisierung des örtlichen Handwerks,
- Schaffung von neuen Arbeitsplätzen in zukunftssicheren Bereichen,
- Verbesserung des kommunalen Steueraufkommens,
- Werterhaltung des kommunalen Baubestandes,
- Verringerung des Wohnungsleerstandes,
- Verbesserung der Lebensqualität (Stadtteil, Stadt, Region).

Es ist erstaunlich, dass derartige Contracting-Modelle sich trotz der multiplen Benefits nicht schneller durchsetzen. In NRW umfasst die Gebäudesanierung derzeit nur ca. ein Prozent des Bestandes pro Jahr. Bei Wohnhäusern, die vor 1984 gebaut wurden, beträgt die Heizkosteneinsparung im Durchschnitt etwa 80 bis 90 Prozent, d.h. ein Rückgang von 25-30 l/m<sup>2</sup> auf etwa 3 l/m<sup>2</sup> nach Sanierung ist erreichbar.<sup>19</sup> Mit einem Passivhaus lassen sich trotz erhöhter Investitionen ca. 200.000 Euro in 35 Jahren sparen.<sup>20</sup>

#### 5.4 Innovationen im End-of-Life (EOL)

Auch im End-of-Life-Bereich spielen energiebezogene Innovationen eine wichtige Rolle. Die Umweltwirkungen in der letzten Lebenszyklusphase von z.B. Elektronikprodukten betragen immerhin noch zwischen zwei und fünf Prozent<sup>21</sup>. Der

<sup>18</sup> nach Beendigung der Contracting-Laufzeit.

<sup>19</sup> Insgesamt wird für den Gebäudesektor in Deutschland ein Energieeinsparpotenzial von 125 Terrawattstunden (TWh) geschätzt, was einer jährlichen Energiekosteneinsparung von ca. vier Milliarden Euro und einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa 30 Millionen Tonnen entspräche (vgl. VDI-Nachrichten, 24. März 2006, Nr. 12, S. 15).

<sup>20</sup> Vgl. VDI-Nachrichten Nr. 11 vom 17.03.2006.

<sup>21</sup> 50 bis 80 Prozent in der Nutzungsphase und zehn- bis 35 Prozent in der Produktionsphase; vgl. Hafkesbrink, J. et al. (2005): 218. Bezieht man den Energieaufwand für die zurückgewonnenen Materialien (insbesondere Edelmetalle) mit ein, muss die Energieeinsparung durch optimiertes Recycling jedoch noch anders bewertet werden, eben im Hinblick auf den Lebenszyklus. Selbst wenn man also einen höheren Energieverbrauch in der EOL-Phase hätte, könnte dieser durch einen geringeren Energieverbrauch in der Produktionsphase wieder aufgewogen werden.

Innovationswettbewerb drückt sich in diesem Bereich in erster Linie als Technologiewettbewerb aus: Es geht um kosteneffiziente EOL- und Recycling-Technologien sowie um den maximalen Wirkungsgrad bei der energetischen Nutzung von Abfall und energieintensiven Werkstoffen. Technologische Innovationen betreffen hier z.B. Erkennungs- und Sortiertechniken beim Recycling, organisatorische und institutionelle Innovationen liegen z.B. in der Logistiko Optimierung bei Rücknahmesystemen. Hier gelten dieselben Prinzipien für den Anlagenbetrieb wie in der Produktion: Ökoeffiziente und energieeffiziente Anlagen und Systeme, die zugleich bei niedrigem Energieverbrauch eine optimale Wiederverwertung von Material bzw. eine energetische Nutzung des Abfalls erzielen, erzeugen Vorteile im Kostenwettbewerb.

## 6. Wirkungen energiebezogener Innovationen

Damit sind wir bei den Wirkungen von energiebezogenen Innovationen angekommen. Eine umfassende Wirkungsabschätzung kann an dieser Stelle selbstverständlich nicht geleistet werden. Auch soll nicht im Einzelnen auf die Umweltwirkungen verwiesen werden. Es gibt kaum Zweifel, dass Maßnahmen zur Energieeffizienz umweltentlastend wirken.

Was aber auch mittlerweile offensichtlich ist und im Prinzip keiner weiter gehenden Belege bedarf: Der Übergang zu einem Paradigma der Nachhaltigkeit und zu energiebezogenen Innovationen ist auch ökonomisch und sozial sinnvoll.

Auf der Ebene der Volkswirtschaft gibt es hierfür eindeutige Befunde. Deutschland ist Exportweltmeister im Bereich energiebezogener Innovationen. Einige Headlines:

*Windbranche drängt in den expandierenden Weltmarkt* – In Europa wuchs der Markt um 16 Prozent, außerhalb um beträchtliche 73 Prozent – Viele Länder wollen mit Windenergie ihre Energielücken schließen – Wertmäßig kommt mehr als die Hälfte aller neuen Anlagen aus deutschen Werken (VDI-N, Nr. 11, 17.03.06).

*Photovoltaik-Branche könnte noch mehr produzieren und absetzen* – Deutschland ist Weltmeister bei der Installation von Solaranlagen für die Stromerzeugung – Deutsche Solarstrombranche erwartet weitere Wachstumsschübe durch den Export – Der BSW prognostiziert der heimischen Solarindustrie für 2020 einen Umsatz von über 20 Mrd. € (2005: 3 Mrd. €). Das Exportgeschäft deutscher Solarfirmen trägt dazu einen wesentlichen Teil bei (VDI-N, Nr. 11, 17.03.06).

*Deutsche Turbinenbauer setzen auf Ersatzinvestitionen und Exporte* – Die deutschen Turbinenhersteller haben im vergangenen Jahr ihren weltweiten Umsatz mit rund 13,7 Mrd. € gegenüber 2004 mit 12,1 Mrd. € nochmals um rund 13 Prozent gesteigert (VDI-N, vom 10.2.2006).

Diese drei Schlaglichter vermitteln, was in wissenschaftlichen Studien längst nachgewiesen ist: Deutschland ist Vorreiter innovativer ressourcen- und energiesparender Umwelttechnik und vermag damit über den Export zahlreiche Arbeitsplätze in Deutschland zu halten bzw. auszubauen. Derzeit exportiert es Umweltgüter im Wert von ca. 35 Milliarden US-Dollar und hält ca. 19 Prozent des Weltmarktes. Seit über zehn Jahren hat sich Deutschland damit wieder auf Platz eins vor den USA und Japan vorgearbeitet. Während hierzulande mittlerweile fünf Prozent der Exporte des verarbeitenden Gewerbes potenzielle Umweltschutzgüter sind, liegt der Durchschnitt in den OECD-Ländern bei 3,8 Prozent. Und die Chancen für den Export von energiesparenden Konzepten und Technologien steigen weiterhin: So geht die International Energy Agency (IEA) davon aus, dass sich der Energieverbrauch Chinas bis 2030 auf etwa 2.500 Mtoe (Megatonnen Öläquivalent) verdoppeln wird. Experten schätzen den Investitionsbedarf Chinas in den nächsten 25 Jahren, allein für den Energiesektor, auf etwa 2.000 Milliarden US-Dollar. Eine ähnliche Entwicklung spielt sich in vielen Regionen Osteuropas, Indiens, Afrikas und Südamerikas ab. Das dortige Wirtschaftswachstum hat die Infrastruktur längst überholt.

Seriöse wissenschaftliche Studien belegen zudem, dass mit jedem eingesparten Petajoule Energie etwa netto 50 neue Arbeitsplätze entstehen, d.h. im Übergang auf eine 2.000-Watt-Gesellschaft etwa 250.000 neue Arbeitsplätze je Dekade in Deutschland, „wenn man Mitte dieses Jahrhunderts die 2.000-Watt-Gesellschaft anstrebt“ (Jochem 2003). Dies allein wird die Arbeitsplatzprobleme in Deutschland nicht lösen, aber helfen, die Arbeitslosigkeit nachhaltig abzubauen. Auch die Anhebung der Gebäudesanierung z.B. in NRW von einem auf zwei Prozent würde nach Berechnung des Landeswirtschaftsministeriums ca. 50.000 Arbeitsplätze schaffen, vorwiegend in der Bauwirtschaft und im Handwerk. Zahlen des Bundesbauministeriums gehen in dieselbe Richtung: Mit jeder Milliarde Euro für Sanierungen entstehen ca. 26.000 Arbeitsplätze für ein Jahr.<sup>22</sup>

22 Vgl. [http://www.nabu.de/m01/m01\\_01/02216.html](http://www.nabu.de/m01/m01_01/02216.html).

## 7. Thesen zum Verhältnis von Energie und Innovation

Der kurze Aufriss zur Bedeutung von Energieeffizienz im Innovationswettbewerb soll in einige Thesen zum künftigen Umgang mit Energieeffizienz münden, die Denkanstöße geben sollen:

*Nachhaltigkeitsförderung muss ernst genommen werden.* In vielen Förderprogrammen des BMBF ist Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung nicht als Querschnittsaufgabe implementiert. Nimmt man den Cardiff-Prozess ernst, sollte Huckepackforschung am Rande von Technologieförderprogrammen, wo Nachhaltigkeit ein Nischendasein fristet, der Vergangenheit angehören. In die Gutachtergremien des BMBF sollten auch Umwelt- und Sozialwissenschaftler aufgenommen werden. Projekte in der Beantragung sollten nachweisen, dass ihre Forschung nicht zu ökologisch oder sozial nachteiligen Wirkungen führt. Die Förderung von Forschung und Entwicklung (FuE) sollte unter das Leitbild einer innovationsorientierten Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitik gestellt werden, die der deutschen Wirtschaft auf den Weltmärkten weitere First-Mover-Vorteile verschafft. Auch sollte die Zersplitterung der Forschungsförderung zwischen BMWI und BMBF im Bereich Energie beseitigt werden (vgl. Jochem 2003).

*Die Bedeutung eines Regulatory Push für den Innovationswettbewerb wird weiter zunehmen.* Auf ihrem Frühjahrsgipfel Ende März 2006 haben die EU-Staats- und Regierungschefs drei Ziele zur Energiepolitik beschlossen: höhere Versorgungssicherheit, Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit. Danach erwägt die EU, bis 2015 den Anteil erneuerbarer Energien auf 15 Prozent und den Anteil der Biokraftstoffe auf acht Prozent zu steigern. Bis 2020 will die EU 20 Prozent ihres Energieverbrauchs einsparen. Die Umsetzung der EU-Nachhaltigkeitsstrategie in den nationalen Innovationssystemen wird vor diesem Hintergrund einen weiteren Schub energiebezogener Innovationen auslösen. Über die Wahl der Instrumente sollte freilich gestritten werden. Hier sollte unter Rückgriff auf evolutionäre Prinzipien der Wirtschaftspolitik gelten: Vielfalt zulassen und fördern, dem Markt die Selektion überlassen. So wird z.B. die Umsetzung der EuP-Richtlinie als zentraler Baustein für die Förderung von mehr Energieeffizienz sicher besser gelingen, wenn man auf ordnungsrechtliche Vorgaben verzichtet und über Zielvereinbarungen mit der Industrie Grenzen festlegt, innerhalb derer Innovationen sich frei entfalten können.

*Mehr Mut zu umweltpolitischen Steuerungsinstrumenten.* Der Lead-Market-Ansatz (vgl. Jänicke 2004) hat sich bewährt, aber warum ist man so zögerlich? Dass es geht, hat man bewiesen. Als man zum Beispiel in Deutschland zu Beginn der 90er Jahre ein 1.000-Dächer-Programm zur Förderung der Photovoltaik aufgelegt hatte, folgte man in Japan 1997 mit einem 70.000-Dächer-Programm, die Bundesregierung im Reflex 1999 mit einem 100.000-Dächer-Programm.

*Preiserhöhungen sensibilisieren für den sparsamen Umgang mit Energie in allen Bereichen.* Die Verknappung der bekannten fossilen Ressourcen führt unweigerlich zu einem weiteren Preisanstieg bei fossilen Energieträgern. Preiserhöhungen zum Beispiel beim Rohöl vergrößern dabei auch den Spielraum für Investitionen in Technologien, die erst bei einem höheren Niveau der Energiepreise die Schwelle der Wirtschaftlichkeit erreichen und den Sprung aus ihrer Marktnische heraus schaffen. Die Innovationsakteure sind gut beraten, bei ihrem Engagement in neuen Technologiebereichen nicht die Nerven zu verlieren, die Bundesregierung ist gefordert, einen langen Atem bei der Förderung von FuE zu bewahren: Geothermie-Anlagen, Strom aus Meeresströmung, Wasserstoffwirtschaft, Fusionsreaktoren, Supraleitung etc. sind Zukunftstechnologien, die unsere Energieversorgung bereichern werden.

Die derzeitige Renaissance der Diskussion über die Atomkraft zeigt, dass man aus Tschernobyl nicht wirklich gelernt hat, und es gilt, was Umweltminister Sigmar Gabriel unlängst geäußert hat: „Massive Investitionen marktbeherrschender Energieversorger in Atomkraft verhindern die Öffnung zu dezentralen, erneuerbaren Energien.“ Da in einem Zeitrahmen von ca. 25 Jahren ca. 40 Prozent des deutschen Kraftwerkparcs alternsbedingt erneuert werden müssen, besteht jetzt die große Chance, nicht einen weiteren Lock-In durch Investitionen an falscher Stelle zu erzeugen. Und: Schon heute sind in der Windkraft-Branche in Deutschland mehr Menschen beschäftigt als in der gesamten Atomindustrie!

## Epilog

Standby-Verbrauch von Elektrogeräten => 4,5 Prozent des Energieverbrauchs (= zwei Kraftwerke)

Tagfahrlicht => Mehrverbrauch ca. 0,2 l/100 km => 1,21 Mrd. l/Jahr in Deutschland

Weihnachtsbeleuchtung => ca. 420 Mio. kWh/Jahr => Jahresstrombedarf von ca. 140.000 Haushalten oder Jahresverbrauch eines größeren Flughafens

## Abkürzungen

CDG	=	Customer Guarantee Directive
DIN	=	Deutsches Institut für Normung
ELD	=	Energy Labelling Directive
EMAS	=	Environmental Management System Directive
EOL	=	End of Life
EuP	=	Energy Using Products Directive
GPGG	=	Green Purchasing Guidelines of Governments
IPP	=	Integrierte Produktpolitik
ISO	=	International Standardization Organisation
NGO	=	Non Governmental Organisation
NWL	=	New Waste Legislation
REACH	=	Registration, Evaluation, Authorization and Restrictions of Chemicals of the EU
RoHS	=	Restriction of Hazardous Substances
WEEE	=	Waste Electrical and Electronic Equipment

## Literatur

Ayres, R. U. (2000): Products as service carriers: Should we kill the messenger – or send it back? In: INSEAD, May 2000 (2000/36//EPS/CMER. <http://www.insead.edu>).

Hafkesbrink, J. (2006): Transition management in the electronics industry innovation system: Systems innovation towards sustainability needs a new governance portfolio. In: M. Lehmann-Waffenschmidt et.al. [Hrsg.], Innovations towards Sustainability – Conditions and Consequences. Physica/Springer.

Hafkesbrink, J. und M. Halstrick-Schwenk (2005a): INVERSI – Internatization versus internationalization – A framework of action for national and international environmental policy against the background of increasing globalization and the development of electronic markets. Final Report: 86. RWI (Essen).

Hafkesbrink, J. und M. Halstrick-Schwenk (2005b): A sustainable innovation scorecard for the electronics industry innovation system. In: J. Horbach [Hrsg.], Indicator systems for sustainable innovation. Heidelberg and New York: 143-178.

Hafkesbrink, J., Herman, V., Johansson, G., Lamvik, T., Froelich, D., Miguel, R. und A. Stevels (2005): State-of-the-art technologies in the electronics industry innovation system. Interim report for the European Commission in the framework of ECOLIFE – Thematic network eco-efficient life cycle technologies. From products to service systems. Wien.

Hafkesbrink, J., Meyer, P. und K. Müller (2006): Green paper on sustainable service systems – im Rahmen des thematischen Netzwerkes ECOLIFE II – eco-efficient life cycle technologies: From products to service systems. Wien.

Jänicke, M. (2004): Lead markets for environmental innovations: A new role for the nation state. In: Global Environmental Politics 4(1): 29-46.

Jochem, E. (2003): Das Leitbild der „2000 Watt Gesellschaft“. Neue Anforderungen an die Energieforschung. In: R. Schneider, Forschungszentrum Jülich GmbH/Projektträger Jülich; Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit [Hrsg.], Neue Aufgaben für die Energieforschungspolitik in Deutschland. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH: 47-60.

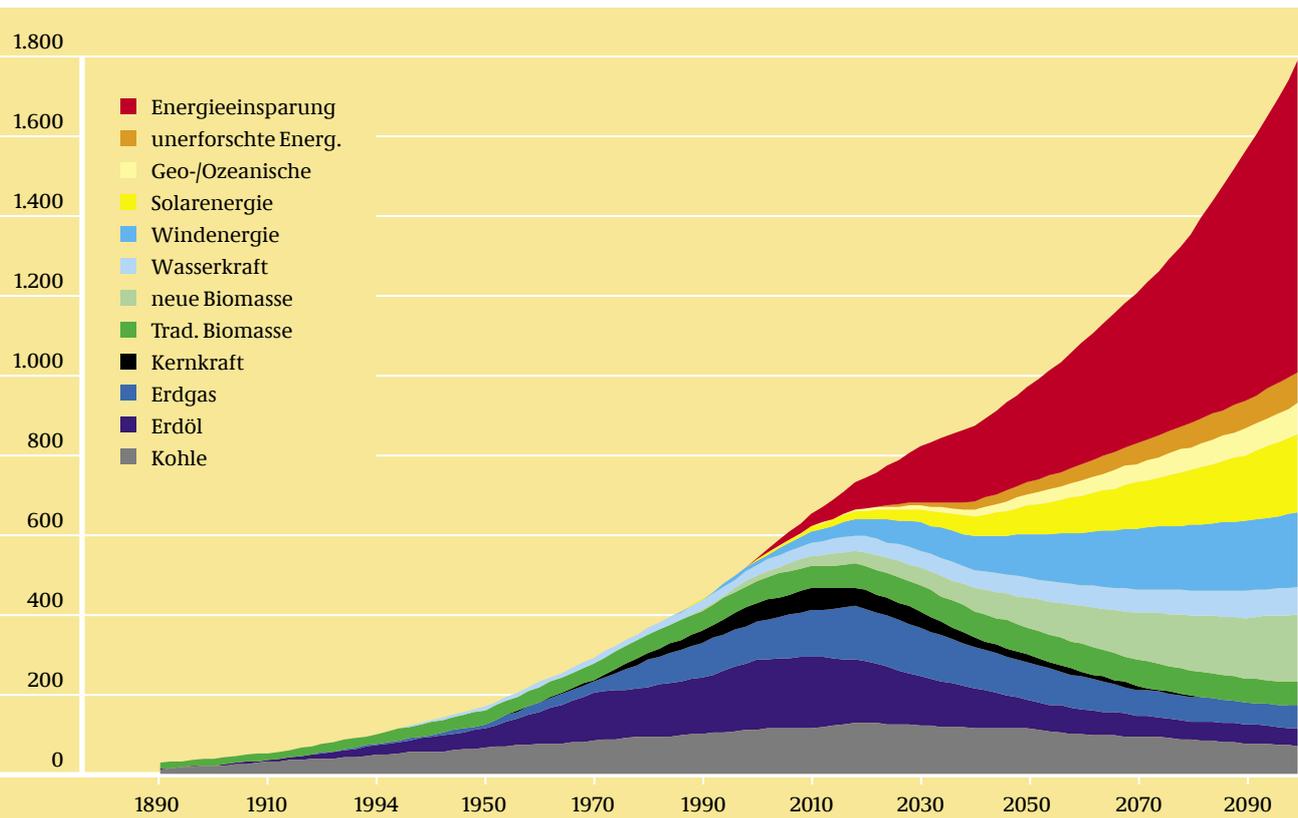
Schlesinger, M. (2003): Energiewirtschaftliche Herausforderungen für Deutschland 2010/2050. In: R. Schneider, Forschungszentrum Jülich GmbH/Projektträger Jülich; Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit [Hrsg.], Neue Aufgaben für die Energieforschungspolitik in Deutschland. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH: 10-16.

## Faktor 10 – Best Practice bei der energetischen Gebäudesanierung

Dr. Burkhard Schulze-Darup,  
Architekt

Energetische Gebäudesanierung wird in den nächsten beiden Jahrzehnten zu einem zentralen Aufgabengebiet der Bauwirtschaft. Für die Wirtschafts-, Umwelt- und Arbeitsmarktpolitik ergeben sich daraus große Potenziale, u.a. für den Klima- und Ressourcenschutz. Abbildung 1 veranschaulicht sehr deutlich die Risiken volkswirtschaftlicher Entwicklungen in Abhängigkeit von den zu erwartenden Verwerfungen auf dem Energiemarkt bei steigender Nachfrage und Erreichen des Förderzenits kostengünstiger fossiler Energieträger.

Abbildung 1: Weltenergie in Etajoule: Sparszenario und regenerativ



Quelle bis 2000: Shellstudie 1995

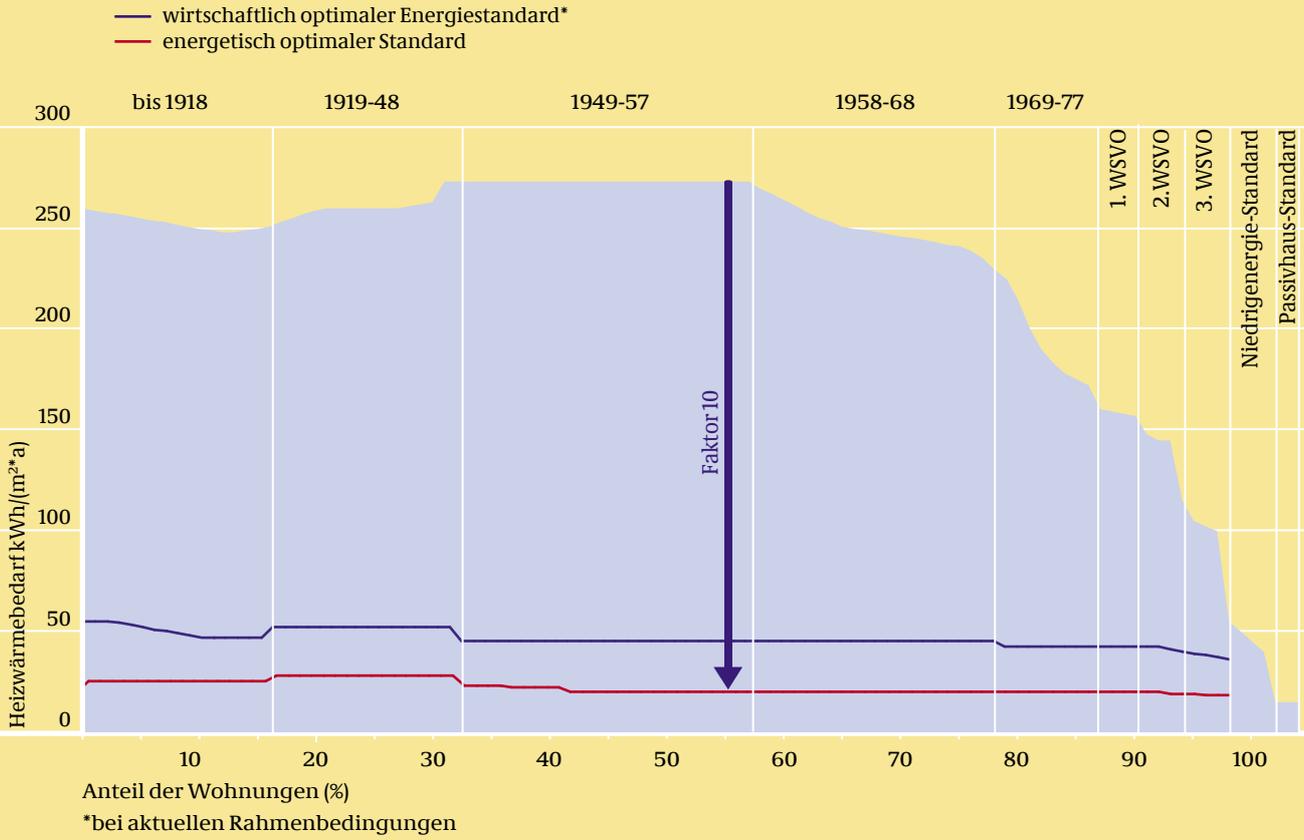
Der einzige Weg, Gefahren durch sprunghaft und unkontrollierbar steigende Energiepreise abzufedern, besteht darin, so früh wie möglich die Abhängigkeit von der einseitig fossilen Versorgung zu reduzieren. Substitution durch regenerative Energieträger ist dabei die einzig zukunftsfähige Option. Diese kann allerdings nur gelingen, wenn gleichzeitig unsere größte Energieressource – die Energieeffizienz – grundlegend genutzt wird.

Im Gebäudebereich ist Energieeinsparung mit bestem Kosten-Nutzen-Verhältnis möglich. Etwa ein Drittel der Endenergie (BRD) wird für die Bereitstellung von Raumwärme aufgewandt. Abbildung 2 stellt schematisch das Einsparpotenzial für den Baubestand dar. Niedrigenergie- und Passivhaustechnologie ermöglichen hohe Einsparungen – bei der Sanierung bis zur Reduktion um den Faktor 10. Eine primärenergetische Gegenüberstellung von Heizwärmeverbrauchs-Standards wird in Abbildung 3 gezeigt: Im Bestand liegen die Werte bei 200 bis 300 kWh/(m<sup>2</sup> a), was 20 bis 30 Litern Öl/(m<sup>2</sup> a) entspricht. Sanierungen mit Passivhaus-Komponenten führen zum Zwei- bis Drei-Liter-Haus. Für die KfW-40- und KfW-60-Standards wird der Heizwärmebedarf gemäß der Berechnung nach der Energieeinsparverordnung dargestellt.

Im Neubaubereich sind in wenigen Jahren bereits 4.000 Gebäude als Passivhäuser realisiert worden. Die Techniken sind marktverfügbar und können bei der Sanierung ohne grundlegende Probleme eingesetzt werden (PHI 2003-1).

Abbildung 4 zeigt Verluste und Gewinne beispielhaft bei einem Gebäude vor und nach der Sanierung mit Passivhaus-Komponenten. Der verbleibende Heizwärmebedarf liegt unter 30 kWh/(m<sup>2</sup> a). Primärenergetisch bzw. hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emission werden mehr als 90 Prozent eingespart – das heißt, es wird der Faktor 10 erreicht.

Abbildung 2: Schema des Heizenergie-Reduktionspotenzials im Wohngebäudebestand durch energetische Sanierung



Quellen: ARENHA 1993, IWU 1994, Bundesarchitektenkammer 1995, Schulze Darup 1998/2000

Abbildung 3: Primärenergie-Kennwerte von Baustandards: Heizen, Trinkwassererwärmung und Strom

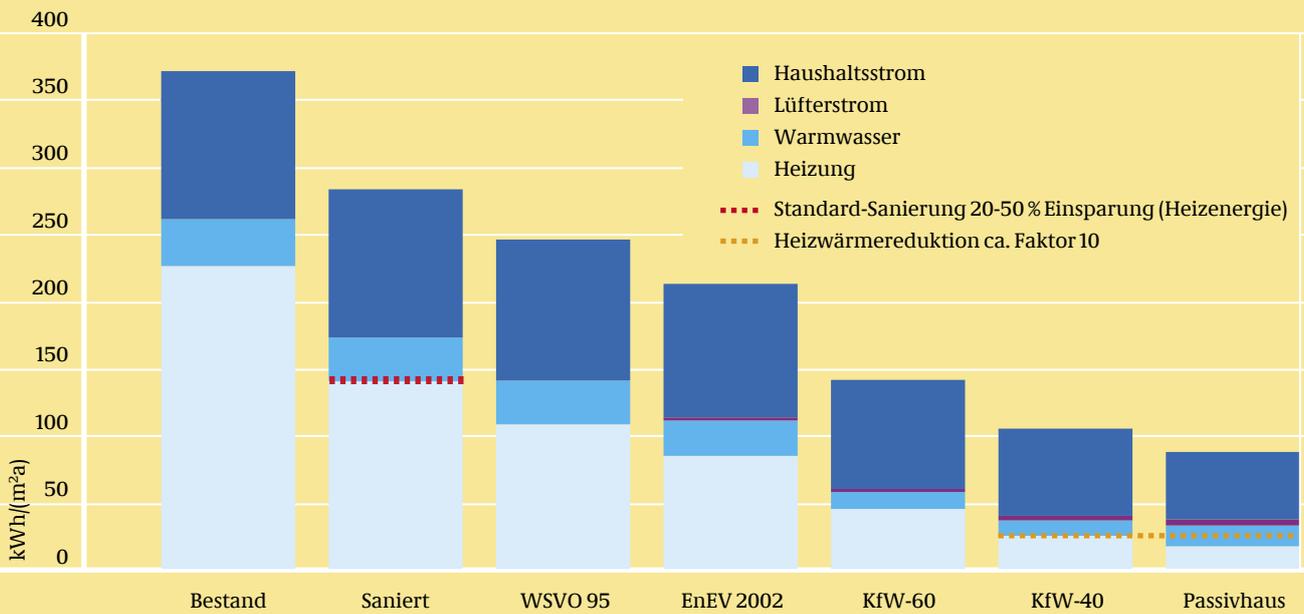
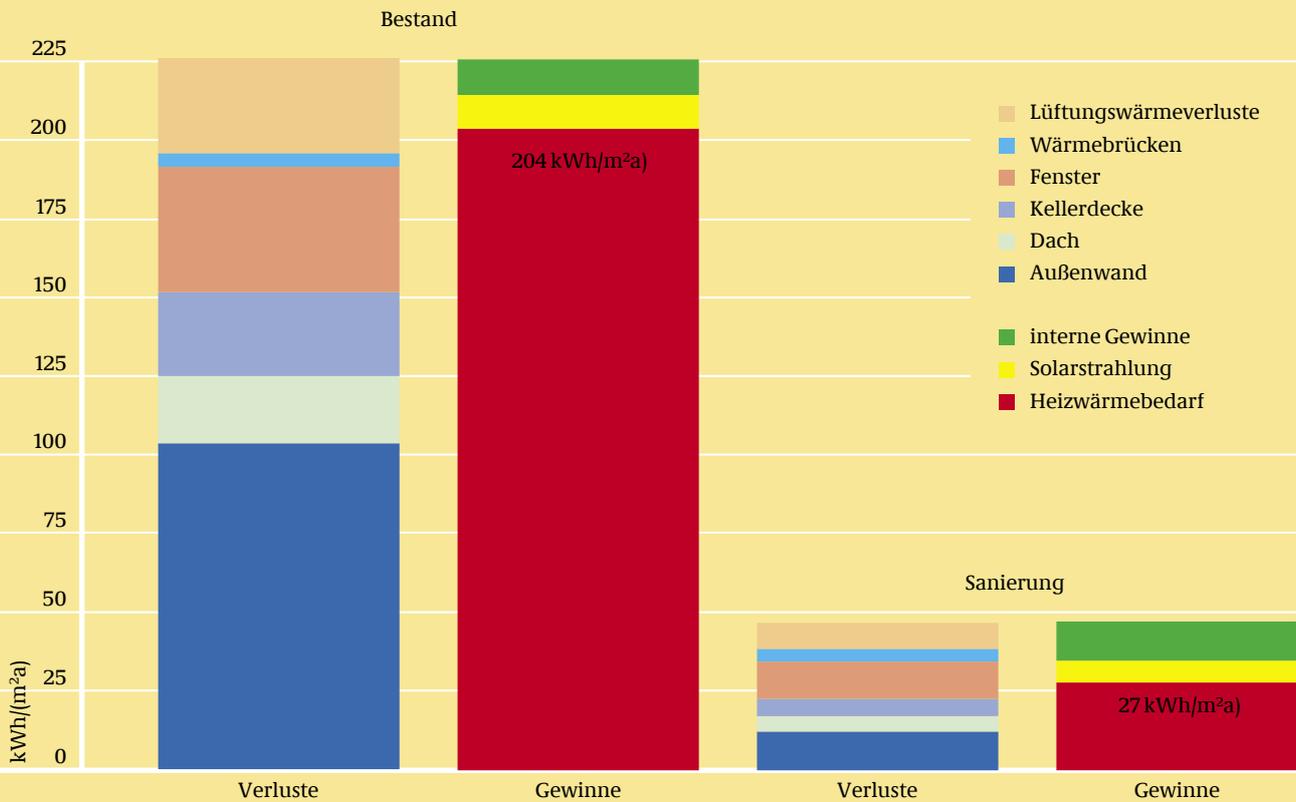


Abbildung 4 : Energiebilanz am Sanierungsbeispiel Jean-Paul-Platz in Nürnberg: Heizwärmereduktion mit Faktor 8,7 und CO<sub>2</sub>-Reduktion > Faktor 10



**Bauliche Komponenten**

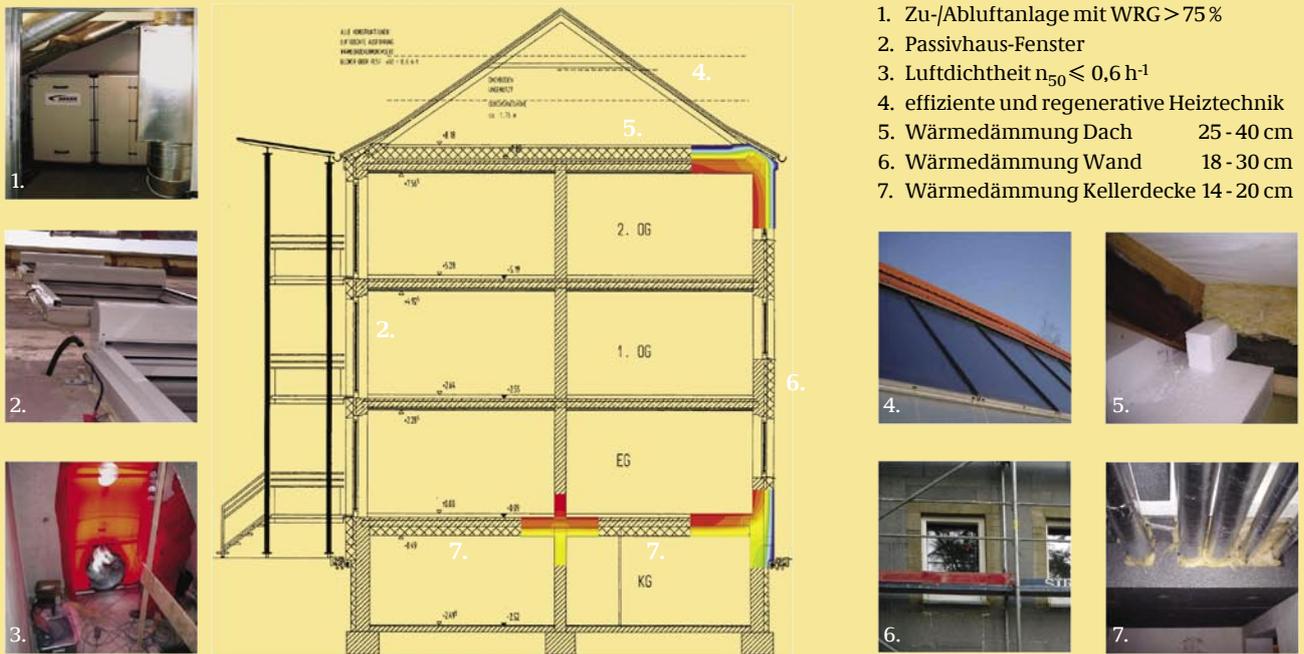
Techniken für eine energieeffiziente Sanierung sind vorhanden und ausreichend erprobt. Es geht von der baulichen Seite her vor allem darum, die wärmeübertragende Gebäudehülle möglichst gut zu dämmen. Statt der üblichen Dämmdicken von sechs bis zwölf Zentimetern werden Dämmungen von 15 bis 30 Zentimetern angestrebt. Dazu kommen hochwertige Fenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung und gedämmten Rahmen. Hinsichtlich der Qualitätssicherung muss besonderes Augenmerk auf die Minimierung von Wärmebrücken und eine hohe Luft- und Winddichtheit gelegt werden. Die baulichen Komponenten werden in Abbildung 5 aufgezeigt. In der folgenden Tabelle sind sie nochmals mit ihren jeweiligen besonderen Aspekten aufgelistet.

Tabelle 1: Passivhaus-Komponenten bei der Sanierung

Bauteil	Stand der Technik		Wirtschaftlichkeit der Zielvariante
	derzeit üblicher Standard	Zielvariante	€ pro eingesparter kWh
Wand	Dämmung 0-10 cm	16-24 cm	0,01 - 0,04 €
Dach	Dämmung 10-16 cm	25-30 cm	0,01 - 0,03 €
Kellerdecke	Dämmung 0-8 cm	10-20 cm	0,02 - 0,04 €
Fenster	Uw=1,4 W/(m² K)	Uw=0,8 W/(m² K)	0,06 - 0,10 €
Lüftung	Fensterlüftung	WRG <sup>1)</sup>	0,05 - 0,12 €
Gebäudetechnik	1,3-2,0 <sup>2)</sup>	1,1-1,2 <sup>2)</sup>	0,01 - 0,04 €
regenerative Energie	Ausnahme	hoher Anteil	0,07 - 0,20 €
CO <sub>2</sub> -Reduktion	20-50 %	85-95 %	

1 Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG); 2 Anlagenaufwandszahl der Heizanlage (ohne regenerativen Bonus)

Abbildung 5: Bauliche Komponenten für Sanierung mit Faktor 10; Passivhaus-Komponenten



1. Zu-/Abluftanlage mit WRG > 75 %
2. Passivhaus-Fenster
3. Luftdichtheit  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
4. effiziente und regenerative Heiztechnik
5. Wärmedämmung Dach 25 - 40 cm
6. Wärmedämmung Wand 18 - 30 cm
7. Wärmedämmung Kellerdecke 14 - 20 cm

**Lüftung**

Noch vor wenigen Jahrzehnten war ein ausreichender Luftwechsel durch den Auftrieb der Verbrennungsluft von Einzelöfen in Verbindung mit großen Undichtheiten in der Gebäudehülle gegeben. Mit dem Einbau von Zentralheizungen und der Abdichtung von Fenstern und Türen entfiel diese Art der Lüftung. Eine Änderung des Nutzerverhaltens – also Außenluftzufuhr durch Lüften – war jedoch nicht in ausreichendem Maß gegeben. Schimmelpilzbildung, Allergien und Sick-Building-Syndrom waren die Folge. In Fachkreisen setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass zur Sicherstellung einer ausreichenden Luftwechselrate von 0,4 bis 0,8 h<sup>-1</sup> (30 m<sup>3</sup> pro Person; vgl. Abb. 6) eine mechanische Lüftungsanlage unabdingbar ist. Soll dieser Luftwechsel durch Fensterlüftung erzielt werden, müsste etwa alle anderthalb Stunden eine Querlüftung durchgeführt werden – auch nachts!

Abbildung 6: Auslegungsschema einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung; Luftwechselrate gesamt = 0,4 h<sup>-1</sup>

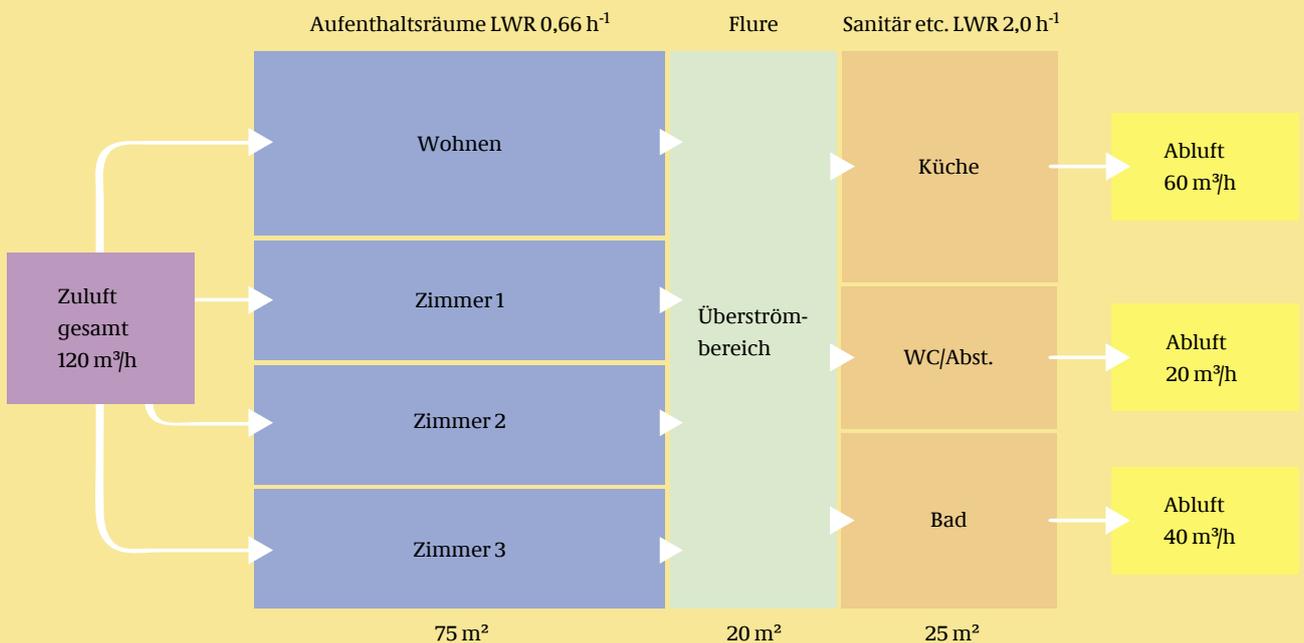
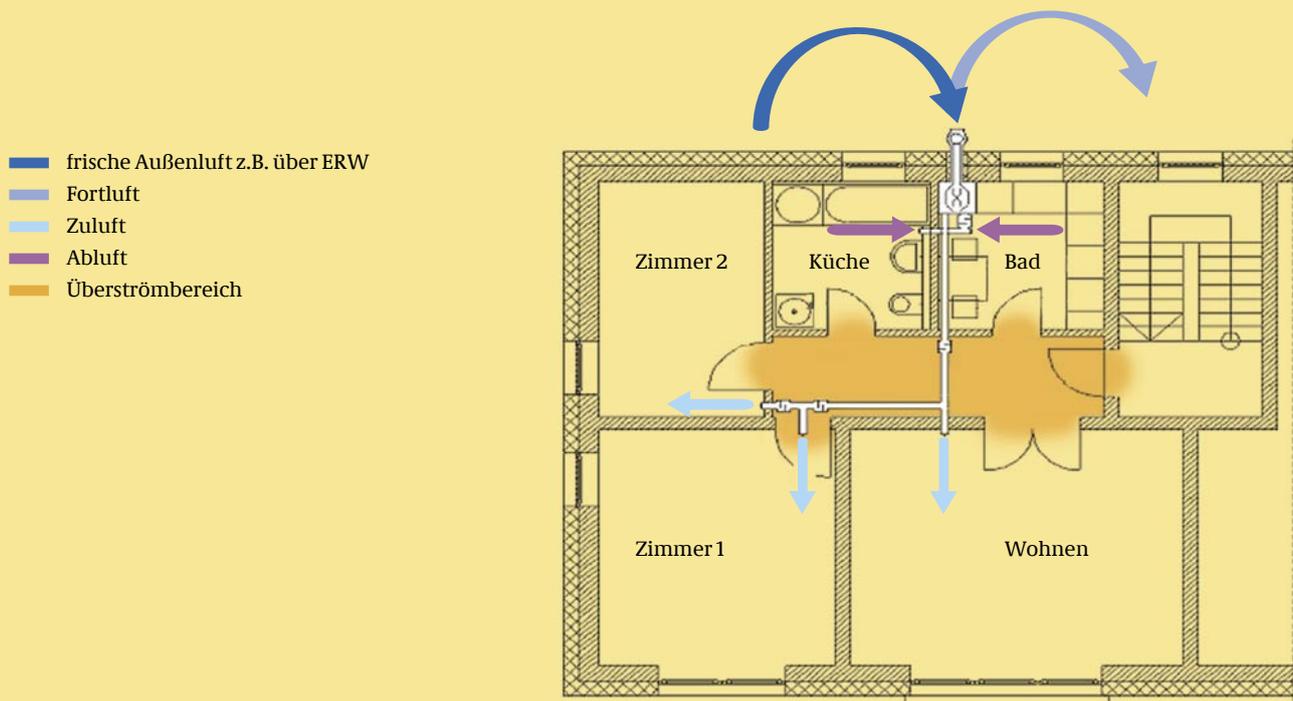


Abbildung 7: Zu-/Abluftanlage mit WRG (Grundriss)



Es bieten sich zwei Anlagenkonzepte an: Abluftanlagen und Zu-/Abluftanlagen (Abb. 7) mit Wärmerückgewinnung. Aus energetischer Sicht ist letztere Variante mit einem Wärmebereitstellungsgrad des Gerätes von  $\eta_{\text{WBG,t,eff}} \geq 75$  Prozent und hoher Elektroeffizienz ( $p_{\text{el}} \leq 0,45 \text{ Wh/m}^3$  Leistungsaufnahme für Ventilator und Regelung pro  $\text{m}^3$  geförderter Luft) zu bevorzugen. Diese Anlagen haben sich über den Passivhausbau in den letzten Jahren etabliert und können im Bereich der Sanierung eingesetzt werden. In den nächsten Jahren werden kostengünstige zentrale Lösungen für Mehrfamilienhäuser auf den Markt gebracht.

### Heizsystem

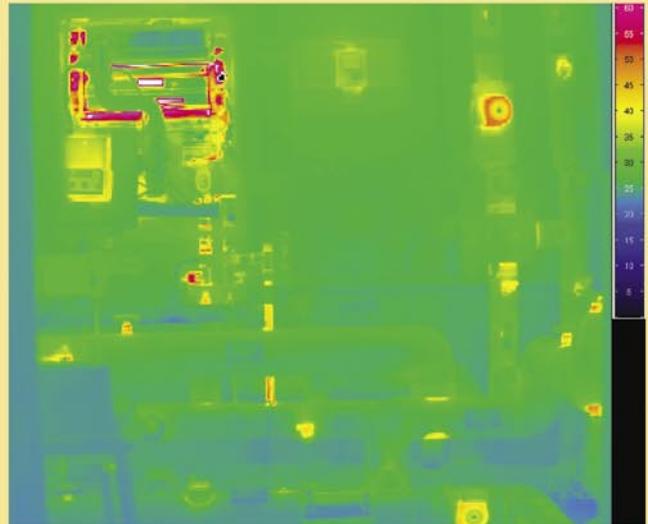
Die Maßnahmen an der Gebäudehülle sind die Voraussetzung für die Auswahl eines sinnvollen Heizsystems: Die Heizlast reduziert sich gravierend auf etwa zehn bis 15 Watt pro  $\text{m}^2$  beheizter Fläche. Dadurch kann mit niedriger Vorlauftemperatur die Wärme transportiert werden. Es entstehen geringe Temperaturunterschiede ohne Zugerscheinungen und eine ausgeglichene Wärmeverteilung ohne Schichtungen in den Aufenthaltsräumen. Pyrolyseprozesse von Staub in der Raumluft an Heizflächen mit der Folge schlechter Raumluftqualität finden nicht mehr statt. Unterschreitet die Heizlast zehn  $\text{Watt/m}^2$ , kann auch über die Zuluft der Lüftungsanlage geheizt werden und das gesonderte Warmwasser-Heizsystem kann entfallen.

Im Heizungsbereich können hinsichtlich der Auslegung der Zentrale und der Heizkreise Kosten gegenüber Standard-sanierungen eingespart werden. Die gängigsten sinnvollen Versorgungsvarianten stellen Gas-Brennwertheizungen dar. Kraft-Wärme-Kopplung, gleich ob als Fern-, Nahwärme- oder BHKW-Variante, reduziert  $\text{CO}_2$ -Emissionen durch die dezentrale Bereitstellung von Strom in Verbindung mit der Nutzung der Abwärme und senkt die primärenergiebezogene Anlagenaufwandszahl um 20 bis 40 Prozent. Die Nutzung von Biomasse zu Heizzwecken führt zu einer weiteren Verbesserung der Primärenergiebilanz. Bei kleinen Einheiten kann auf Holzpellets zurückgegriffen werden, bei großen Anlagen können Hackschnitzel zum Einsatz kommen.

Die Verbindung mit Solarthermie ist vor allem bei den Kessel-Varianten mit allen Brennstoffen sinnvoll. Eine ökonomisch zweckmäßige Variante stellt die solare Warmwasserbereitung dar. Das wirtschaftliche Optimum liegt bei einer Anlagenauslegung auf den Sommerfall. Durch die Vergrößerung der Absorberflächen sinkt zwar die Wirtschaftlichkeit, der solare Deckungsgrad kann allerdings nochmals deutlich erhöht werden.

Im Heizungsbereich werden in den nächsten Jahren zahlreiche Innovationen zu verzeichnen sein, die der Entwicklung des geringen spezifischen Heizwärmebedarfs durch die Maßnahmen an der Gebäudehülle Rechnung tragen.

Abbildung 8: Brennwert-Zentrale: Foto und IR-Thermografie



Quelle: Feist 2003

Abbildung 9: Solarthermie



### Bauphysik, Behaglichkeit und Komfort

Zahlreiche Parameter sprechen aus Behaglichkeits- und Komfortgründen für eine hochwertige energetische Sanierung. Eine Auswahl der Aspekte wird im Folgenden dargestellt.

### Oberflächentemperaturen

Je besser ein Gebäude gedämmt ist, desto höher liegen die inneren Oberflächentemperaturen der Außenbauteile zu Wand, Dach und Keller. Abbildung 10 zeigt die Situation für ein typisches unsaniertes Bestandsgebäude und für eine hochwertig gedämmte Sanierungsausführung.

Die „empfundene Raumtemperatur“ sollte bei etwa 19 bis 20 °C liegen. Sie stellt in etwa das arithmetische Mittel aus den Temperaturen der umgebenden Oberflächen und der Raumlufttemperatur dar. Bei gut gedämmten Gebäuden sind alle Oberflächen ungefähr gleich warm und haben keine größere Temperaturdifferenz als drei bis vier Kelvin, was als ein weiteres Kriterium für ein hohes Behaglichkeitsempfinden gilt.

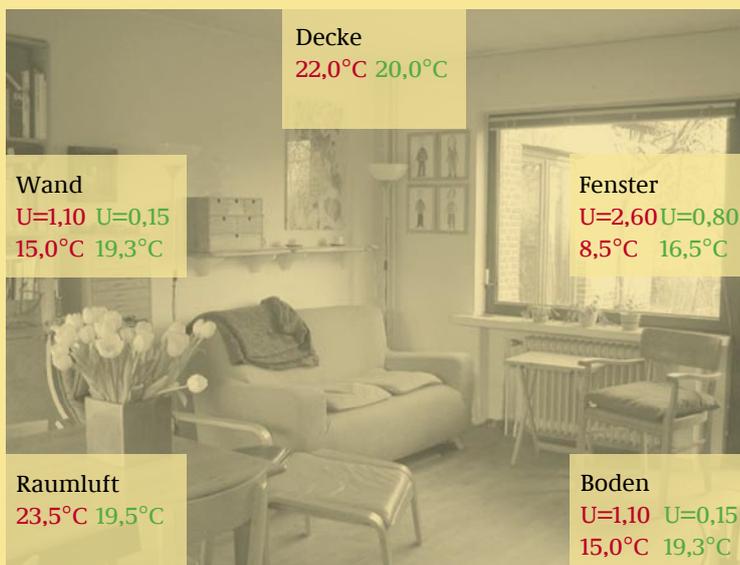
Gut gedämmte Gebäude werden von den Nutzern bei niedrigerer Raumlufttemperatur als hochkomfortabel empfunden.

### Wärmebrücken und Mikroorganismen

Selbst bei guter Dämmung in der Fläche entstehen an Wärmebrücken Temperaturen, die zu Schäden führen können: Tauwasserausfall entsteht bei Oberflächentemperaturen unter 9,3 °C, Schimmelpilzbildung kann ab einer Oberflächentemperatur von 12,6 °C beginnen. Diese Werte gelten für eine Raumtemperatur von 20 °C und eine relative Raumluftfeuchte von 50 Prozent – in vielen Wohnungen ist eine noch ungünstigere Situation gegeben. Für diese Rahmenbedingungen wurde an zahlreichen Wärmebrückendetails eine Überprüfung durchgeführt. Wird berücksichtigt, dass fast immer Möblierungen in diesen Bereichen vorhanden sind, verschärft sich die Situation nochmals. Bei unsanierten Gebäuden treten in den meisten Fällen Tauwasser und Schimmelpilzbildung auf, bei Standarddämmungen (6 - 8 cm) ist an vielen Detailpunkten noch mit der Bildung von Schimmelpilzen zu rechnen. Dies entspricht den Beobachtungen bei vielen sanierten Gebäuden. Es wird davon ausgegangen, dass Schimmelpilze Allergien und Atemwegserkrankungen hervorrufen. Ein starker Anstieg dieser Krankheiten seit den 1970er Jahren ist u.a. auf diese Ursache zurückzuführen.

Erst bei guter Dämmung im U-Wert-Bereich um bzw. unter 0,2 W/(m<sup>2</sup> K) treten keine Mängel mehr auf (vgl. Abb. 11).

Abbildung 10: Oberflächentemperaturen bei einer schlecht und einer gut gedämmten Gebäudehülle



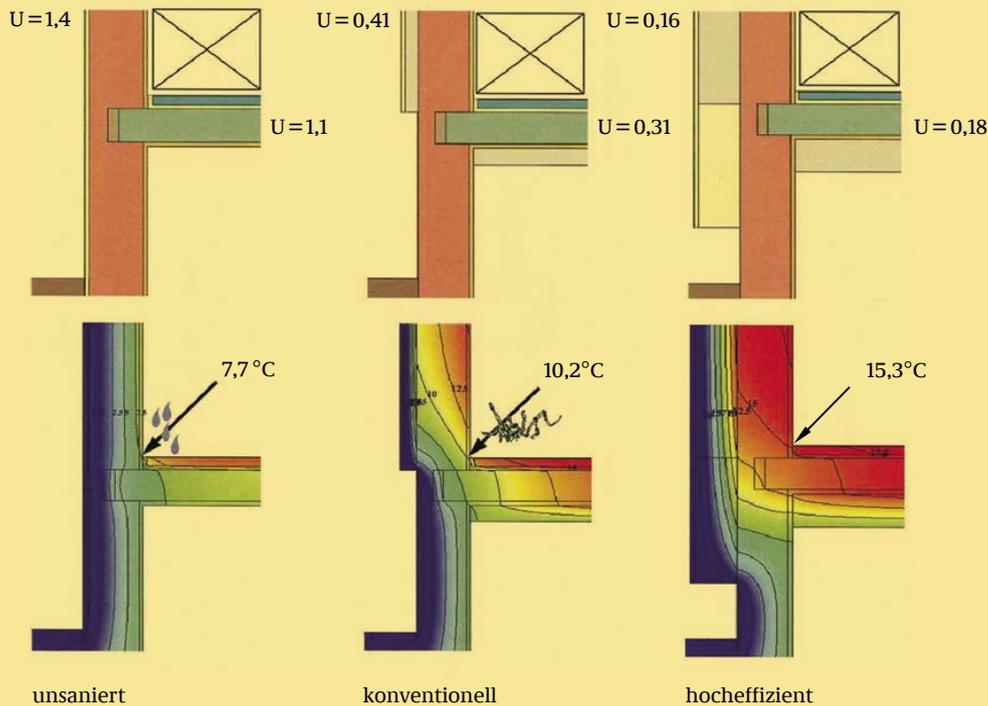
- schlecht gedämmte Gebäudehülle
  - Decke zum Wohnraum Oberfläche 22,0°C
  - Wand U= 1,10 W/(m<sup>2</sup>K) Oberfläche 15,0°C
  - Fenster U=2,60 W/(m<sup>2</sup>K) Oberfläche 8,5°C
  - Boden U= 1,10 W/(m<sup>2</sup>K) Oberfläche 15,0°C
  - Raumlufte 23,5°C
- gut gedämmte Gebäudehülle
  - Decke zum Wohnraum Oberfläche 20,0°C
  - Wand U=0,15 W/(m<sup>2</sup>K) Oberfläche 19,3°C
  - Fenster U=0,80 W/(m<sup>2</sup>K) Oberfläche 16,5°C
  - Boden U=0,15 W/(m<sup>2</sup>K) Oberfläche 19,3°C
  - Raumlufte 19,5°C

### Luftgeschwindigkeit und Luftschichtung

Temperaturunterschiede stellen neben Undichtheiten eine wesentliche Ursache für Raumluftbewegungen dar. Wenn ein Gebäude luft- und winddicht gebaut ist, zudem ausgewogene Temperaturen in allen Bereichen eines Raumes aufweist (s. o. Punkt „Oberflächentemperaturen“) und schließlich für die Beheizung sehr niedrige Vorlauftemperaturen erfordert, so führt dies zu sehr geringen Luftgeschwindigkeiten und mithin hoher Behaglichkeit.

Ergänzend ergeben sich nur minimale Effekte hinsichtlich der Luftschichtung. Das Thema „kalte Füße und warmer Kopf“ kann bei energetisch hochwertig sanierten Gebäuden ad acta gelegt werden.

Abbildung 11: Wärmebrücke im Sockelbereich Keller-Erdgeschoss: unsanierte Variante mit Tauwasserausfall, konventionelle Variante mit Schimmelpilzbefall, hocheffiziente Variante schadensfrei



Quelle: PHI Darmstadt 2003-1

Lüftungsanlagen führen bei richtiger Auslegung in den Aufenthaltsbereichen zu keinerlei spürbarer Luftbewegung. Der Luftaustausch erfolgt so langsam, dass Luftgeschwindigkeiten deutlich unterhalb der Schwelle zur Wahrnehmbarkeit liegen.

### Zwangslüftung - Komfortlüftung

Lüftungsanlagen wird von vielen Nutzern zunächst mit Vorbehalten begegnet, weil Klimaanlage mit zwangsverschlossenen Fenstern assoziiert werden. Richtig geplante Lüftungsanlagen haben eine extrem hohe Nutzerakzeptanz. Sie werden in der überwiegenden Zahl der Fälle als deutliche Erhöhung des Komforts angesehen. Der lästige Zwang zum Fensterlüften entfällt. Die beständig frische Raumluft bei geschlossenen Fenstern wird sehr geschätzt. In innerstädtischen Gebieten und an verkehrsreichen Straßen wirken Lüftungsanlagen zudem als Schallschutz. Natürlich können die Fenster geöffnet werden: Im Sommer und außerhalb der Heizzeit soll bzw. kann ergänzend Fensterlüftung betrieben werden.

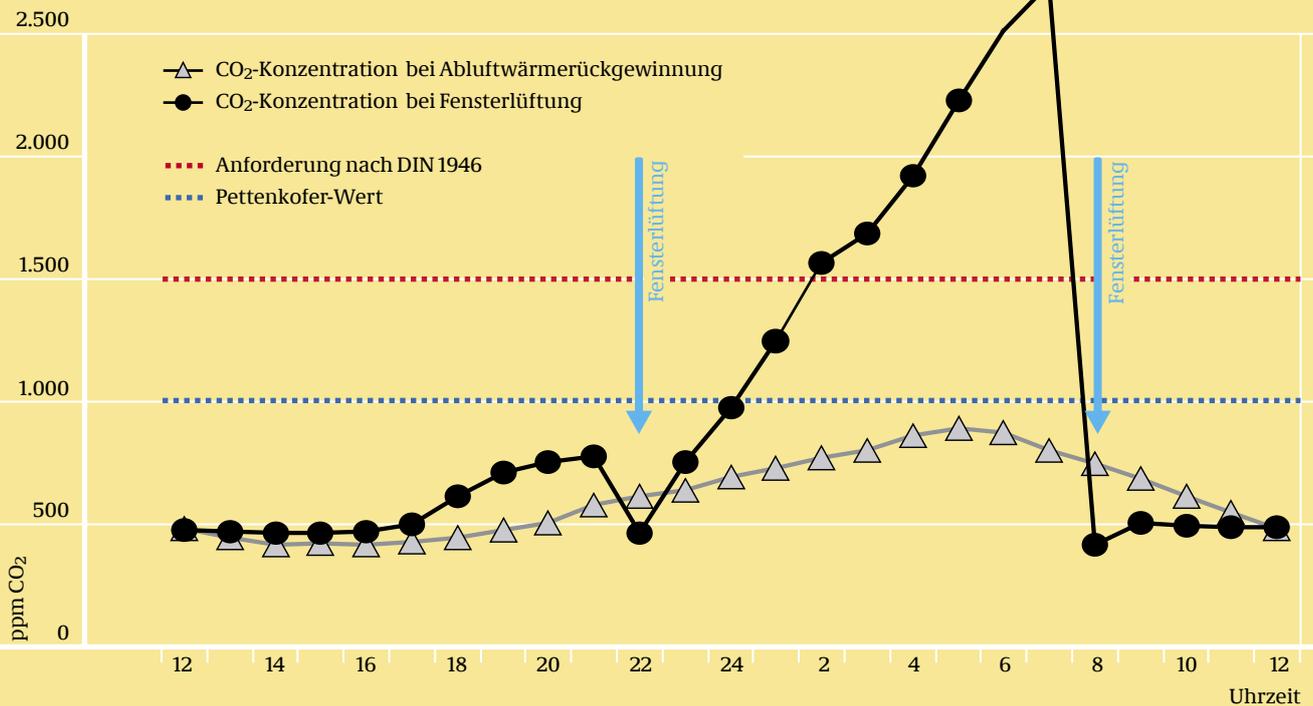
### Raumluftqualität

Durch den gezielten und regelmäßigen Eintrag frischer Außenluft wird die Raumluftqualität entscheidend verbessert: Eine stündliche Außenluftzufuhr von  $30 \text{ m}^3$  pro Person führt je nach Wohnungsgröße und Belegung zu Luftwechselraten von  $0,4$  bis  $1,2 \text{ h}^{-1}$  in den Aufenthaltsräumen bzw. von  $0,3$  bis  $0,7 \text{ h}^{-1}$  in der gesamten Wohnung. Wie oben bereits beschrieben wird ein solcher Luftaustausch in der Praxis durch manuelle Lüftung bei weitem nicht erreicht. Entsprechend niedrig liegen die Schadstoffwerte von bisherigen Messungen. Abbildung 12 zeigt einen Vergleich hinsichtlich der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in einem Schlafzimmer.

### Durchgeführte Projekte

Die Sanierung mit Passivhauskomponenten wurde in zahlreichen Projekten durchgeführt: bei dem Drei-Liter-Haus der LuWoGe im Brunckviertel in Ludwigshafen (LuWoGe 2001-2003) ebenso wie bei einem Gründerzeithaus in Passivbauweise (Erdgeschoss in Niedrigenergiebauweise) in Hannover. In Nürnberg wurde das Objekt Jean-Paul-Platz 4 durch die WBG Nürnberg saniert (WBG 2005). Das Mehrfamilienhaus (Bj. 1930) wurde zu einem Drei-Liter-Haus unter dem Aspekt hoher Wirtschaftlichkeit umgebaut (Abb. 13). Im Rahmen der ersten Projektwelle des dena-Modells „Niedrigenergiehaus im Bestand“ wurden 20 Objekte bundesweit zum KfW-40- bzw. KfW-60-Standard saniert, u.a. ein 50er-Jahre-Gebäude in der Ingolstädter Straße in Nürnberg zum KfW-40-Standard (WBG 2006).

Abbildung 12: Charakteristischer Tagesverlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Schlafzimmer im Vergleich von Fensterlüftung und Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung



Im Rahmen der zweiten Projektwelle des dena-Projektes werden derzeit über 100 Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser mit dem Ziel einer hohen Energieeffizienz bei einem Standard von 30 bis 50 Prozent unter der Neubauanforderung der Energieeinsparverordnung (EnEV) saniert. Förderung wird seitens der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) gewährt (DENA 2005).

Ein Förderprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) hat sich intensiv mit der Thematik beschäftigt und schafft Grundlagen für weitere Sanierungen mit dem Faktor 10 (DBU 2003).

Abbildung 13: Drei-Liter-Haus (WBG Nürnberg) am Jean-Paul-Platz 4 in Nürnberg vor und nach der Sanierung



**Kosten und Wirtschaftlichkeit**

Bei dem WBG-Projekt Jean-Paul-Platz in Nürnberg wurde eine kostenoptimierte energetische Sanierung für 503 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche durchgeführt (Kostengruppe 300/400 nach DIN 276 inkl. MWSt.). Nach einem ähnlichen Schema kann das große Gebäudepotenzial von Mehrfamilienhäusern der 60er Jahre, die in den nächsten Jahren zur Sanierung anstehen, auf

effiziente Weise saniert werden. Ein großer Teil der Sanierungsmaßnahmen erfordert rein energetische Optimierungen. Sind darüber hinaus grundlegende Maßnahmen notwendig, wie z.B. Grundrissänderungen mit Totalentkernung bei 50er-Jahre-Gebäuden, so werden deutlich höhere Kosten bis hin zu vergleichbaren Neubaukosten in Höhe von 900 bis 1.200 €/m<sup>2</sup> erreicht. Für Gründerzeitgebäude liegen die Kosten eher noch höher.

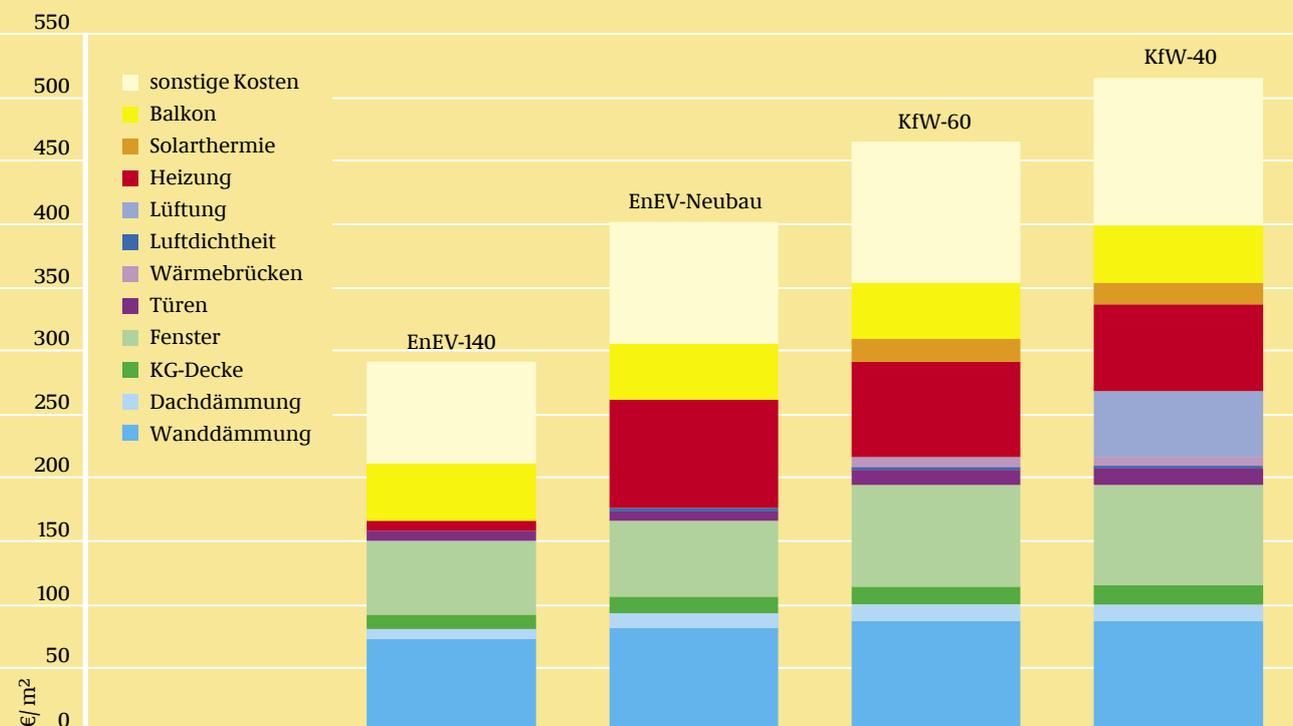
Abbildung 14: KfW-40 Haus: Ingolstädter Straße in Nürnberg (WBG Nürnberg)



Sanierungen zum Drei-Liter-Haus erfordern derzeit einen Mehraufwand pro Quadratmeter Wohnfläche in Höhe von etwa 100 bis 150 Euro im Vergleich zum Standard nach der Energieeinsparverordnung. Abbildung 15 zeigt die Berechnung am Beispiel Jean-Paul-Platz.

Abbildung 15: Kostenvergleich verschiedener Sanierungsstandards pro m<sup>2</sup> Wohnfläche

Baukosten pro m<sup>2</sup> WF verschiedener energetischer Gebäudestandards



Inzwischen sind zahlreiche weitere Projekte abgerechnet und es zeigt sich, dass die erforderlichen Mehrinvestitionen für die Passivhauskomponenten im Vergleich zum EnEV-Standard bei optimierter Kostenplanung im benannten Bereich von 100 bis 150 €/m<sup>2</sup> liegen. Es können aber durchaus weit höhere Kosten bis hin zu mehreren hundert Euro entstehen, wenn Konzept und Abwicklung nicht für Kosteneffizienz sorgen.

Um eine Reproduzierbarkeit der Mehrinvestitionen im Markt zu erreichen, wurde das Forschungsvorhaben „EnergieRegion Faktor 10“ durch das etz Nürnberg mit Fördermitteln des bayerischen Wirtschaftsministeriums initiiert. Ziel ist es, Akteure in der Bauwirtschaft zu qualifizieren und darüber hinaus mit Industriepartnern die Energieeffizienz-Komponenten für die Gebäudesanierung zu optimieren. Die Wirtschaftlichkeit wird anhand eines Rechentools anschaulich dargestellt, um die Entscheidungsträger in der Immobilienwirtschaft für die Thematik zu sensibilisieren (etz 2006).

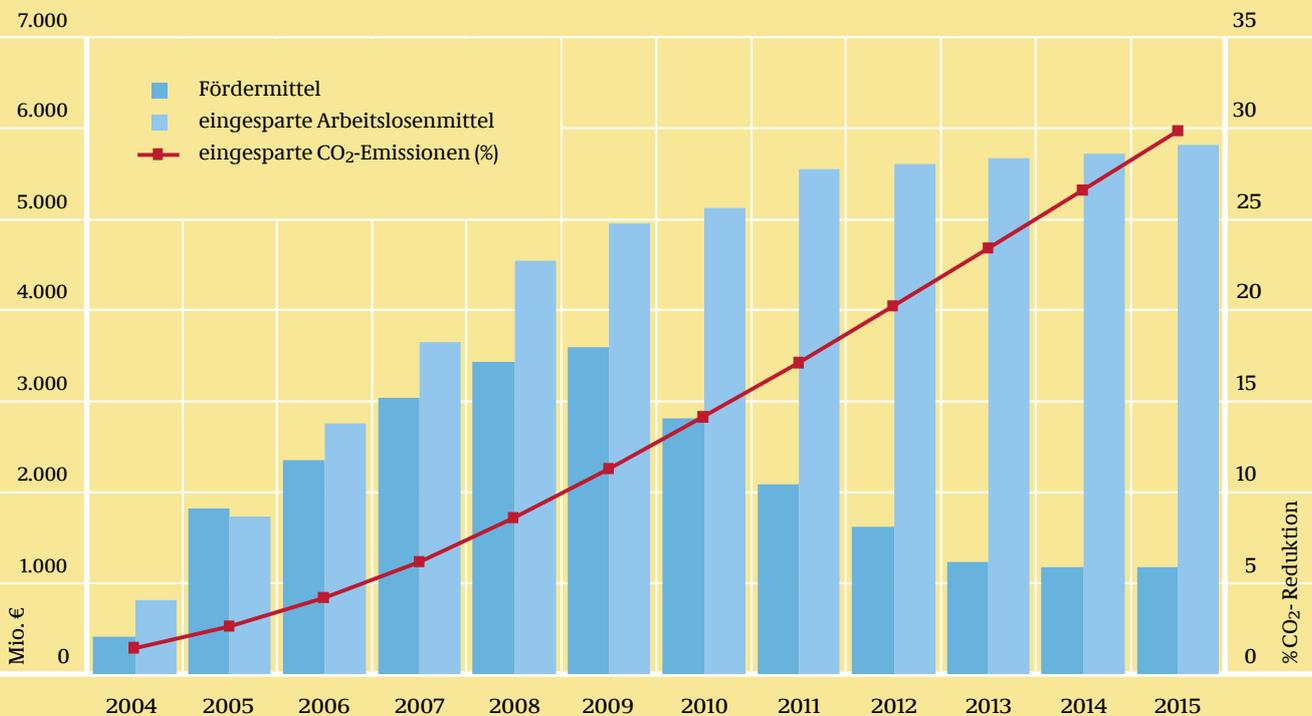
**Umsetzung**

Derzeit werden jährlich ca. zwei Prozent der Gebäude saniert, davon nur ein geringer Anteil energetisch optimal. Ziel ist eine jährliche Sanierungsrate von drei bis 3,5 Prozent bei nachhaltigen energetischen Standards bis hin zum Faktor 10. Dazu müssen Impulse gegeben werden. In Zeiten der Deregulierung und des Abbaus von Subventionen ist dies besonders schwierig. Ein Erfolg kann nur erreicht werden, wenn staatliche und privatwirtschaftliche Aktivitäten in einem sinnvollen Miteinander entwickelt werden. Abbildung 16 zeigt ein Szenario gezielter Förderung und der daraus entstehenden volkswirtschaftlichen Einsparpotenziale sowie der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Abbildung 17 weist die Chancen aus, die hocheffiziente Sanierungstechniken als Innovationsfaktor mit sich bringen. In der Sanierungstätigkeit wird innerhalb eines Jahrzehnts zu großen Teilen auf diese Techniken zurückgegriffen werden. Diese Entwicklung entspricht den Erfahrungen mit der Niedrigenergiebauweise, die inzwischen durch die EnEV weitestgehend zum allgemeingültigen Standard geworden ist. Die Erfahrung der jährlichen Verdopplung der umgesetzten Projekte wurde auch beim Passivhaus-Standard gemacht. Die schon jetzt bekannten energieeffizienten Sanierungsprojekte der nächsten beiden Jahre sowie die hohe Akzeptanz der innovativen Techniken in Fachkreisen bilden die Grundlage für die Prognose.

**Politische Förderung**

Aufgabe der Politik ist es, Rahmenbedingungen zu schaffen, die einer sinnvollen Entwicklung Unterstützung bieten. Vorrangig geht es darum, einen gesellschaftlichen Grundkonsens über die Notwendigkeit hoher Energieeffizienz zu schaffen. Bis weit in Verwaltung, Fachkreise, Ausbildungswesen und Verbände hinein bestehen irrationale oder auch wirtschaftlich motivierte Hemmnisse gegenüber zukunftsgerichteten Entwicklungen.

Abbildung 16: Szenario (BRD) mit gezielter degressiver Förderung und einem Einsparziel von 30 % CO<sub>2</sub> in gut 10 Jahren



Quelle: Schulze Darup 1999/2003-1

Dazu müssen Forschungsvorhaben sinnvoll koordiniert auf den Weg gebracht und Informationswege geöffnet und unterstützt werden, vom Fachpublikum bis hin zu den Verbrauchern. „Leuchtturmprojekte“ sind bundes- und EU-weit notwendig, wobei darauf geachtet werden muss, dass sie kein Modell-Unikat bleiben. Wesentliches Ziel von Förderungen muss die breitenwirksame Umsetzung der Technologien sein. Erfahrungen müssen gezielt ausgewertet und in weitere Entwicklungen eingespeist werden.

Abbildung 17: Entwicklung des Anteils hocheffizienter Sanierung mit Faktor 10; Angabe in m<sup>2</sup> sanierter Fläche



Unter einem bundesweiten Verbund müssen in den Ländern und Regionen Netzwerke zusammengeführt werden, die sich der Entwicklung verpflichtet fühlen und mit einem hohen übergreifenden Informationsaustausch die jeweiligen Stärken ihrer Region zum Tragen bringen und lokale Akteure synergetisch einbinden können. Ein konstruktiver Wettbewerb mit einem intensiven Erfahrungsaustausch wird sinnvoll Entwicklungen unterstützen und Nachahmung sowie Breitenwirksamkeit induzieren.

**Finanzielle Förderung** muss integraler Bestandteil dieses Gesamtkonzeptes sein. Die bereits eingeführten und mehrfach fortgeschriebenen KfW-Programme des Bundes zur Gebäudesanierung müssen auf ihre Effizienz hin überprüft und an die sich ändernde Aufgabenstellung angepasst werden. Insbesondere zu bedenken sind dabei Markteinführungsaspekte innovativer Techniken, damit die Industrie mit einer gewissen Verlässlichkeit ihre Produkte entwickeln kann. Die Wahl einer degressiven Förderstrategie sollte dazu führen, dass neue Produkte möglichst bald zu kostengünstigen Mainstream-Produkten werden.

Zahlreiche regionale Initiativen, wie z.B. Proklima in Hannover, ZEBAU in Hamburg, EnergieRegion Nürnberg etc., zeigen, dass durch die Verbindung von Beratung und gezieltem Einsatz von Fördermitteln wegweisende Projekte entwickelt werden können. Das Modellvorhaben der dena „Niedrigenergiehaus im Bestand“ zeigt, dass mit hohem Erfolg vielfältige Innovationen vorangetrieben werden.

Vergleichbare Initiativen sind auf EU-Ebene sinnvoll. Besonderer Wert sollte dabei auf den Wissenstransfer durch regional tätige Akteure gelegt werden. Nur durch die örtliche Beratung und eine fachlich kompetente Unterstützung der konkreten Vorhaben werden sinnvolle Projekte in einem breiten Spektrum ermöglicht. Parallel dazu sind ein zielgerichtetes Forschungsprogramm und Öffentlichkeitsarbeit erforderlich.

## Fazit

Das Aufgabengebiet der Gebäudesanierung stellt eine hervorragende Chance für die Arbeitsmarkt-, Umwelt- und Stadtentwicklungspolitik der nächsten zwei Jahrzehnte dar. Das Ziel der starken Verbreitung hocheffizienter Sanierungstechniken stellt unter ökonomischen, ökologischen und soziokulturellen Aspekten folgende Gewinne in Aussicht:

- Der Wohnungswirtschaft wird Hilfestellung zum Abbau ihres Sanierungsstaus geleistet;
- Der Industrie wird ein breites Anwendungsspektrum für innovative Produkte eröffnet;
- Die (regionale) Bauwirtschaft kann die Einbrüche der letzten Jahre ausgleichen;
- Fördermitteln steht ein Investitionsvolumen mit dem Faktor 10 gegenüber;
- Ein Rückgang der Arbeitslosigkeit und fiskalische Effekte lassen Fördermittel zu 100 Prozent zurückfließen;
- Die avisierten 50er- und 60er-Jahre-Quartiere werden städtebaulich aufgewertet;
- Hoher Komfort und Behaglichkeit statt Kondenswasser- und Schimmelprobleme;
- Eine CO<sub>2</sub>-Reduktion mit sehr günstigem Kosten-Nutzen-Verhältnis;
- Eine deutliche Reduktion des Verbrauchs an fossilen Ressourcen als Grundlage für eine nachhaltige Volkswirtschaft sowie einen globalen Interessenausgleich, der eine Voraussetzung für ein weltweites friedliches Miteinander darstellt.

## Literatur

- DBU (2003): Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10. Umsetzungsorientiertes Forschungsvorhaben mit Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Koordination: Schulze Darup; Partner: PHI Darmstadt, ZEBAU Hamburg, IEMB Berlin und vier Industriepartner (Marmorit/Krautol, Aerex/Maico, Rehau, Variotec). 2004. Broschüre mit gleichnamigem Titel: kostenloser Download unter: <http://dbu.de/publikationen/publikationsliste.php?kategorie=11>.
- DENA (2005): Modellprojekt – Niedrigenergiehaus im Bestand. – Deutsche Energie Agentur Berlin 2005. Download unter: [www.neh-im-bestand.de](http://www.neh-im-bestand.de).
- etz (2006): EnergieRegion Faktor 10. Forschungsvorhaben mit Fördermitteln des bayerischen Wirtschaftsministeriums, Projektleitung und Koordination: etz Nürnberg, bautechnische Beratung und Projektentwicklung: Architekturbüro Schulze Darup/Nürnberg, gebäudetechnische Beratung: ebök/Tübingen, Industriepartner ARGE Faktor 10, Bauwirtschaft; Nürnberg 2006.
- Feist, W., John, M. und O. Kah (2003): Passivhaustechnik im Gebäudebestand – Qualitätssicherung für das Bauvorhaben Jean-Paul-Platz 4 in Nürnberg. Passivhaus Institut Darmstadt im Auftrag der WBG Nürnberg 2003.
- Hinz E., Großklos, M. und R. Born (2002): Statusbericht zum Thema „Niedrigenergiehäuser im Bestand“. Eine Untersuchung im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur (dena), IWU Darmstadt 2002.
- IWU (2001): Mietrechtliche Möglichkeiten zur Umsetzung von Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand. Hrsg. Energiereferat der Stadt Frankfurt/M., gefördert durch die Deutsche Stiftung Umwelt, Frankfurt.
- LUWOG (2001): Das 3-Liter-Haus. LUWOG Wohnungsbauunternehmen der BASF GmbH Ludwigshafen.
- PHI (2003): Herstellerliste von Passivhaus-geeigneten Komponenten: Homepage des Passivhaus Instituts Darmstadt: [www.passivhaus-info.de](http://www.passivhaus-info.de).
- PHI (2003-1): Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Altbaumodernisierung. PHI: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband 24, hrsg. von W. Feist, Passivhaus Institut Darmstadt.
- PHPP (2003): Passivhaus Projektierungs- Paket. Passivhaus Institut Darmstadt.
- Schulze Darup, B. (1999): Altbausanierung im Raum Nürnberg. In: Forschungszentrum Jülich [Hrsg.], Klimaschutz durch energetische Sanierung von Gebäuden, Band 1. Reihe Umwelt: Band 21.
- Schulze Darup, B. [Hrsg.] (2002): Passivhaus Projektbericht: Energie und Raumluftqualität, Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotenziale und Raumluftqualität an Passivhäusern in Nürnberg. Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Projektpartner: LGA Nürnberg, Energieagentur Mittelfranken Nürnberg, AnBUS Fürth, N-ERGIE Nürnberg, Architekturbüro Schulze Darup Nürnberg, Verlag AnBUS, Fürth.
- Schulze Darup, B. (2003): Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten. In: PHI [Hrsg.], Tagungsband 7. Internationale Passivhaustagung in Hamburg, Darmstadt.
- Schulze Darup, B. (2003-1): Energetische Wohngebäudesanierung mit Faktor 10. Dissertation Universität Hannover/Fachbereich Architektur.
- WBG Nürnberg [Hrsg.] (2005): Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten: Projektbericht Jean-Paul-Platz 4 in Nürnberg. Schulze Darup, B.: Koordination und Zusammenfassung; PHI Darmstadt: Qualitätssicherung; FIW München: Messprogramm, WBG Nürnberg.
- WBG Nürnberg [Hrsg.] (2006): Modernisierung zum KfW-40-Haus: Projektbericht Ingostädter Straße 131-141 in Nürnberg. Schulze Darup, B.: Wissenschaftliche Begleitung, WBG Nürnberg.
- Wuppertal Institut (1999): Gebäudesanierung – eine Chance für Klima und Arbeitsmarkt. Hrsg. von IG Bauen-Agrar-Umwelt und Greenpeace Hamburg.



## Forum: Energiewende – Chancen für Beschäftigung, Wirtschaft und Wachstum

### Moderation:

Dr. Thomas Steg  
Stellvertretender Sprecher der Bundesregierung

### Erneuerbare Energien als Wirtschaftsfaktor

Astrid Klug  
Parlamentarische Staatssekretärin, Bundesumweltministerium

### Energiewende – Chancen und Grenzen nationaler Energiepolitik als Motor für Wirtschaft, Wachstum und Beschäftigung

Dr. Eberhard Meller  
Hauptgeschäftsführer des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft (VDEW)

### Erneuerbare Energien und Wachstum im Kontext des Atomausstiegs

Stephan Kohler  
Geschäftsführer der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena)

### Erneuerbare Energien – ein Exportschlager

Prof. Dr. Fritz Vahrenholt  
Vorstandsvorsitzender der REpower Systems AG



*Forum: „Energiewende – Chancen für Beschäftigung, Wirtschaft und Wachstum“  
mit Dr. Eberhard Meller, Hauptgeschäftsführer des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft,  
Astrid Klug, Parlamentarische Staatssekretärin im Bundesumweltministerium,  
Dr. Thomas Steg, Stellvertretender Sprecher der Bundesregierung und Moderator des Forums,  
Prof. Dr. Fritz Vahrenholt, Vorstandsvorsitzender der REpower Systems AG,  
Stephan Kohler, Geschäftsführer der Deutschen Energie-Agentur GmbH (v.l.n.r.)*



## Erneuerbare Energien als Wirtschaftsfaktor

Astrid Klug

Parlamentarische Staatssekretärin, Bundesumweltministerium

----- Es gilt das gesprochene Wort -----

Sehr geehrte Damen und Herren!

Der bisherige und künftige Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland hat neben positiven Auswirkungen auf Umwelt- und Klimapolitik auch erheblichen Nutzen für Innovation, Wachstum und Beschäftigung. Bereits jetzt sind die erneuerbaren Energien ein wichtiger Wirtschaftsfaktor, dessen Bedeutung in den nächsten Jahren noch zunehmen wird. Hierzu nur einige Beispiele:

1. **Die erneuerbaren Energien lösen erhebliche Investitionen aus.** Im letzten Jahr betrug der Umsatz durch EE in Deutschland bereits rund 16 Milliarden Euro. Davon entfielen etwa 8,5 Milliarden auf Investitionen. Bis 2012 sind nach konservativen Abschätzungen weitere Investitionen von etwa 50 Milliarden zu erwarten. Rund drei Viertel hiervon sind der Stromerzeugung aus EE zuzurechnen, der Rest den Bereichen Kraftstoff und Wärme. Die Verbände der Erneuerbare-Energien-Branche erwarten im gleichen Zeitraum sogar noch ein deutlich höheres Investitionsvolumen in einer Größenordnung von etwa 70 Milliarden Euro.
2. Die erneuerbaren Energien haben eine hohe, in Zukunft noch deutlich zunehmende **Bedeutung für den deutschen Arbeitsmarkt**. Einer aktuellen Studie für das BMU<sup>1</sup> zufolge boten sie im letzten Jahr bereits etwa 170.000 Menschen Beschäftigung. 2004 hatte die Beschäftigtenzahl noch bei 157.000 gelegen. Damit haben die erneuerbaren Energien schon jetzt eine deutlich höhere arbeitsmarktpolitische Bedeutung als die gesamte deutsche Kohleindustrie oder, erst recht, die Atomindustrie. Bis 2020 dürfte sich nach der o.g. Studie die Zahl der Arbeitsplätze im Bereich der erneuerbaren Energien auf dann 300.000 fast verdoppeln. Erneut geht diese Branche auch hier von einem noch deutlich stärkeren Wachstum aus (Abschätzung für 2020: 500.000 Arbeitsplätze im Bereich der erneuerbaren Energien).
3. Die erneuerbaren Energien unterstützen den **Strukturwandel in traditionellen Industrien** und bieten der **Landwirtschaft** sowie **wirtschaftlich noch schwachen Regionen** langfristig tragfähige **Wachstums- und Beschäftigungsperspektiven**. Hierzu sei nur exemplarisch auf den Siegeszug innovativer PV-Unternehmen in Sachsen-Anhalt verwiesen, wo sich die ehemalige Chemieregion Bitterfeld zunehmend als Innovationsstandort positioniert und weltweit Investoren anzieht, so zuletzt etwa aus Australien.
4. **Die Branche der erneuerbaren Energien ist klar mittelständisch geprägt.** Nach einer breit fundierten Unternehmensbefragung des BMU im letzten Jahr hatten etwa 85 Prozent aller Unternehmen der Branche weniger als 250 Beschäftigte. Das hat erhebliche wirtschaftspolitische Bedeutung, denn immer wieder war in Deutschland vor allem der Mittelstand Motor von Innovation und Beschäftigung. Daneben profitiert auch das **Handwerk** erheblich von den Erneuerbaren, insbesondere vom jüngsten Boom bei den Solarkollektoren oder Biomasse-Heizkesseln. Allein 2005 haben sich eine halbe Millionen Haushalte dafür entschieden, erneuerbare Energien zu nutzen, so viele wie nie zuvor.
5. Eine zentrale Rolle für die aktuellen und vor allem künftigen ökonomischen Auswirkungen der Erneuerbaren spielt der **Außenhandel**. Deutschland ist hier aufgrund seines stabilen, weiterhin wachsenden heimischen Marktes und der in vielen Feldern errungenen Technologieführerschaft für den weltweit boomenden EE-Markt sehr gut aufgestellt. In der o.g. Studie wird für den Außenhandel bis 2020 eine Exportquote von etwa 68 Prozent der in Deutschland hergestellten Anlagen und Komponenten angenommen.
6. **Bei einer umfassenden ökonomischen Betrachtung rechnen sich die erneuerbaren Energien schon jetzt.** Denn die konventionelle Energieerzeugung verursacht, trotz aller umweltpolitisch bedingten Verbesserungen, immer noch deutlich höhere Umweltschäden als die erneuerbaren Energien. Nach einem aktuellen Gutachten für das BMU kann der volkswirtschaftliche Nutzen der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in einer Größenordnung von knapp drei Milliarden Euro angesiedelt werden – das ist mehr, als die den Stromabnehmern in Deutschland derzeit in Rechnung gestellten EEG-Mehrkosten (2005: rd. 2,4 Milliarden Euro).

---

1 BMU (2006): Wirtschaftsfaktor Umwelt. Innovation, Wachstum und Beschäftigung durch Umweltschutz. [http://www.bmu.de/wirtschaft\\_und\\_umwelt/downloads/doc/36969.php](http://www.bmu.de/wirtschaft_und_umwelt/downloads/doc/36969.php).

Die o.g. Entwicklungen sind erfreulich. Sie sind allerdings **kein Selbstläufer**, sondern benötigen weiterhin gezielte Unterstützung. Zum einen durch **stabile Rahmenbedingungen** für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland, wie wir sie mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geschaffen haben und beibehalten werden; und wie wir sie z.B. mit einem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) schaffen werden. Zum anderen brauchen wir weiterhin anhaltende, gezielte **Schwerpunktsetzungen bei Forschung und Entwicklung sowie auch wirksame Impulse für die Exportförderung im Bereich der erneuerbaren Energien**. Hier ist die Politik gefragt – wir arbeiten daran.

## Energiewende – Chancen und Grenzen nationaler Energiepolitik als Motor für Wirtschaft, Wachstum und Beschäftigung

**Dr. Eberhard Meller**

**Hauptgeschäftsführer des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft (VDEW)**

Der Titel klingt ein wenig futuristisch. Er klingt so, als müsste demnächst jemand in Deutschland aufs Knöpfchen drücken. Meine Damen und Herren, dieser Eindruck ist unzutreffend. Die Energiewende fand bereits 1998 statt. Dieses Jahr markiert einen fundamentalen Systemwechsel, nämlich den Übergang vom Monopol zum Wettbewerb. Es lohnt sich zurückzuschauen. Der Wettbewerb war keine deutsche Erfindung, sondern ist das Ergebnis eines intensiven politischen Diskurses in der EU, der dann in der ersten Binnenmarkttrichtlinie seinen Niederschlag fand. Das Ziel war klar definiert: die Sicherung von Wachstum und Beschäftigung.

Energie steht, wie kaum ein anderes Thema, im Blick der Politik. Dabei sind sich alle im Grundsatz einig, dass es darum geht, „Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit“ in Einklang zu bringen. Mit der Liberalisierung des Strommarktes hat die EU eine Grundentscheidung für Wettbewerb und Markt getroffen. Das energiewirtschaftliche Zieldreieck muss also innerhalb eines durch Wettbewerb bestimmten Rahmens verwirklicht werden. Ich sehe das keineswegs als Grenze, sondern als Stimulus für mehr Effizienz an. Ich bin der festen Überzeugung, dass der liberalisierte Binnenmarkt das am besten geeignete Instrument zur Sicherung einer langfristig wirtschaftlichen, zuverlässigen und umweltschonenden Energieversorgung ist.

Die EU ist mit dem Gipfel von Lissabon angetreten, um aus Europa bis 2010 die wachstumsstärkste wissensbasierte Region der Erde zu machen. In der Erklärung von Lissabon wird der Liberalisierung der Strom- und Gasmärkte dabei eine bedeutende Rolle zugewiesen. Der Bezug liegt auf der Hand: Strom ist das Blut in den Adern der technischen Zivilisation. Aber wo stehen wir heute?

### **Binnenmarkt**

Der vorläufige Bericht der Generaldirektion Wettbewerb zur so genannten Sektorenuntersuchung gibt Deutschland in vielen Disziplinen gute Noten:

- So bilden die EEX und der deutsche OTC-Handel einen der liquidesten Großhandelsmärkte in Europa. Das am Spotmarkt EEX gehandelte Volumen entwickelt sich mit stark steigender Tendenz. Das Handelsvolumen stieg in 2005 insgesamt um 50 Prozent auf 602 Terawattstunden (von 397 TWh in 2004). Die am Spotmarkt gehandelte Menge Strom stieg 2005 um über 40 Prozent auf 86 TWh (von 60 TWh in 2004). Dies entspricht ca. 17 Prozent des Stromverbrauchs in Deutschland. An der EEX handeln derzeit 149 T Unternehmen aus 19 Ländern (davon mehr als 50 Prozent aus dem Ausland). Die im OTC-Markt gehandelten Mengen liegen um ein Vielfaches über den Handelsmengen an der EEX. Für die Akzeptanz des deutschen Großhandelsmarktes (Termin- und Spothandel) spricht auch der hohe Anteil von Akteuren ohne eigene Erzeugung.

In der Darstellung der Marktkonzentration im Erzeugungsbereich wird der Vielfalt des deutschen Marktes zu Recht Rechnung getragen. Vier große Erzeuger mit relativ ausgewogenen Marktanteilen sowie knapp ein Fünftel Marktanteil der mittleren und kleineren Erzeuger sprechen im europäischen Vergleich für eine ausgeglichene Marktstruktur. Dies kommt in der Berechnung des Herfindahl-Hirschman-Indizes entsprechend zum Ausdruck.

- In 2006 belegt Deutschland bezüglich verfügbarer Kuppelkapazitäten Platz eins innerhalb der UCTE<sup>1</sup>. Der Verbundgrad (verfügbare Kuppelkapazität zum Ausland) liegt für Deutschland mit 16 Prozent bezogen auf die inländische installierte Kraftwerkskapazität weit über dem Barcelona-Zielwert von zehn Prozent.

Ich bin überzeugt, die Ergebnisse werden in Zukunft noch besser aussehen. Der Zwischenbericht der Sektorenuntersuchung basiert auf Daten des Sommers 2005. Seitdem haben sich insbesondere auch in Deutschland die Rahmenbedingungen grundlegend verändert. Deutschland hat mit dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) und den dazugehörigen Verordnungen seine Hausaufgaben gemacht. So wird durch die Bundesnetzagentur derzeit u.a. die informatorische Entflechtung sichergestellt. Weitere Impulse für die Marktöffnung werden von der Umsetzung der rechtlichen Entflechtung auf der Verteilungsnetzebene Mitte 2007 ausgehen. Alles in allem: Die Aussichten sind recht gut, dass sich Deutschland im europäischen Vergleich in der Spitzengruppe der Märkte festsetzt.

---

<sup>1</sup> Vgl. UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity) (2005): UCTE System Adequacy Forecast Report 2005–2015, S.45. [http://www.ucte.org/pdf/Publications/2005/SAF\\_2005-2015\\_final.pdf](http://www.ucte.org/pdf/Publications/2005/SAF_2005-2015_final.pdf).

Aber nicht überall in Europa ist der Wettbewerb auf gutem Wege. Ein europäisches level-playing field ist derzeit aufgrund spezifischer nationaler Sonderregelungen, wie z.B. hinsichtlich des Kundenzugangs oder staatlich fixierter Endkundenpreise für bestimmte Industriezweige, wie derzeit etwa in Italien, Spanien und Frankreich praktiziert, noch nicht gegeben.

Konkret: Die Strompreise für Unternehmen der energieintensiven Industrie bilden sich in diesen Ländern immer noch nicht nach den Spielregeln des liberalisierten Marktes, sondern werden staatlich reguliert.

Schon bisher waren die Preise, allen voran die Preise für energieintensive Industrien, staatlich subventioniert. Presseberichten zufolge beliefen sich die Subventionen in 2005 auf sage und schreibe 3,4 Milliarden Euro. Seit Anfang März dieses Jahres wird in Spanien integrierten Unternehmen (also solchen, bei denen Erzeugung und Vertrieb unter einem Dach sind) verboten, ihren Strom an der Börse anzubieten, soweit es sich nicht um Überschussmengen handelt. Stattdessen werden sie verpflichtet, bilaterale In-House-Geschäfte abzuschließen, also unter Umgehung des Großhandelsmarktes den Strom an den eigenen Vertrieb zu verkaufen. Dieser muss den Strom seinen Kunden zu einem Festpreis liefern, der unter den derzeitigen Marktpreisen liegt. Für das erste Geltungsjahr hat die spanische Energiekommission den Preis auf 42,35 €/MWh festgesetzt. Ganz nebenbei wird hierdurch auch noch die europäische Klimapolitik in Form des europäischen Emissionszertifikatehandels ausgehebelt.

De facto führt Spanien damit eine Preisobergrenze ein. Solche so genannten price caps können für einen liberalisierten Markt verhängnisvolle Folgen haben. Das hat die kalifornische Energiekrise schmerzhaft gelehrt. Klar ist jetzt schon: Der spanische Staat beschneidet den freien Strommarkt empfindlich. Auch Unternehmen, die ohne eigene Erzeugung Endkunden beliefern wollen, können so ihre Bezugskosten nicht weitergeben. D.h. die Versorgung energieintensiver Kunden am spanischen Markt ist für diese Unternehmen wirtschaftlich nicht darstellbar. Dies schafft eine klare Markteintrittsbarriere.

Etwas subtiler machen es die Franzosen. In Frankreich haben Industrieunternehmen seit Anfang dieses Jahres die Möglichkeit, sich über die Beteiligung in einem Konsortium langfristig und unabhängig von der Entwicklung der Marktpreise mit Strom zu sehr günstigen Konditionen einzudecken. Das zugrunde liegende Gesetz eröffnet den Unternehmen steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten von bis zu 50 Prozent ihrer jeweiligen Geldeinlage. Industrieunternehmen können sich so langfristig einen Wettbewerbsvorsprung gegenüber Konkurrenten verschaffen. Kritisch zu beurteilen ist das Modell auch mit Blick auf eine mögliche Marktverschließung auf Anbieterseite. Abgesehen davon sind Haushaltskunden in Frankreich immer noch an den jeweiligen Monopolisten gebunden und haben keine Wahlmöglichkeit, wie sie in Deutschland selbstverständlich ist.

Auch in Italien findet der Wettbewerb für viele Kunden nicht statt: Ursprünglich für eine kurze Übergangszeit gedachte regulierte Tarife für energieintensive Unternehmen sollen nach einer Verordnung aus dem letzten Jahr jetzt bis Ende 2010 (mit einer jährlichen Anpassung von maximal vier Prozent) bestehen bleiben.

Die Zeche zahlen die anderen Kunden bzw. der Steuerzahler und vor allem die ausländischen Wettbewerber. Volkswirtschaftliche Effizienzen lassen sich so jedenfalls nicht erschließen.

Bei den Haushaltskunden – soweit sich diese ihren Anbieter überhaupt schon aussuchen können – sieht es in vielen Mitgliedstaaten ebenso verheerend aus: Staatlich regulierte Tarife unterhalb des Marktpreises machen einen Wechsel für den Kunden völlig unattraktiv. Wettbewerb kann sich so nicht entfalten.

Was wir brauchen, ist nach jetzigem Erkenntnisstand kein drittes Binnenmarktpaket. Was wir brauchen, ist eine konsequente Anwendung des zweiten Binnenmarktpakets in allen Mitgliedstaaten, damit die Energiewende von 1998 wirklich in allen Mitgliedstaaten greift. Wenn es uns gelingt, die beschriebenen Schutzzäune einzureißen, wird am Ende des Tages der Wettbewerb zum Motor für Wirtschaft, Wachstum und Beschäftigung.

### **Energieeffizienz**

Energieeffizienz berührt alle Formen des Umgangs mit Energie, beginnend bei der Erzeugung von Elektrizität, über Transport und Verteilung, bis zur Endenergieanwendung. Die Energiewirtschaft unterstützt Energieeffizienz-Maßnahmen genauso wie die Energieeinsparung, da sie dem Ressourcen- und Klimaschutz dienen. Auch hier gilt allerdings: Die Förderung von Effizienz- und Energieeinsparmaßnahmen muss sich an marktwirtschaftlichen Gegebenheiten orientieren.

Während bei Erzeugung und Transport/Verteilung ein starker monetärer Anreiz zum Einsatz energieeffizienter Verfahren besteht, der sich z.B. in der beachtlichen Steigerung der Wirkungsgrade von Kraftwerken niedergeschlagen hat und auch weiterhin niederschlagen wird, sind die Strukturen in der Anwendung deutlich komplexer. Ob Verbraucher in rele-

vantem Umfang Strom energieeffizient einsetzen, hängt u.a. davon ab, wie informiert und problembewusst sie sind. Die Elektrizitätswirtschaft leistet vielfältige Beiträge zur Sensibilisierung der Kunden.

Nahezu 60 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfallen auf die Wärmebereitstellung. Hier können insbesondere durch heizungstechnische Maßnahmen und Wärmedämmung und durch den Einsatz hocheffizienter Wärmeerzeuger und KWK-Anlagen erhebliche Einsparpotenziale im Gebäudebereich erschlossen werden. Die Bundesregierung hat dieses zu einem Schwerpunkt ihrer Energiepolitik erklärt.

Wir müssen aber die Innovationskräfte nicht nur in Deutschland, sondern auch in Europa wecken. Die Energiedienstleistungsrichtlinie ist ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu einer immer energieeffizienteren EU. Der VDEW hat sich von Anfang an für diese Richtlinie stark gemacht. Ich bin stolz darauf, dass wir mit dem Indikator-/Benchmarkansatz einen wichtigen Beitrag dazu geleistet haben, die Energieeffizienz-Anstrengungen auf eine objektive Grundlage zu stellen.

Die Förderung eines sparsamen und effizienten Umgangs mit Primärenergieträgern (durch den Export neuer Technologien) in Schwellen- und Entwicklungsländern und die dadurch bedingte längere Reichweite von vorhandenen Energiereserven leisten einen Beitrag zur Versorgungssicherheit in Europa. Effizienzen sind auf allen Energiestufen (Förderung, Transport, Umwandlung und Nutzung) zu steigern. Nachfragezuwächse können so reduziert werden. Energieeffizienz leistet damit ebenfalls indirekt einen Beitrag zur Versorgungssicherheit.

### Energiemix

Sich verändernde Wettbewerbsbedingungen, Umwelt- und Klimaschutz sowie die Endlichkeit der Ressourcen erfordern eine kontinuierliche Anpassung des Energieträgermixes, der Erzeugungstechniken und der für die Energieversorgung notwendigen Infrastruktur.

Zur Sicherstellung der zukünftigen Diversifizität der Energieträger und zur Ressourcenschonung ist die Nutzung eines breiten Spektrums an Energieumwandlungstechnologien sowie an Techniken des rationellen Energieeinsatzes erforderlich. Dies ist auch die beste Versicherung gegen zu große Importabhängigkeiten.

Der Mix der Energieträger und der Umwandlungstechnologien muss grundsätzlich ein Ergebnis von Markt und Wettbewerb sein. Sofern der Staat unter Klimaschutzgesichtspunkten durch gesetzgeberische Vorgaben bzw. Anreize den verstärkten Einsatz spezifischer Brennstoffe/Technologien fördert, sollte dies befristet erfolgen. Eine dauerhafte Lenkung des Energieträgereinsatzes, unter Nichtbeachtung der Mechanismen eines wettbewerblichen Marktes, führt zu höheren volkswirtschaftlichen Kosten. Ebenso darf keine staatliche Festlegung für den Beitrag einzelner Erzeugungstechnologien erfolgen. Entsprechende Ansätze verletzen die ordnungspolitischen Grundsätze einer auf die Suchprozesse des Marktes gründenden Wirtschaftsordnung.

Die erneuerbaren Energieträger sind mittlerweile fester und wachsender Bestandteil unseres Energiemixes. Und dennoch ist man jedes Mal wieder erstaunt, wie die Zahlen aussehen: Allein im Jahr 2005 waren in Deutschland Windkraftanlagen mit einer Leistung von 17.700 MW installiert. Damit man diese Zahl einmal einordnen kann: Die gesamte installierte Kraftwerksleistung belief sich auf 122.600 MW. 15 Prozent der installierten Kapazität und fünf Prozent der Stromerzeugung kamen aus Windkraftanlagen. Der dena-Netzstudie<sup>2</sup> zufolge wird die installierte Windenergieleistung bis 2015 auf 36.000 MW ansteigen. Aufgrund des niedrigen Gleichzeitigkeitsfaktors können allerdings auch dann nur zwei konventionelle Großkraftwerke vom Netz genommen werden. Die Hersteller von Windkraftanlagen verbuchten nach Presseberichten im letzten Jahr einen Zuwachs von 30 Prozent – zweifelsohne eine Erfolgsgeschichte.

Aber schauen wir uns die makroökonomische Seite an.

- Im Jahr 2006 werden die Netzbetreiber voraussichtlich Vergütungen in Höhe von insgesamt 4,9 Milliarden Euro an die Betreiber von EEG-Anlagen zahlen. Die Belastungen für die Verbraucher werden sich auf knapp drei Milliarden Euro belaufen.
- Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat unmittelbar vom Fördervolumen abhängige, kurzfristige positive Beschäftigungseffekte. Diese Beschäftigungseffekte lassen sich – abgesehen von Randaspekten – aufgrund einer zuverlässigen, gut verfügbaren Datenbasis in quantitativ bedeutenden Bereichen verlässlich bestimmen.

<sup>2</sup> Ihr vollständiger Titel lautet: Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020 (dena-Netzstudie). Herausgeben von der Deutschen Energie-Agentur (dena) im Januar 2005.

- Der Nachweis kurzfristiger positiver Beschäftigungswirkungen des EEG sagt über dessen arbeitsmarktpolitische Wirkungen nicht alles aus. Um ein objektives und vollständiges Bild zu erhalten, sind die mittel- bis langfristigen Netto-Beschäftigungswirkungen, die durch das EEG hervorgerufen werden, zu ermitteln.
- Solange die Differenzkosten zwischen der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien (EE) und der konventionellen Stromerzeugung positiv sind, werden die positiven Beschäftigungswirkungen des EEG durch die negativen Beschäftigungswirkungen kompensiert oder sogar überkompensiert. Die Netto-Beschäftigungswirkungen der Förderung erneuerbarer Energien sind in diesem Fall tendenziell negativ.

Energiepolitik als Motor für Wachstum, Wirtschaft und Beschäftigung – das kann folglich nicht als Rechtfertigung für eine Fortführung unseres gegenwärtigen Förderungssystems herhalten. Wir müssen vielmehr die erneuerbaren Energien so bald wie möglich in den Markt integrieren.

Die Abnahmegarantie des EEG verhindert die Entwicklung marktfähiger Produkte aus Erneuerbaren und den Aufbau einer entsprechenden Nachfrage: Erneuerbare Energieträger werden nicht in den Strombinnenmarkt integriert, selbst wenn sie künftig wettbewerbsfähig wären. Durch das Festpreissystem werden grundlegende Lenkungswirkungen des Marktes außer Kraft gesetzt: Signale des Strommarktes führen nicht zu Effizienzanforderungen bei der Stromerzeugung aus Erneuerbaren. Wegen der ausschließlichen Mengenorientierung des EEG spielt die Verstetigung der Einspeisung keine Rolle: Dementsprechend entstehen hohe Aufwendungen für Regelenergie und Netzausbau. Vor diesem Hintergrund benötigen wir eine Energiewende im Umgang mit den EE.

Wie kann eine Lösung aussehen? Ein zukunftsfähiges Modell zur Förderung der Erneuerbaren muss

- Anreize für eine Effizienzsteigerung bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien schaffen,
- die erneuerbaren Energieträger mittelfristig wettbewerbsfähig machen,
- Kostensenkungen durch die Ausnutzung der europäischen Erneuerbaren-Potenziale ermöglichen und
- eine Konformität mit den Regelungen eines EU-Binnenmarktes gewährleisten.

Um nicht missverstanden zu werden: Ich stelle nicht die Ziele des EEG in Frage, sondern plädiere für einen Weg, diese effizienter zu erreichen! Damit wären wir auch wieder beim Thema Netto-Wachstum.

### **Energieaußenpolitik**

Eine importunabhängige Energieversorgung bleibt auf absehbare Zeit für Deutschland eine Illusion. Es geht darum, die Importabhängigkeit zu senken – z.B. durch die weitere Nutzung heimischer Rohstoffe, den Ausbau der erneuerbaren Energien und durch die Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeinsparung und Energieeffizienz. Ferner gilt es, die verbleibende Importabhängigkeit durch langfristige Verträge mit den Lieferländern und durch Diversifizierung bei den Brennstoffen und den Importeuren sicher kalkulierbar zu halten.

Versorgungssicherheit im Kontext von Marktwirtschaft und europäischem Binnenmarkt erfordert eine neue Zuordnung der Verantwortung. In einer Gemeinschaft von 25 Staaten kann eine gemeinsame Energieaußenpolitik grundsätzlich durch die EU effizienter als durch die einzelnen Mitgliedstaaten betrieben werden. So werden widersprüchliche Politiken vermieden und die Nachfragemacht wird gebündelt. Die EU – das sind 450 Millionen Kunden. Europäische Energieaußenpolitik sollte einen Rahmen für die Beziehungen mit Drittländern schaffen, der es den Mitgliedstaaten und deren Unternehmen ermöglicht, ihn nach ihren Bedürfnissen auszufüllen und damit die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Regionale Abkommen, wie der Vertrag zur Gründung der südosteuropäischen Energiegemeinschaft, können ein wichtiges Instrument darstellen. Die mit Russland in Bezug auf den Elektrizitätssektor geführten Gespräche sollten in Anlehnung an die Prinzipien der südosteuropäischen Energiegemeinschaft weiterhin auf die Säulen Liberalisierung, Umweltschutz und Netzsicherheit gestützt werden.

### **Fazit**

In unserer vernetzten Welt werden die Grenzen für eine nationale Energiepolitik immer enger. Brüssel setzt inzwischen schon lange nicht mehr nur den Rahmen, sondern hat auch in weiten Teilen die Detailregelungen an sich gezogen. In einer EU-25 ist dies unvermeidlich. Selbst wenn noch Abwehrschlachten geschlagen werden – auch in Sachen Energieaußen-

politik verlagert sich das Gewicht schon seit geraumer Zeit vom Nationalstaat auf die europäische Ebene. Das soll keineswegs resignativ klingen. Wenn wir Energiepolitik als Motor für Wirtschaft, Wachstum und Beschäftigung begreifen, gibt es zu Europa letztlich keine Alternative.



## Erneuerbare Energien und Wachstum im Kontext des Atomausstiegs

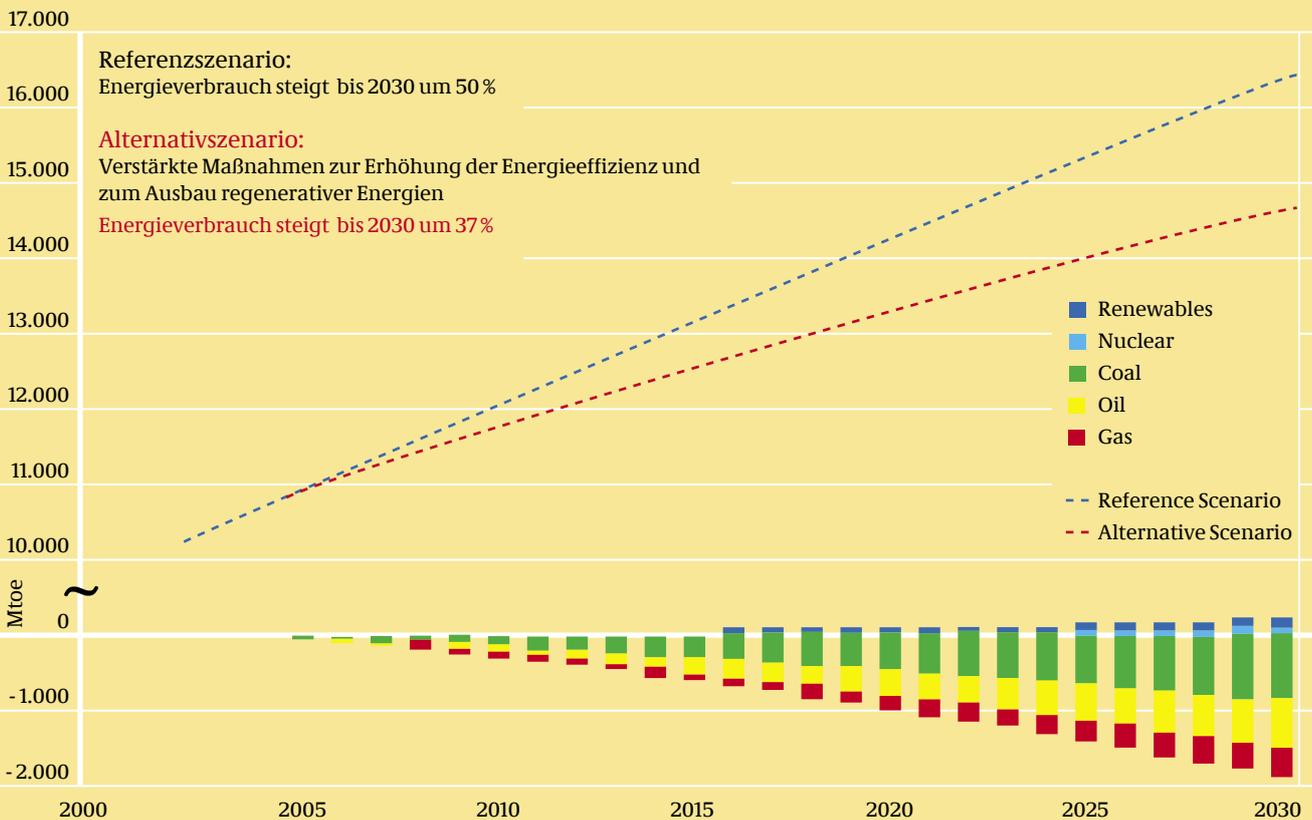
Stephan Kohler  
Geschäftsführer der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena)

Folienpräsentation

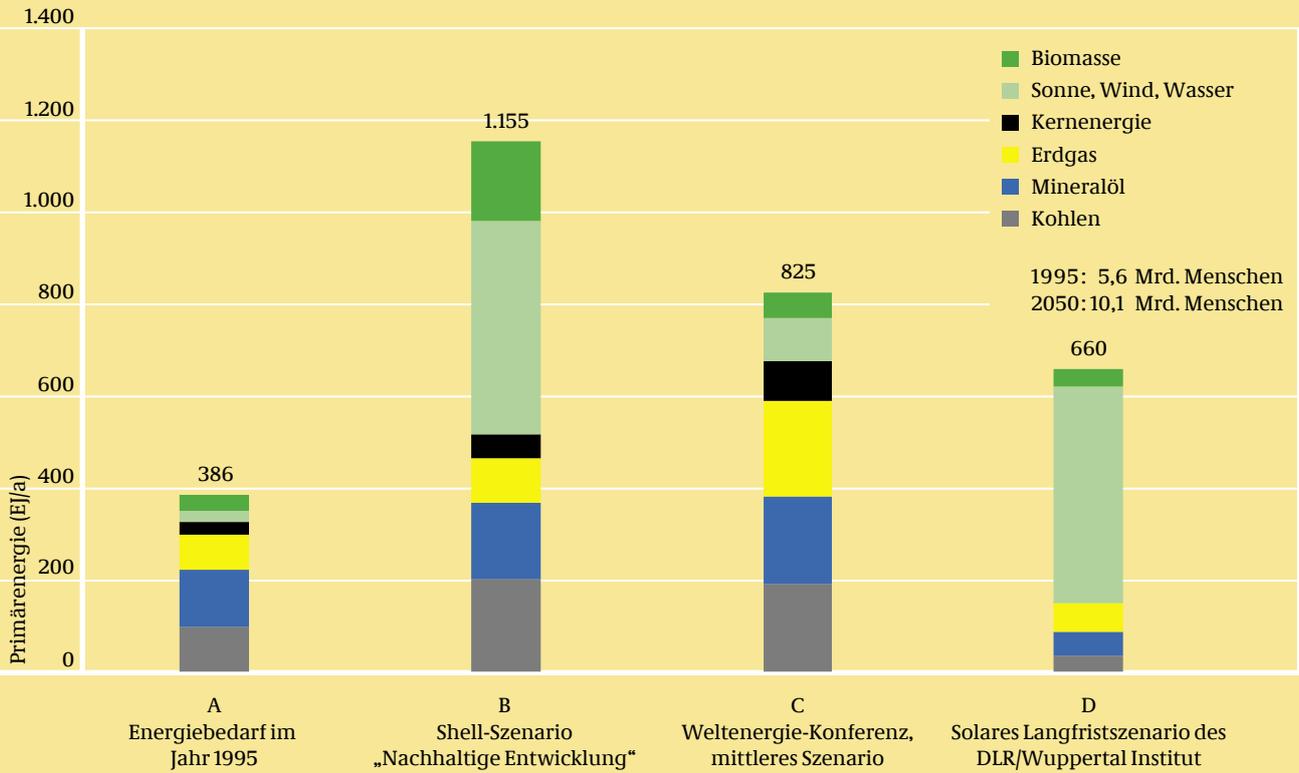
### Folie 1: Energiepolitische Herausforderungen

- hohes Verbrauchsniveau in Industrieländern
- hohes Energieverbrauchswachstum z.B. in China, Indien, stark steigende Nachfrage nach fossilen Energieträgern
- politische Instabilität in wichtigen Rohstofflieferländern
- begrenzte Aufnahmefähigkeit der Umwelt von Schadstoffen (Klima)
- veränderte politische Weltlage mit stark veränderter Risikolage (Terrorismus)

### Folie 2 World Energy Outlook - Referenz- und Alternativszenario



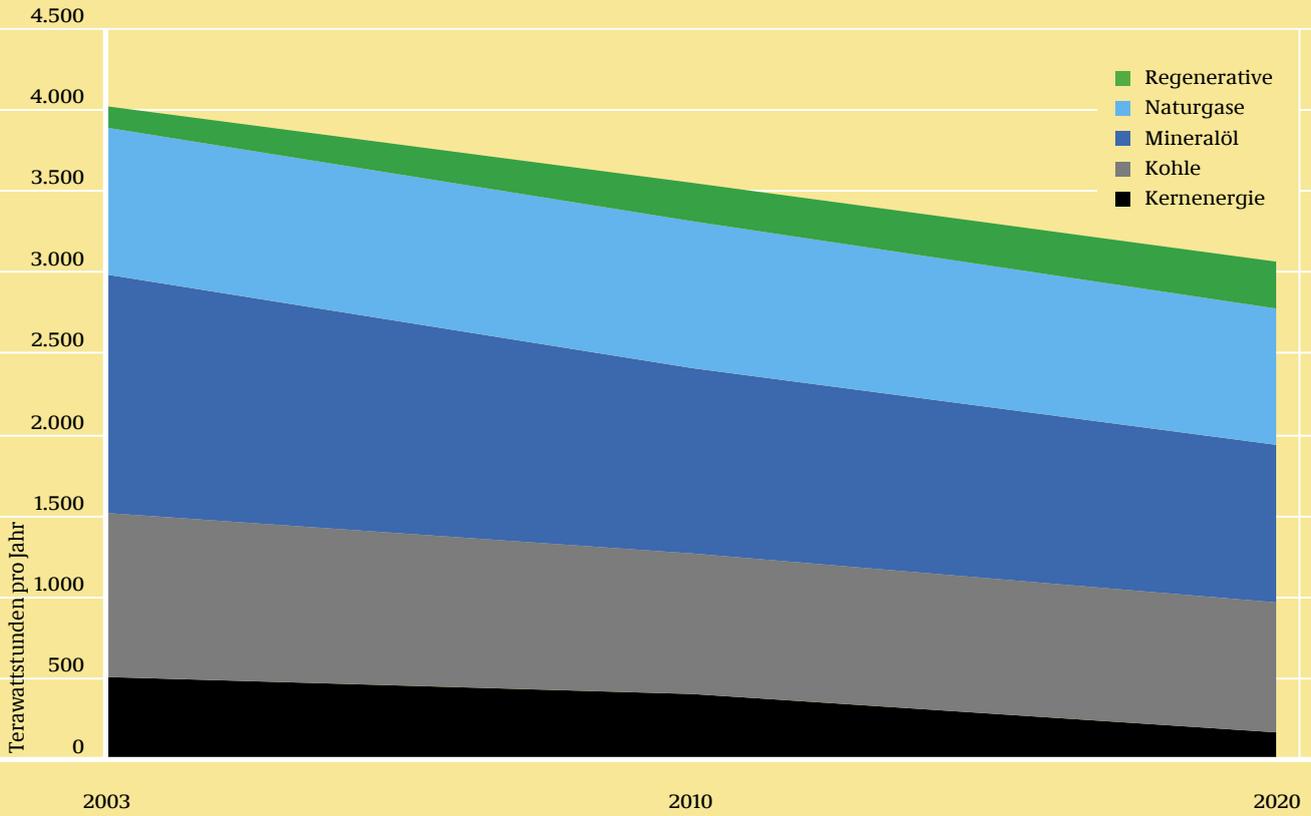
Folie 3:  
**Vergleich verschiedener Szenarien zum Welt-Primärenergieverbrauch 2050**



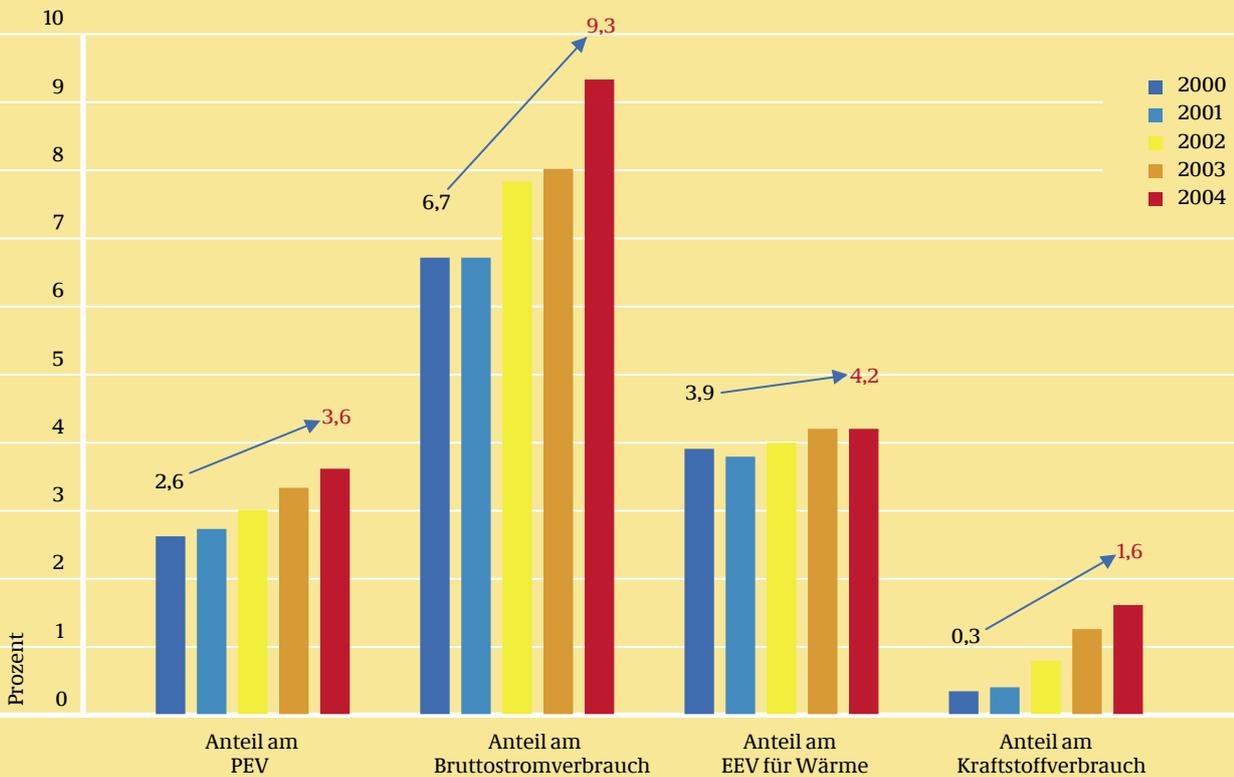
Folie 4:  
**Aufbau einer nachhaltigen Energieversorgung - energiepolitische Strategie mit drei Säulen**

1. effiziente Wandlung von Primärenergie in Nutzenergie (Erzeugungsseite)
  2. rationelle Energienutzung (Verbraucherseite)
  3. Ausbau erneuerbarer Energien
- Steigerung der Energieeffizienz
  - Senkung der Risiken
  - Erhöhung der Versorgungssicherheit/Reduktion der Energieimporte
  - Erfüllung der Kyoto-Verpflichtung

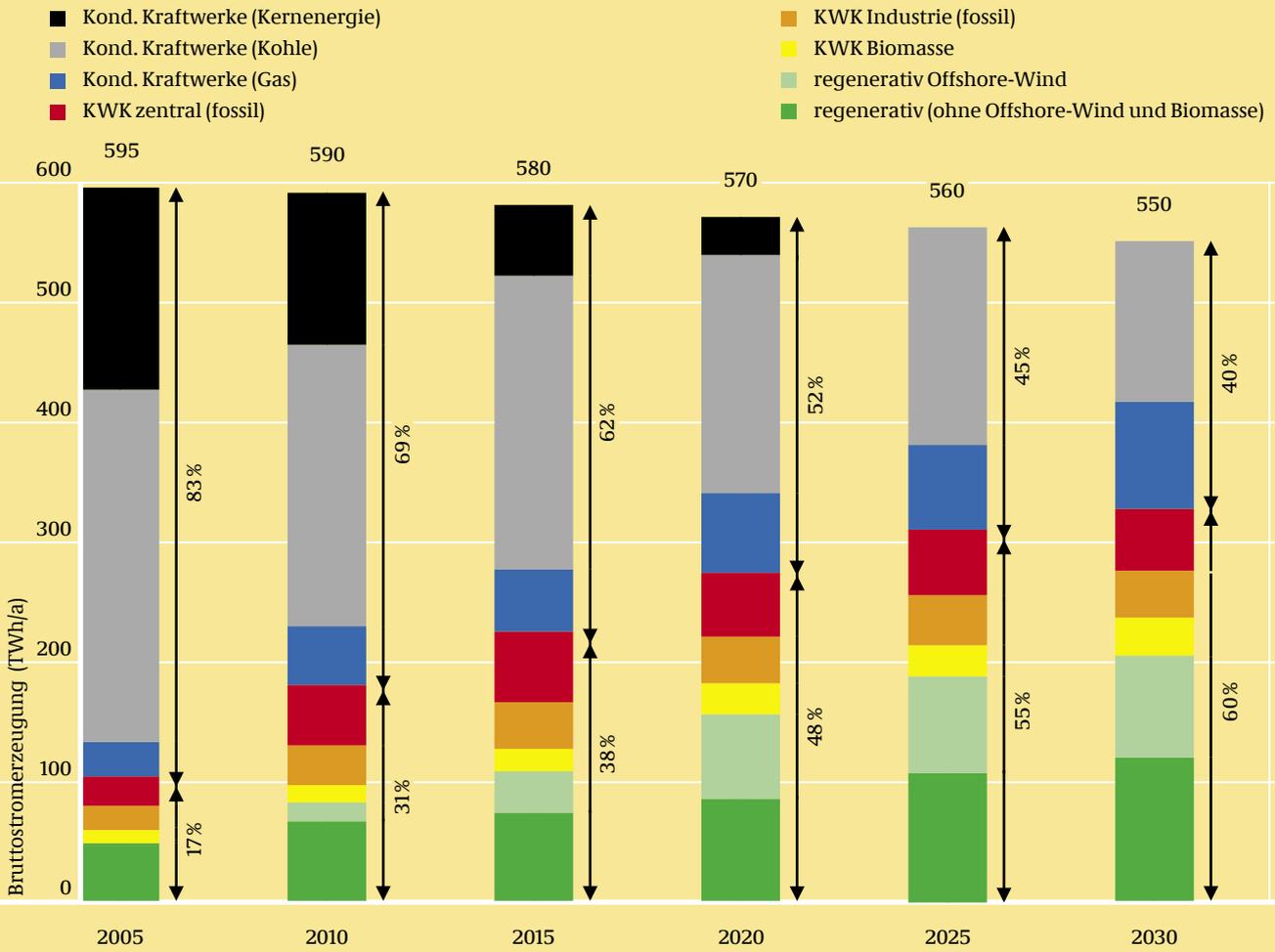
Folie 5:  
dena-Szenario zur Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland bis 2020 (TWh/a)



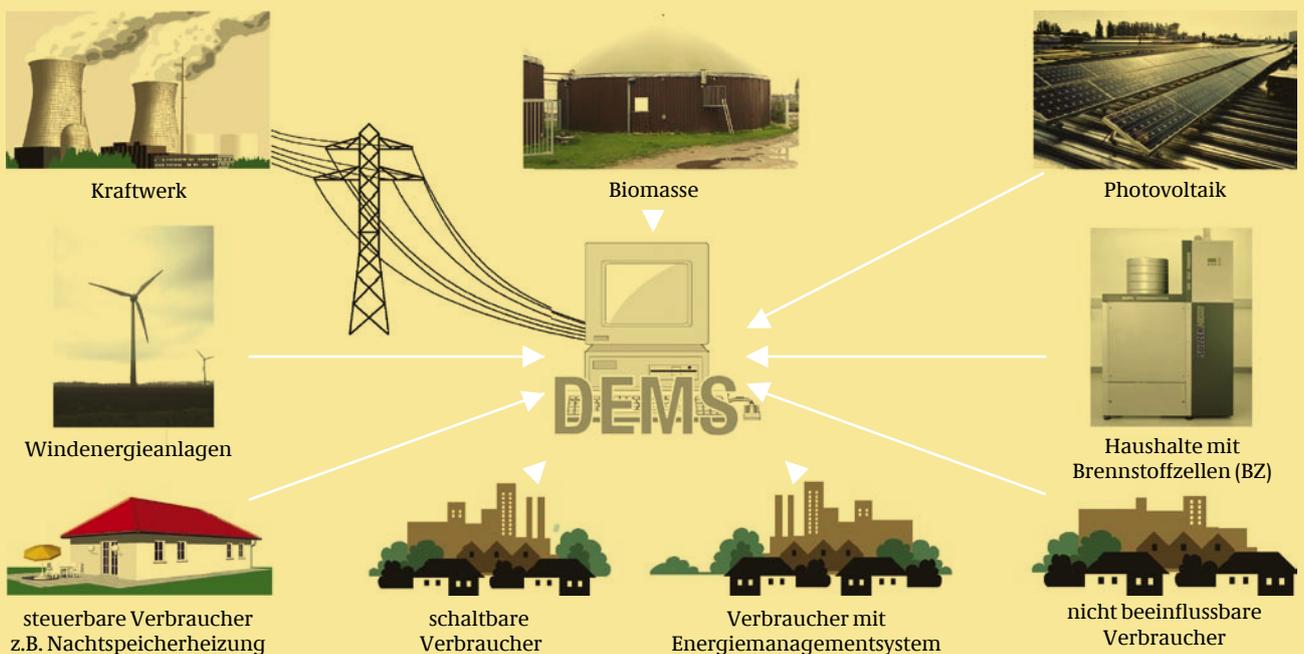
Folie 6:  
Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland



Folie 7:  
Szenario zur Entwicklung der Stromversorgung bis 2030

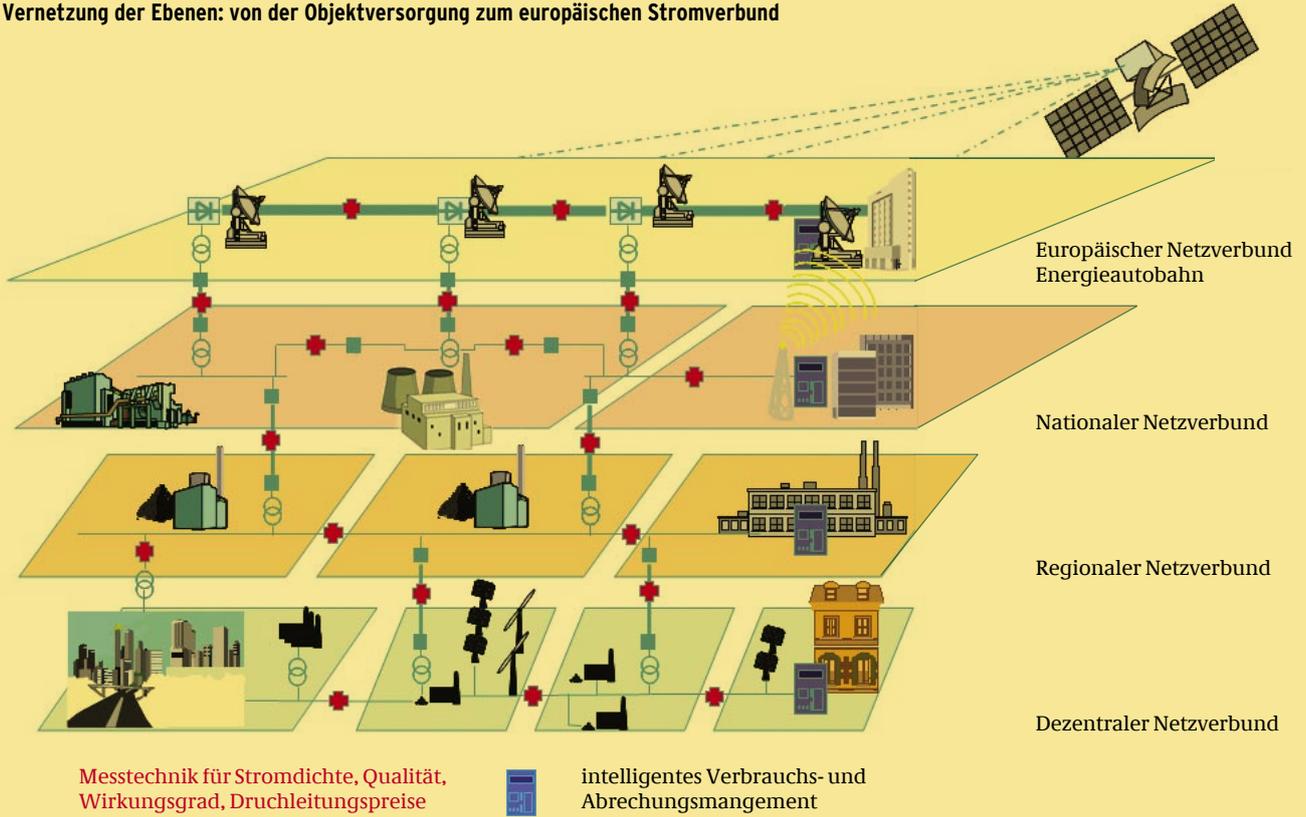


Folie 8:  
Dezentrales Energiemanagement (DEMS)



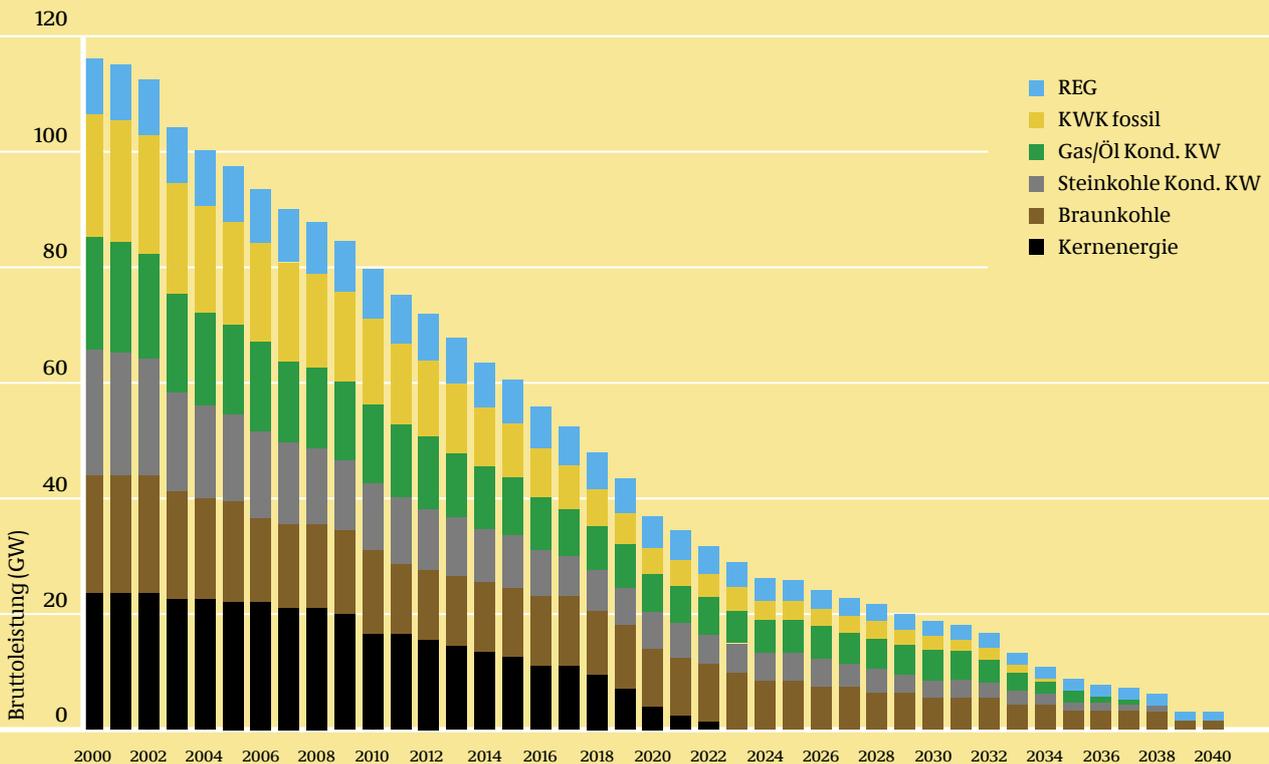
Quelle: Initiative Brennstoffzelle, 2005

Folie 9:  
**Vernetzung der Ebenen: von der Objektversorgung zum europäischen Stromverbund**

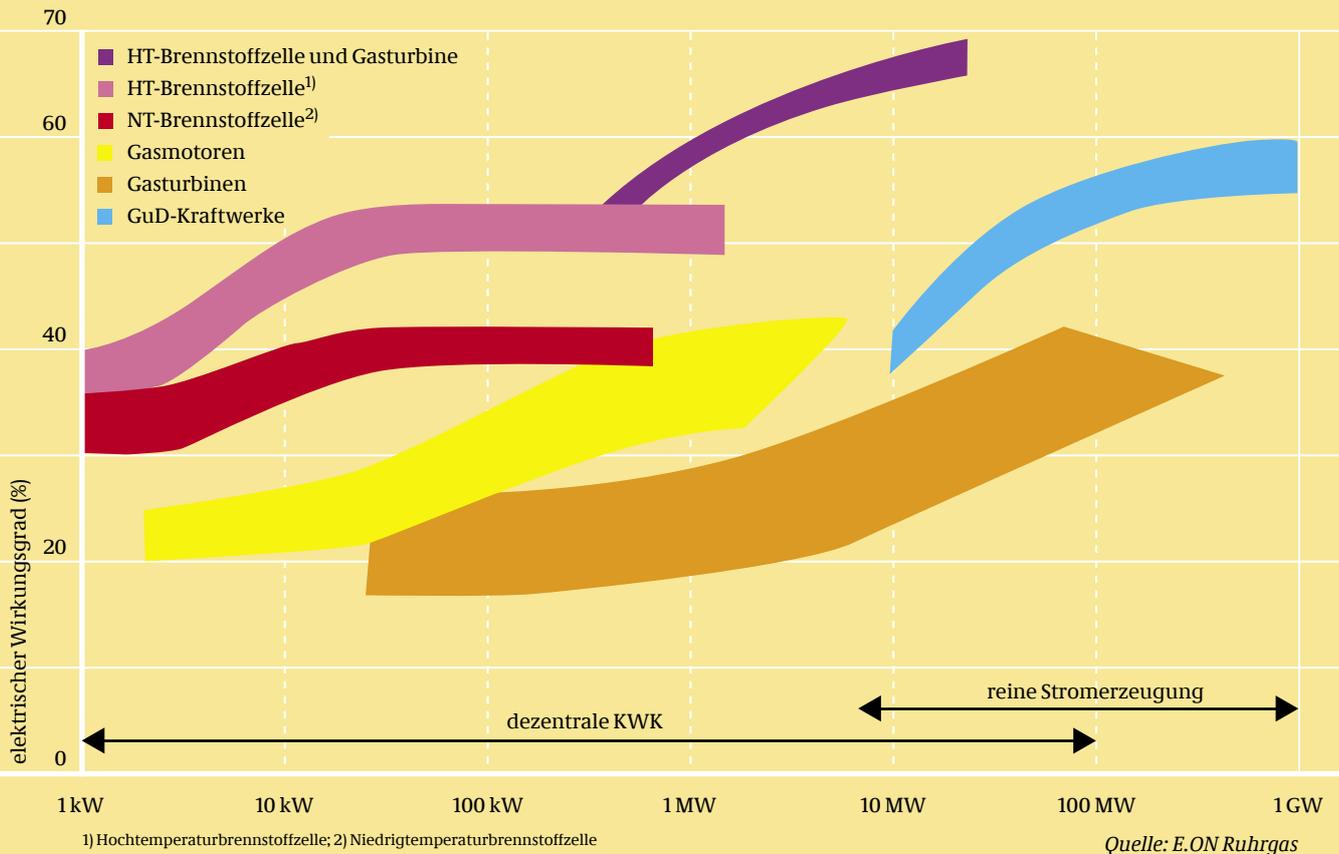


Quelle: Siemens, 2001

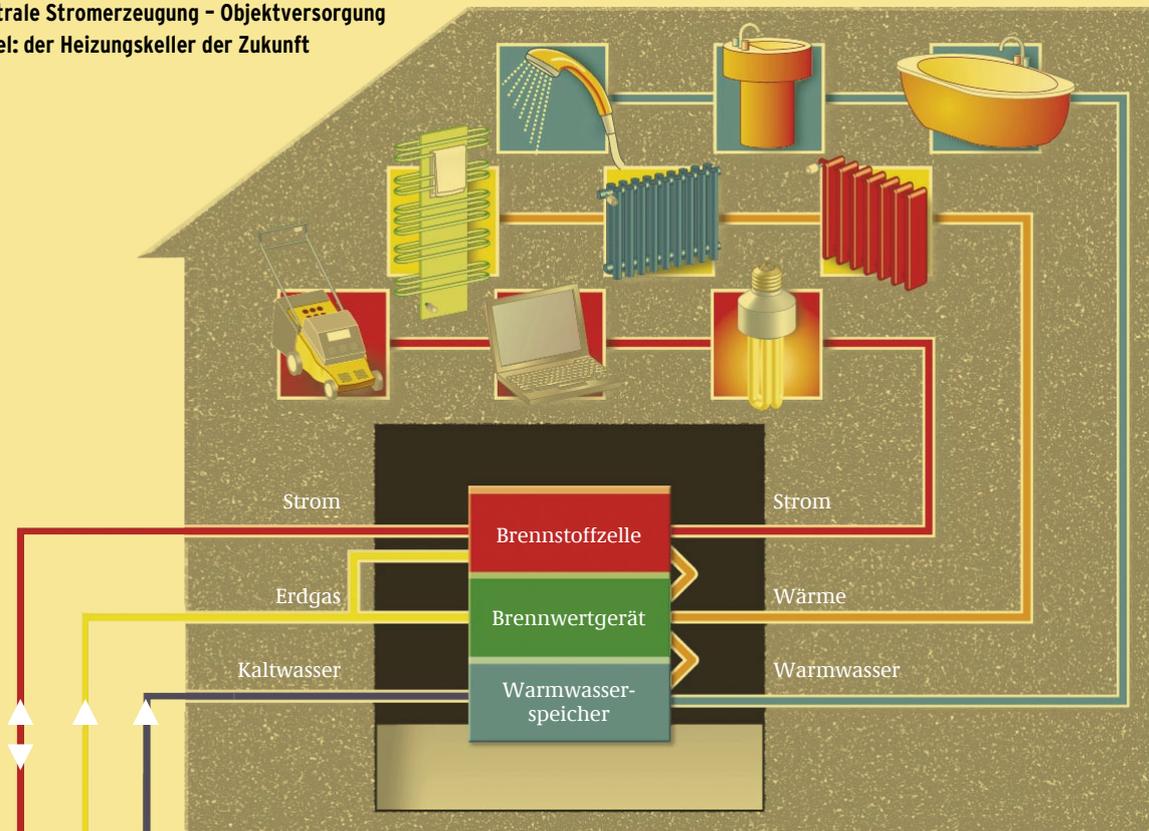
Folie 10:  
**Verlauf der Bruttoleistung des Kraftwerksbestandes bei Verzicht auf Neu- und Ersatzinvestitionen Öffentl. Versorgung, Industrie- und Bahn-KW, REG-Anlagen**



Folie 11:  
**Effizienz bei der Energieerzeugung: Wirkungsgrad verschiedener KWK-Technologien**

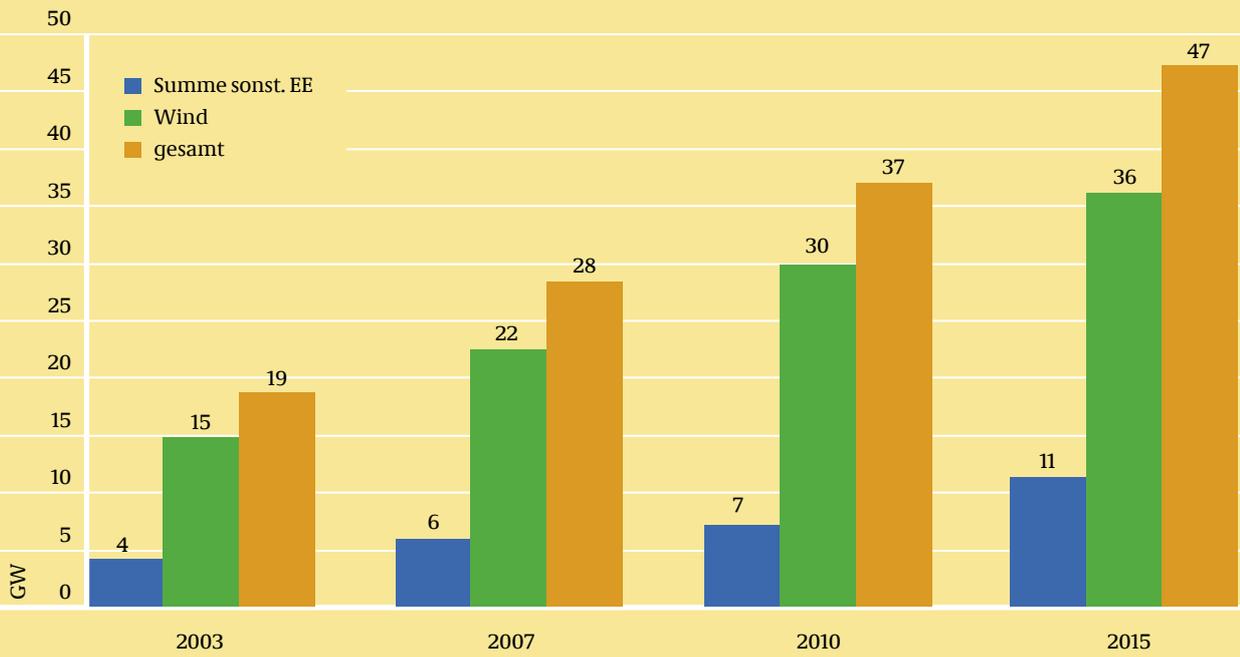


Folie 12:  
**Dezentrale Stromerzeugung - Objektversorgung**  
**Beispiel: der Heizungskeller der Zukunft**



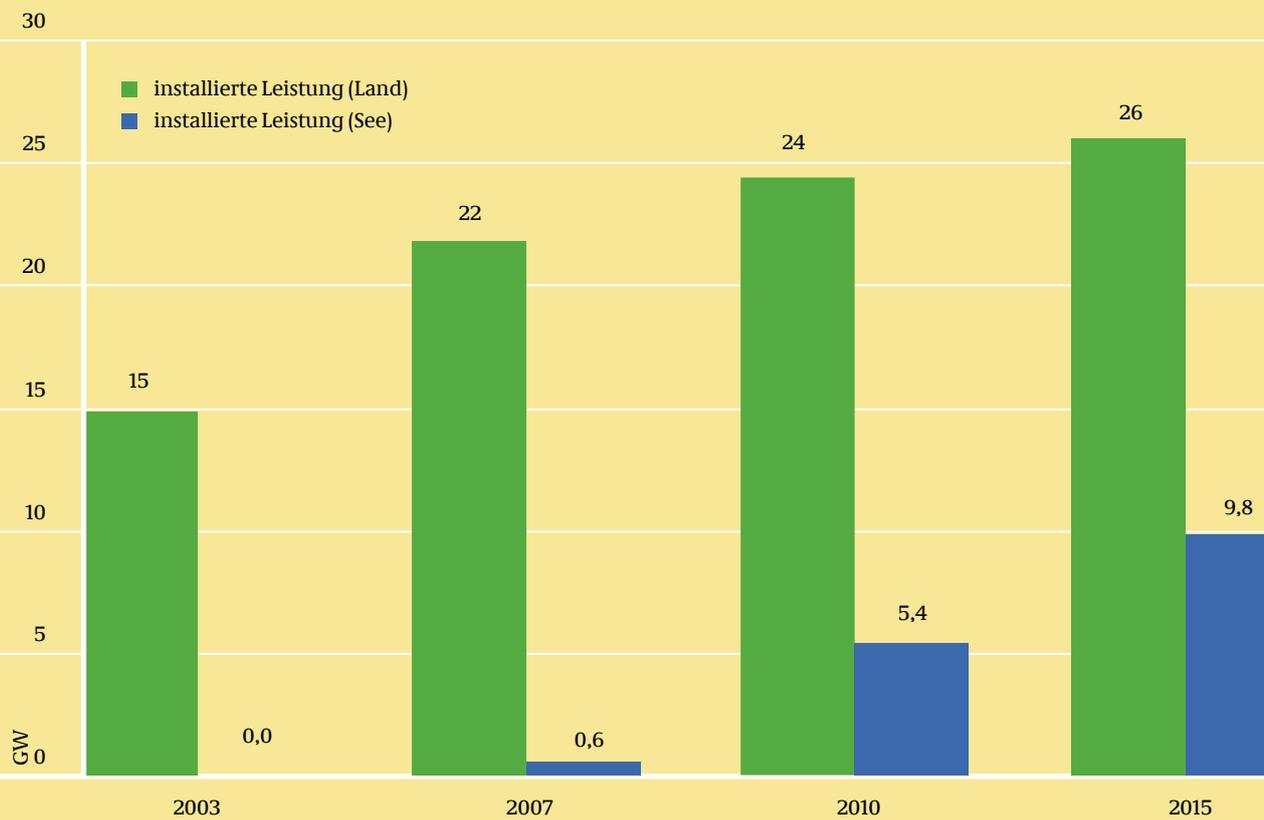
Quelle: Initiative Brennstoffzelle, 2005.

Folie 13:  
Entwicklung der installierten Leistung aus erneuerbaren Energien

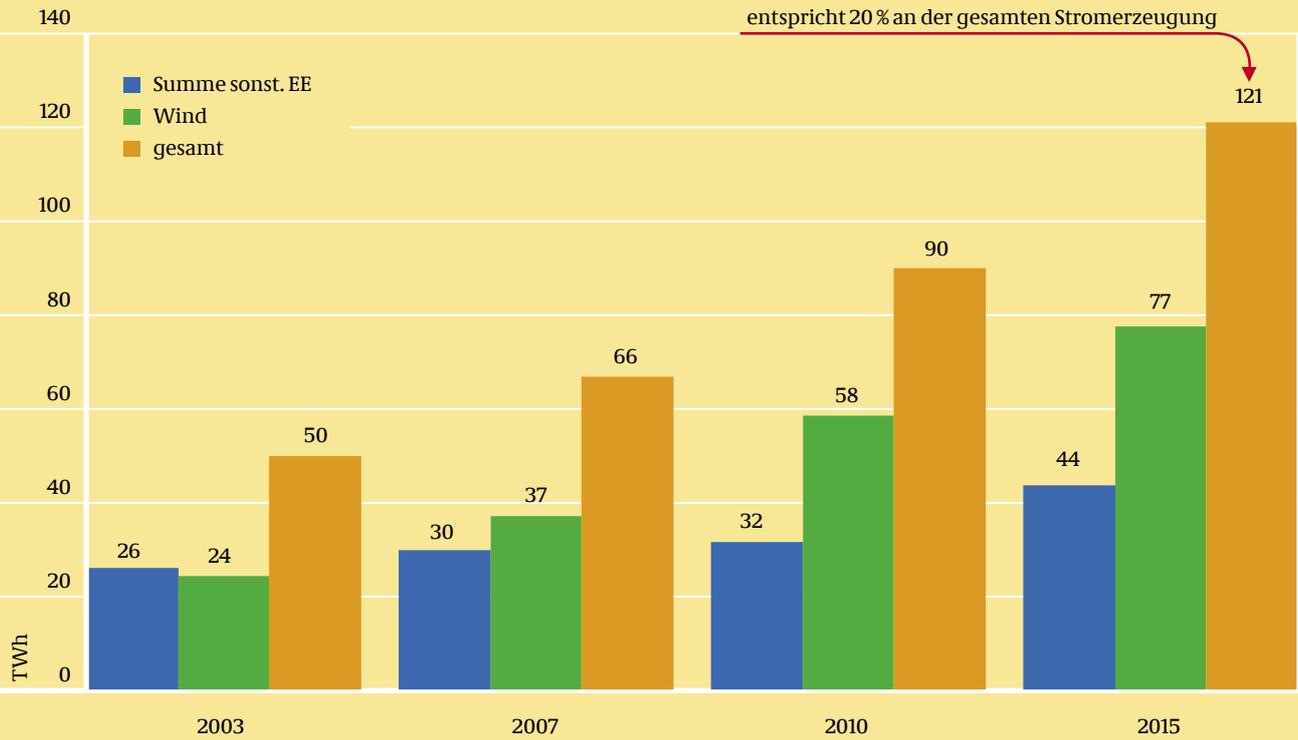


Quelle: Siemens, 2001

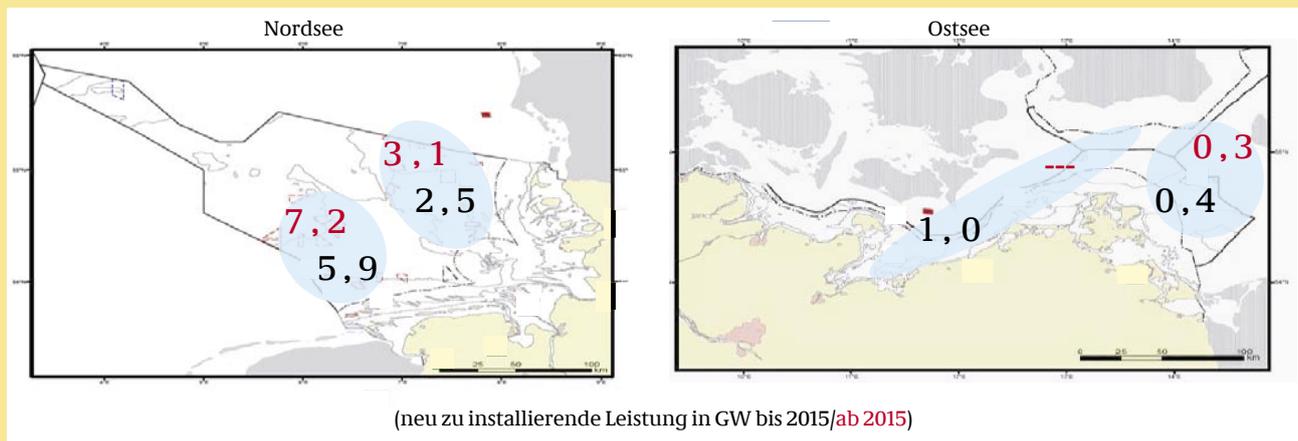
Folie 14:  
Entwicklung der installierten Leistung aus Windenergie



Folie 15:  
Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien



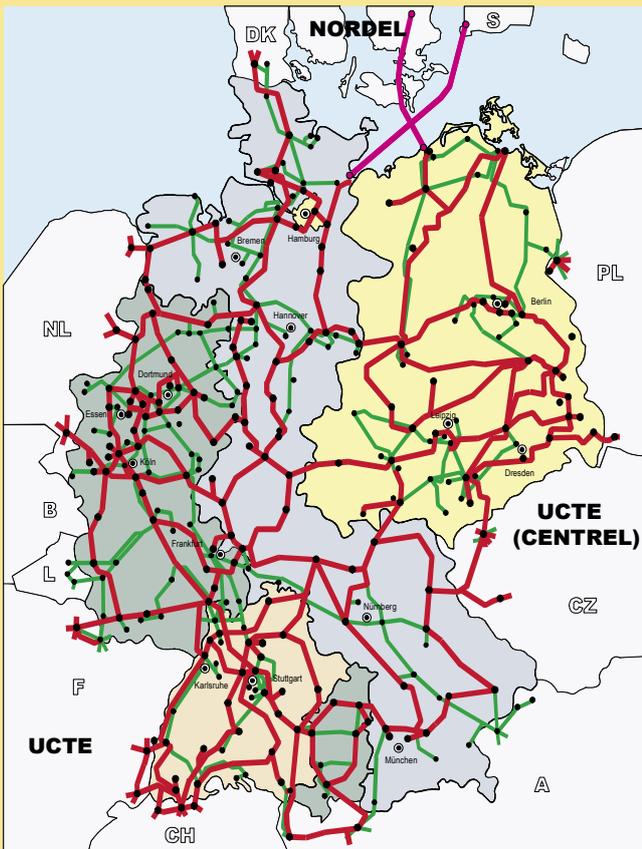
Folie 16:  
Offshore-Strategie



Projektspezifische Bewertung der Offshore-Planungen in Nord- und Ostsee:

- 9.800 MW Windparkleistung bis zum Jahr 2015
- **10.600 MW** Windparkleistung im Zeitraum 2015/2025
- zum Vergleich: beantragte Leistung 65.000 MW

Folie 17:  
**Aufgaben des deutschen Verbundnetzes**



**Bisherige Aufgaben:**

- Bilanzausgleich von Kraftwerken und Verbrauchern mit unterschiedlicher Einspeise- und Verbrauchscharakteristik
- Vernetzung zur Reduktion von Regel- und Reserveenergie
- Pufferfunktion bei Lastschwankungen durch integrierte Speicher

**Zukünftige zusätzliche Aufgaben:**

- Bereitstellung von Transportkapazität für den Stromhandel
- Integration geographisch konzentrierter Windenergie-Einspeisungen
- Handhabung zunehmender Fluktuationen durch regenerative Stromerzeugung

**Ziel:**

- Gewährleistung einer hohen Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit

Folie 18:  
**Erforderlicher Netzausbau und Kosten**



- Bis zum Jahr 2015: 850,0 km
- Investitionen: 1,1 Mrd.€
- Netzentgelte: +0,025 Cent/kWh

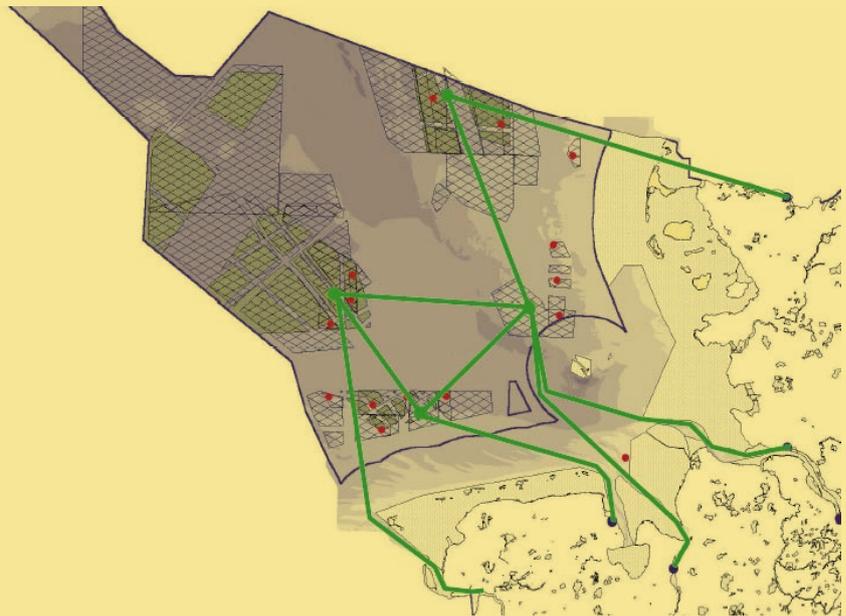
**Herausforderung:**

- rechtzeitige Realisierung
- erweitertes Verbundnetz steht auch Stromhandel zur Verfügung

- 380 kV
- 200 kV
- HGÜ Freileitung/Kabel
- ||| Ausbaustrecken
- Städte
- Umspannwerke
- Stromrichterstationen

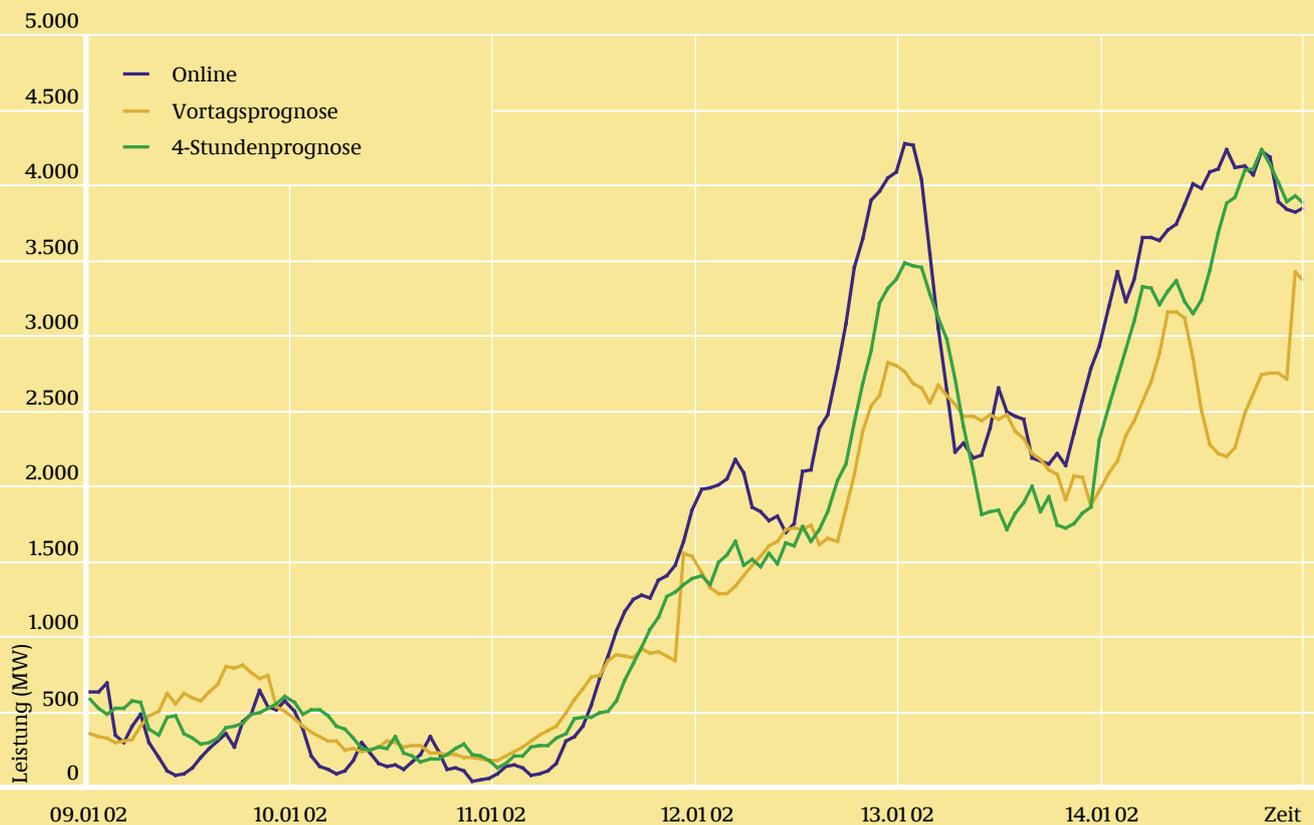
Folie 19:  
**Koordination und Optimierung der Netzanbindung von Offshore-Windparks**

- Minimierung der Eingriffe in Natur und Landschaft
- zeitnaher Aufbau des Offshore-Netzes
- Nutzung von Synergieeffekten bei der Errichtung und beim Betrieb
- Erhöhung der technischen Zuverlässigkeit
- Optimierung der Integration in das Onshore-Verbundnetz
- Kosteneinsparungen



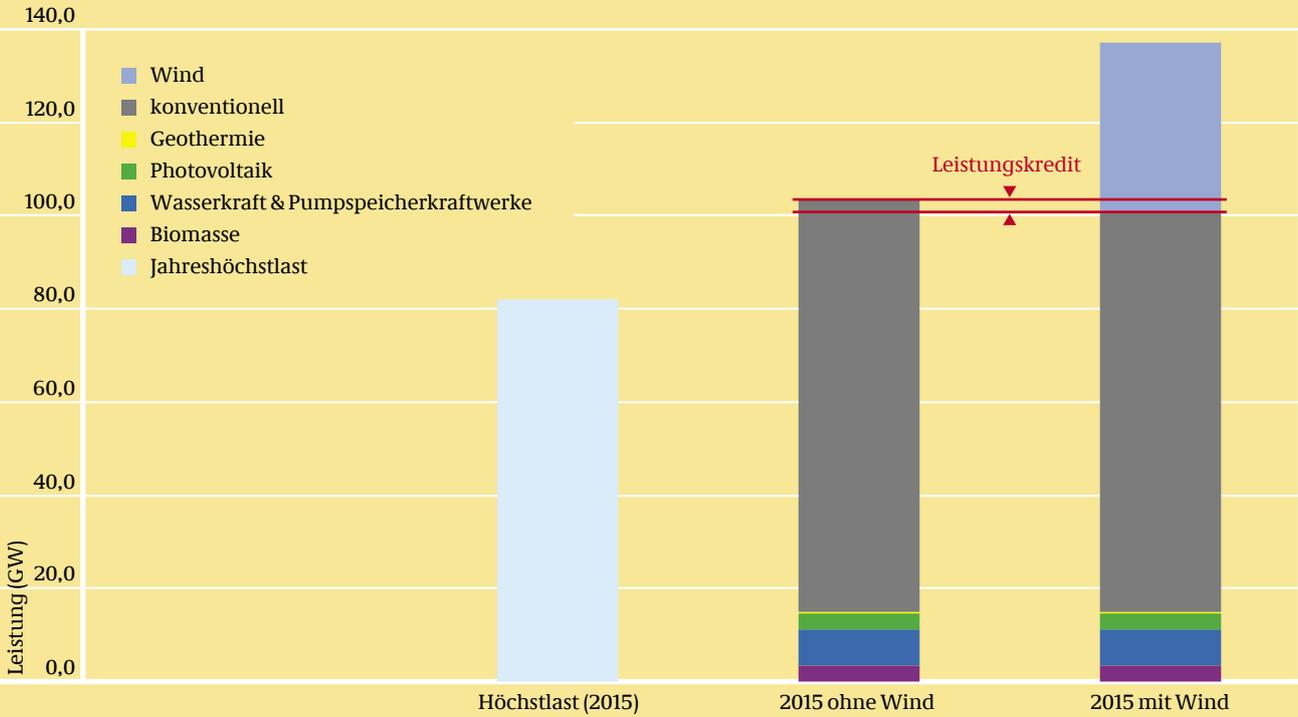
Quelle für Karte: Schreiber Umweltplanung

Folie 20:  
**Regel- und Reserveleistung**



Folie 21:  
**Leistungskredit des Windenergieausbaus**

Zugewinn an gesicherter Leistung durch Ausbau der Windenergie (Leistungskredit) im Jahr 2015 ca. 6% der installierten Windleistung

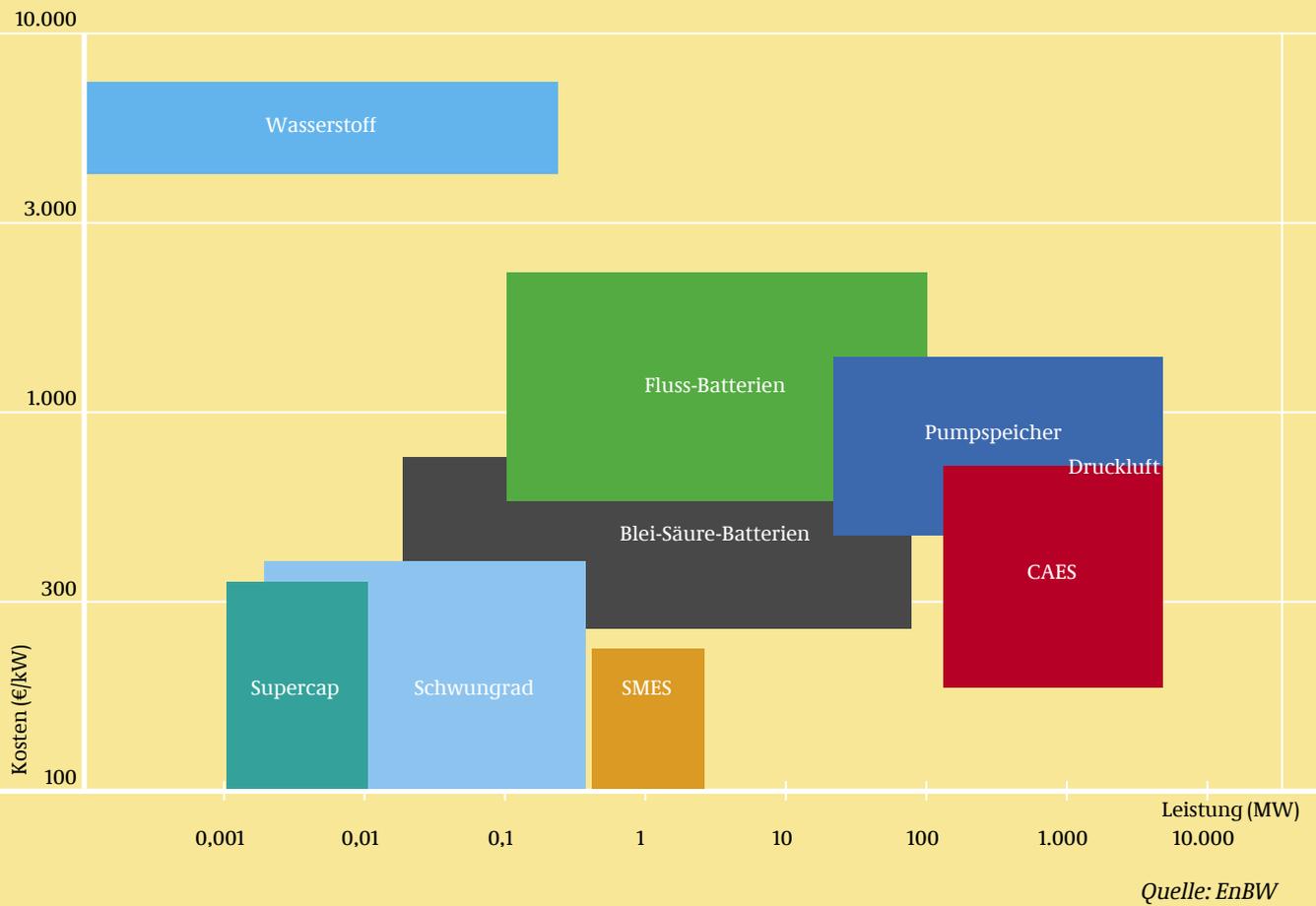


Folie 22:  
**Auswirkung des Windenergieausbaus auf Regel- und Reserveleistung**

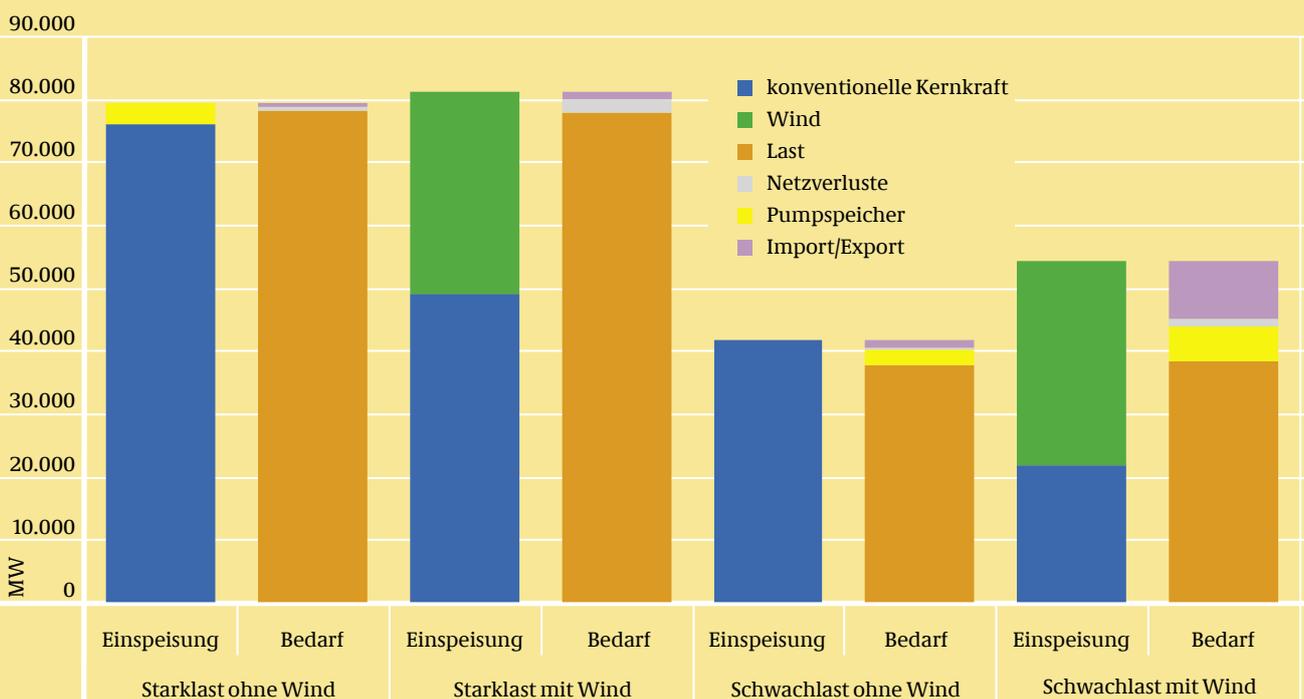
- Der Ausbau der Windenergie stellt zusätzliche Anforderungen an Regel- und Reserveleistung.
- Der Bedarf hängt von Prognosegenauigkeit der Windenergie ab, die Kosten von der Marktstruktur.
- Die zusätzlich benötigte Regel- und Reserveleistung wird durch den bestehenden Kraftwerkspark bereitgestellt.

	positive Regel- und Reserveleistung	negative Regel- und Reserveleistung
2003	1.200 MW (max. 2.000 MW ~ 14% WEA)	750 MW (max. 1.900 MW ~ 14% WEA)
2015	3.200 MW (max. 7.000 MW ~ 19% WEA)	2.800 MW (max. 5.500 MW ~ 15% WEA)

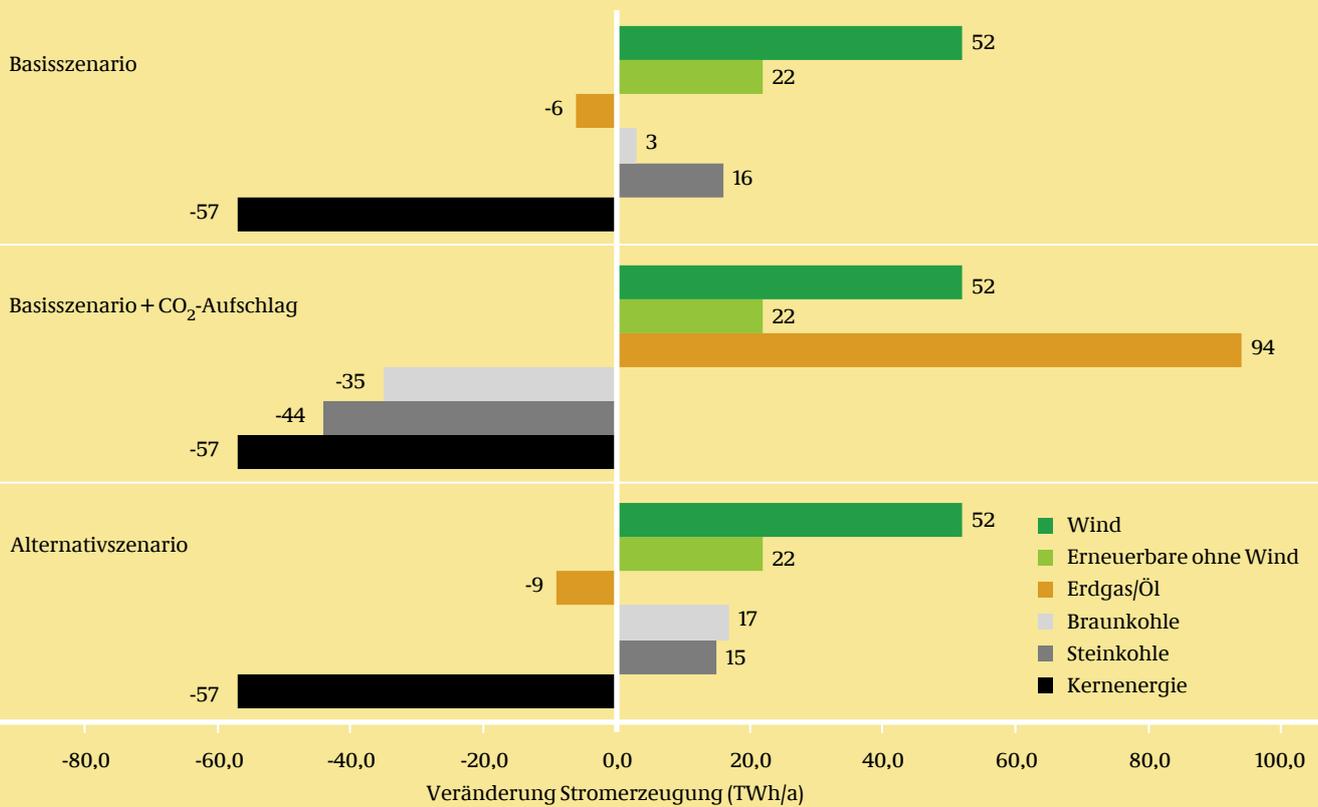
Folie 23:  
**Heutige und zukünftige Energiespeichertechnologien - Kosten und Einsatzbereiche**



Folie 24:  
**Leistungsbilanzen für Stark- und Schwachwind/Stark- und Schwachlast in 2015**



Folie 25:  
**Stromerzeugung bei Windausbau von 2003 bis 2015 (TWh/a)**



Folie 26:  
**CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten durch Windenergie**

**Annahmen**

- CO<sub>2</sub>-Zertifikate werden versteigert und die CO<sub>2</sub>-Preise steigen (2007: 5 €/t; 2010: 10 €/t; 2015: 12,5 €/t)

**Spezielle Annahmen für Basisszenario + CO<sub>2</sub>-Aufschlag**

- keine wesentlichen Veränderungen bei Erdgas, Öl und Steinkohle; real konstanter Braunkohlepreis
- Braun- und Steinkohlekraftwerke haben im Vergleich zu Erdgas befeuerten Kraftwerken eine erheblich verschlechterte Wettbewerbssituation

**Spezielle Annahmen für Alternativszenario + CO<sub>2</sub>-Aufschlag**

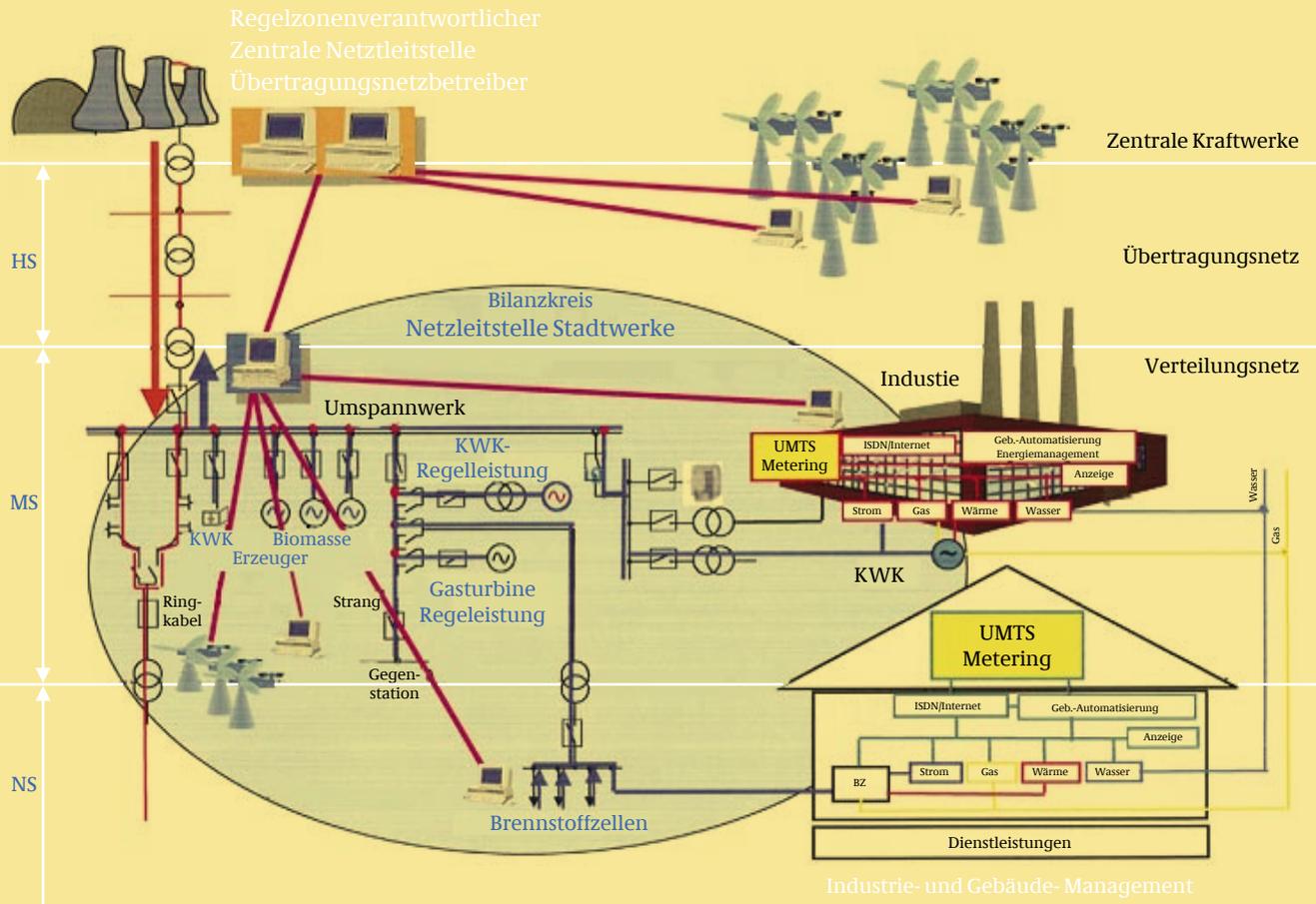
- Anstieg des Erdgas- und Ölpreises
- steigende Erdgaspreise kompensieren den Wettbewerbsvorteil, den Erdgas gegenüber den CO<sub>2</sub>-intensiven Energieträgern Braun- und Steinkohle hat

**Ergebnis zu CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten durch Windenergie je nach Szenario:**

- Jahr 2007: 95 -168 €/t vermiedenen CO<sub>2</sub>
- Jahr 2015: 41 - 77 €/t vermiedenen CO<sub>2</sub>

Folie 27:

**Energieversorgung: Struktur zentraler und dezentraler Systeme**



Siemens PTD SE, Werner Feldmann, Frankfurt 16.01.2003

## Erneuerbare Energien – ein Exportschlager

Prof. Dr. Fritz Vahrenholt

Vorstandsvorsitzender der REpower Systems AG

Bevor wir die Exportchancen erneuerbarer Energien prüfen, tun wir gut daran zu untersuchen, welche Treiber die internationalen Energiemärkte in Zukunft bewegen. Was sind die Gründe dafür, dass immer mehr Staaten erneuerbare Energien als einen wichtigen Eckpfeiler ihrer energiewirtschaftlichen Entwicklung ausgemacht haben? China und die USA, Brasilien und Indien wenden sich der Windenergie, der Photovoltaik oder der Biomassenutzung zu, weil

- die Reserven an Öl und Gas den wachsenden Bedarf nicht mehr lange befriedigen können,
- die zunehmenden Importabhängigkeiten geopolitische Risiken für die einzelnen Länder hervorrufen,
- die spürbaren Klimaveränderungen CO<sub>2</sub>-freie Alternativen zu fossilen Energieträgern erfordern.

Natürlich sind die Vorboten der Klimaveränderung und die Bekämpfung des Kohlendioxidausstoßes ein wichtiger Treiber dieser Entwicklung. Doch zunehmend rücken die beiden anderen Triebkräfte in den Vordergrund.

Der ungeheuer gewachsene Energiehunger der Welt hat drastisch steigende Preise für Öl, Gas und Kohle zur Folge. Allein in China nimmt der Energieverbrauch alle drei Jahre etwa um die Menge zu, die Japan insgesamt aufwendet. Zudem finden wir schon seit Jahren weltweit weniger neue Ölvorkommen als verbraucht werden. Von drei verbrauchten Barrel Öl wird eines durch einen Neufund ersetzt.

Vier Fünftel unserer heutigen angezapften Reserven sind bis 2020 versiegt. Das übernächste Auto kaufen wir in einer fundamentalen Ölkrise. Von den 65 ölproduzierenden Staaten haben 54 ihre Maximalförderung bereits überschritten, darunter Nationen wie Mexiko, Malaysia, Indonesien und China.

Das Barrel kostet heute 68 US-Dollar, dieser Preis wird in den nächsten fünf Jahren nach Schätzungen der US-Bank Goldman Sachs auf 105 Dollar steigen und damit weltweite Krisen auslösen.

Eine Tatsache, der allzu gern von der deutschen Energiepolitik wie folgt begegnet wird: Deutschlands Energiepolitik setzt auf Gas. Betrachtet man die europäischen Gasreserven und -ressourcen, so könnte man beruhigt sein. Sie reichen bis in die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts. Doch eine nähere Analyse zeigt Beunruhigendes: Nach 2025 gibt es nur noch Vorkommen in den GUS-Staaten. Wir bringen uns in eine dramatische Abhängigkeit von Energieimporten.

Der amerikanische Präsident selbst hat die Zeitenwende eingeläutet. Innerhalb von 20 Jahren sollen rund drei Viertel der Energieimporte ersetzt werden: Das Ölzeitalter geht zu Ende.

Zwei unscheinbare Pressemeldungen zu Beginn des Jahres mögen der US-Administration diese Hellsichtigkeit beschert haben: Farouk al-Zanki, der Vorsitzende der staatlichen Kuwait Oil Co., gab bekannt, dass Burgan, das drittgrößte Ölfeld der Erde, seine maximale Förderung nicht mehr erreicht. Das Burgan-Feld macht immerhin die Hälfte der nachgewiesenen Reserven Kuwaits aus. Die zweite Meldung stammte auch aus Kuwait. Die renommierte Petroleum Intelligence Weekly berichtete mit Hinweis auf kuwaitische Quellen, dass die offiziell seit 1985 mit 99 Milliarden Barrel angegebenen Vorräte an Öl in Wirklichkeit nur 48 Milliarden Barrel umfassen.

Was schert uns Kuwait, mag man denken. Aber immerhin vereint das Land zehn Prozent der Weltvorräte auf sich.

Seit 1985 gibt es ernst zu nehmende Stimmen, die die OPEC-Vorräte als getürkt bezeichnen. In jenem Jahr beschloss die OPEC, die Förderquoten nach den jeweiligen offiziell angegebenen Vorräten aufzuteilen. Und auf wundersame Weise, gleichsam über Nacht des Jahreswechsels 85/86, stiegen die Vorräte aller arabischen Staaten auf das Doppelte der bis dahin angegebenen.

Die europäische und amerikanische Politik spürt zunehmend, wie verletzlich die geopolitische Lage ist, wie schnell sich die Abhängigkeiten von den öl- und gasfördernden Staaten auf die Industriegesellschaften der OECD auswirken können. Immerhin 70 Prozent der Ölreserven liegen in der strategischen Ellipse von Kasachstan bis zum Persischen Golf.

Um den genannten Triebkräften entgegenzuwirken, gibt es nur vier Handlungsalternativen:

1. Effizienz unseres Energie- und Materialverbrauchs,

2. Renaissance der Kohle durch CO<sub>2</sub>-freie Kohleverstromung und -vergasung,
3. inhärent sichere Kerntechnik,
4. erneuerbare Energien als heimische und CO<sub>2</sub>-freie Energieträger.

Ich beschäftige mich mit dem Pfad der erneuerbaren Energien, und als zweitgrößter deutscher Windkraftwerkshersteller möchte ich dies am Beispiel der Windenergie tun.

Politik und Industrie ist nicht verborgen geblieben, dass die Windenergie die fortgeschrittenste Technik zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien ist. In den letzten 15 Jahren gelang es den Ingenieuren und Technikern, die Kosten für Windstrom mehr als zu halbieren und nun Jahr für Jahr um zwei Prozent zu senken. Nachdem sich die Windenergie in den Pionierländern Dänemark und Deutschland mit staatlicher Unterstützung einen deutlichen Marktanteil an der Stromversorgung gesichert hat – immerhin in Deutschland mittlerweile sechs Prozent –, mausert sich diese ehemals von allein ökologischen Gründen getriebene Nischentechnik zu einer weltweit boomenden Industrie.

Die Lücke zwischen den noch höheren Kosten für erneuerbare Energien, namentlich die Windenergie, und den Kosten für fossile Energieträger schließt sich. In windstarken Regionen kann schon heute Windenergie preiswerteren Strom erzeugen als die Wettbewerbsenergien. Der Preis für Strom an der Leipziger Börse beträgt zur Zeit etwa 6,5 Eurocent, für Starkwindstandorte in Deutschland werden 5,5 Eurocent vergütet. Was machen E.ON, Vattenfall, RWE und EnBW eigentlich mit dem einen Eurocent? Denn in den letzten Jahren ist es durch eine Reihe von technologischen Verbesserungen gelungen, die Kosten für Windenergie real deutlich zu senken. Die heute mögliche Verdoppelung der Rotordurchmesser auf 80 bis 100 Meter gegenüber dem Beginn der 1990er Jahre lässt den Ertrag von Windkraftwerken um das Vierfache steigen.

Auch die Generatorkapazität von einst 150 Kilowatt in den 90er Jahren ist auf nunmehr zwei bis drei Megawatt pro Anlage angewachsen. Die Ingenieurkunst hat es ermöglicht, dass Anlagen heute in Starkwindregionen mit mehr als zehn Metern pro Sekunde durchschnittlicher Windgeschwindigkeit für mehr als 20 Jahre robust ausgelegt werden können. Und die Windgeschwindigkeit geht mit der dritten Potenz in den Ertrag ein. Windkraftwerke der heutigen Generation sind netzfreundlich und sogar im Falle von kurzen Netzausfällen netzstabilisierend.

Und schon gehen die ersten fünf Megawattanlagen ans Netz, die für die Off-shore-Anwendung geeignet sind. Nicht zuletzt diese Perspektive, Strom zukünftig an guten Windstandorten mit fünf Eurocent pro Kilowattstunde günstiger als Kohle- oder Gastrom zu erzeugen, hat einen Boom in den USA und China ausgelöst.

China hat, nachdem es in 2004 auf der Bonner Umweltkonferenz ein viel bestauntes ehrgeiziges Ziel von 20.000 Megawatt Windkraft für 2020 vorgestellt hatte, in 2005 seine Ziele nach oben revidiert: 30.000 Megawatt sollen es nunmehr werden.

Weltweit werden nach der anerkannten Studie von BTM Consult<sup>1</sup> die heute installierten knapp 60.000 Megawatt auf über 230.000 Megawatt in zehn Jahren anwachsen, was einer zusätzlichen Investitionssumme von 150 bis 200 Milliarden Euro entspricht.

Diese Perspektiven verändern auch den Herstellermarkt. Gab es vor einigen Jahren mehr als ein Dutzend meist mittelständisch geprägter Turbinenhersteller, sind aufgrund von Übernahmen und Konzentration heute weltweit noch etwa zehn Hersteller von Bedeutung, davon drei deutsche. Viel gewichtiger war aber der Eintritt multinationaler Kraftwerkskonzerne in diesen Markt, die noch vor wenigen Jahren die Windenergie als ideologisches Mauerblümchen betrachtet und mitunter bekämpft hatten.

Der Eintritt von GE, Siemens und AREVA zeigt, dass mit der Windenergie ein ernst zu nehmender Energieträger entstanden ist, mit dem gerechnet wird. Durch diese kapitalkräftigen Unternehmen werden nicht nur eigene Finanzmittel bewegt; auch die nötige Finanzkraft von Banken und Versicherungen wird in diesen Sektor gezogen.

Aber nicht nur energiepolitische Perspektiven der Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen führen die internationale Staatengemeinschaft zur Unterstützung der Windindustrie. Lokale Wertschöpfung und Arbeitsplätze sind ein willkommener Nebeneffekt. In Deutschland arbeiten zurzeit etwa 50.000 Menschen in der Windbranche, 60 Prozent des Umsatzes im Turbinenbau und der vorgelagerten Komponentenherstellung werden exportiert. Mit 4,5 Milliarden

1 BTM Consult (2006): International Wind Energy Development: World Market Update 2005. <http://www.btm.dk/>.

Euro Umsatz gehört die Windindustrie zu den wichtigen Sektoren des Maschinenbaus. Das ist ein wesentlicher Grund dafür, dass das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) mittlerweile weltweit zum Exportschlager geworden ist.

Aber auch die Kundenseite verändert sich. Waren es in der Vergangenheit zumeist Privatleute oder Fonds in Deutschland, die sich an Windkraftwerken beteiligten, sind es im Ausland zunehmend die Energieversorger selbst, die die Perspektiven der Windenergie erkennen und in Windfarmen investieren. Das gilt insbesondere für Großbritannien, Skandinavien, China, Indien und die USA.

Die Chancen für den Export deutscher Windtechnologien sind gigantisch. Mehr als 80 Prozent der weltweiten Windenergieleistung sind derzeit nur in fünf Ländern installiert: Deutschland, den USA, Spanien, Dänemark und Indien – das sind übrigens die Länder, in denen die acht größten Anlagenhersteller ansässig sind.

Neue Märkte entwickeln sich schnell. In China wuchs die Windenergieleistung in den letzten Jahren um 30 bis 50 Prozent pro Jahr. Aber auch der europäische Markt wird überdurchschnittlich wachsen. Das Ziel der EU, 21 Prozent der Energieversorgung bis 2010 mit erneuerbaren Energien abzudecken, ist nur zu erreichen, wenn der Löwenanteil des Zuwachses von der Windenergie abgedeckt wird. Die Hauptmärkte sind Frankreich, Großbritannien, Italien, die Niederlande und Portugal.

2005 betrug der weltweite Umsatz der Windenergie 6,8 Milliarden Euro. Die Hälfte davon stammt aus Deutschland. Wenn man allein den Marktanteil der Turbinenhersteller Enercon, REpower, Siemens und Nordex betrachtet, sind das 25 Prozent. Berücksichtigen wir die gesamte Wertschöpfungskette, so beträgt der Anteil aus Deutschland 50 Prozent. Immer wieder wird nämlich vergessen, dass die Zulieferer aus Deutschland, die Getriebehersteller aus Bochum, Bocholt, Erlangen, die Wälzlagerhersteller aus Paderborn, die Lagerhersteller aus Lüdenscheid, stammen, die natürlich auch an unsere amerikanischen und dänischen Wettbewerber liefern. Das sind viele nordrhein-westfälische Arbeitsplätze, wie Ihnen aufgefallen sein wird. Der nordrhein-westfälischen Landesregierung ist das offensichtlich noch nicht aufgefallen, denn die führt ihren Don-Quichotte-Feldzug gegen die Windenergie munter weiter.

Mein Unternehmen REpower exportiert mittlerweile 70 Prozent unserer Anlagen ins Ausland. Dabei zählen wir die in Lizenz gebauten nicht mit. Für einen Lizenzvertrag haben wir uns in China entschieden. Wir fühlten uns als Mittelständler zu schwach, um dort eine 100-Prozent-Tochter aufzubauen. Vor dem Hintergrund der leidvollen Erfahrungen anderer wollten wir nicht in ein Joint Venture ohne Kontrolle investieren, um am Ende doch kopiert zu werden. Dann lieber das Copyright abgeben und mit offenen Karten für die Ingenieurleistung unserer Mitarbeiter eine Lizenzgebühr einnehmen und dem Partner bei dem Aufbau einer starken Marke, die auf China begrenzt ist, helfen. Und es ist doch auch ein schönes Gefühl, wenn der Partner Marketing nicht mit dem Slogan „Made in Germany“ betreibt, sondern mit „Germany-made technology“ wirbt.

Ein Nebeneffekt solcher Auslandseintritte ist essentiell: Wir nehmen einige unserer Lieferanten mit und bauen neue in den jeweils niedrigpreisigen Auslandsmärkten auf. Das ist in den meisten Märkten teilweise sogar gesetzlich erzwungen. In China muss ein local content von 70 Prozent erreicht werden, aber auch in Portugal und in einigen Provinzen Spaniens – EU-Mitglied – muss ein bestimmter Anteil an local content erzeugt werden. In Dänemark – auch EU-Mitglied – gibt es bis heute noch keine deutsche Maschine. Ich habe einen Preis ausgesetzt für den Mitarbeiter, der die erste Maschine dorthin verkauft. Es wird aufgrund der nicht tarifären Handelshemmnisse nicht gelingen. Wir verschmerzen das. Wir haben viel von den Dänen gelernt und die Welt ist groß und der globale Bedarf an Turbinen ungebrochen. Da können wir Dänemark den Dänen überlassen.



## Tagungsprogramm

### Montag, 24. April 2006

#### 10.30 - 10.55 Begrüßung und Eröffnung

Sigmar Gabriel, Bundesumweltminister

#### 10.55 - 11.00 Grußwort

S.E. Dr. Igor Dolgov, Botschafter der Ukraine in der Bundesrepublik Deutschland

#### 11.00 - 13.00 Podiumsdiskussion: Tschernobyl - eine politische Spurensuche

Sigmar Gabriel, Prof. Dr. Martin Jänicke, Swetlana Alexijewitsch, Prof. Dr. Edmund Lengfelder, Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller

Moderation: Elfie Siegl, freie Journalistin, 1986 Moskau-Korrespondentin

#### Die Katastrophe als Lernschock der deutschen Atompolitik

Prof. Dr. Martin Jänicke, Leiter der Forschungsstelle für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin, Mitglied des Sachverständigenrates für Umweltfragen

#### Die politischen und gesellschaftlichen Konsequenzen der Tschernobyl-Katastrophe

Swetlana Alexijewitsch, Journalistin und Schriftstellerin, Weißrussland

#### 20 Jahre nach Tschernobyl - Leben mit der Katastrophe

Prof. Dr. Edmund Lengfelder, Vorsitzender des Deutschen Verbandes für Tschernobyl-Hilfe und des Otto-Hug-Strahleninstituts, Lehrstuhl für Strahlenbiologie an der Ludwig-Maximilians-Universität München

#### Zur wissenschaftlichen Kontroverse über die Gesundheitsfolgen

Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller, Vorsitzender der Strahlenschutzkommission (SSK)

#### 13.00 - 14.00 Mittagspause

### 14.00 - 16.00 Foren: Atompolitik im 21. Jahrhundert

#### Forum 1: Die ungelösten Probleme der Atomkraft

Moderation: Dr. Gerd Rosenkranz, Deutsche Umwelthilfe

#### Yucca Mountain and the storage and disposal of high-level radioactive wastes in the United States

Robert Alvarez, Direktor des Nuclear Policy Project, Institute for Policy Studies, Washington, DC

#### Nuclear waste: Last stop Siberia?

Prof. Dr. Lydia Popova, Direktorin des Center for Nuclear Ecology & Energy Policy der Socio-Ecological Union, Moskau

#### Atomenergie - unverantwortliche Bedrohung, marginale Potenziale für den Klimaschutz - ein Szenario

Prof. Dr. Klaus Traube, Energiewissenschaftler, energiepolitischer Berater des DNR und energiepolitischer Sprecher des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung

#### Disaster management: The current state of the sarcophagus and the ruined reactor in Chernobyl

Iouli Andreev, Institut für Risikoforschung der Universität Wien

#### Der internationale Stand der Endlagersuche

MinDir Wolfgang Renneberg, Abteilungsleiter Reaktorsicherheit, Bundesumweltministerium

## Forum: 2 Atom- und Energiepolitik weltweit

Moderation: PD Dr. Lutz Mez, Geschäftsführer der Forschungsstelle für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin

### Status and trends of nuclear power in the world. An update of myths and realities

Mycale Schneider, internationaler Energieberater und Publizist

### Die Atompolitik in Schweden

Dr. Måns Lönnroth, Geschäftsführer der Foundation for Strategic Environmental Research (MISTRA), Stockholm

### Brazil's nuclear programme

Prof. Dr. Luiz Pinguelli Rosa, Vize-Direktor der Graduate School of Engineering (COPPE) der Federal University of Rio de Janeiro

### Nuclear and energy policy in Korea: Unchanging illusion of nuclear energy and citizen's challenge

Prof. Dr. Sung-Jin Leem, Direktor des Institute for Environmental and Energy Policy der Jeonju University

### Atomkraft - ein Auslaufmodell?

Dr. Hermann Scheer, MdB, Präsident von EUROSOLAR, Vorsitzender des Weltrates für Erneuerbare Energien

## Forum 3: Die Bedeutung der Atomenergie für die Energieversorgung des 21. Jahrhunderts

Moderation: Charima Reinhardt, freie Journalistin

### Ausstieg aus der Atomenergie - Weichenstellung für die Energiepolitik

Michael Müller, Parlamentarischer Staatssekretär, Bundesumweltministerium

### Die Rolle der Atomenergie im Energiemix des 21. Jahrhunderts

Dr. Walter Hohlefeld, Präsident des Deutschen Atomforums, Mitglied des Vorstandes der E.ON Energie AG

### Die Risiken der Atomenergie in einer zusammenwachsenden Welt

Dr. Angelika Zahrnt, Vorsitzende des BUND

### Nachhaltige Energieversorgung - Was kann die Kernenergie dazu beitragen?

Prof. Dr. Alfred Voß, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart

### Atomenergie - Vorwärts in die Vergangenheit?

Reinhard Bütikofer, Bundesvorsitzender von Bündnis 90/Die Grünen

16.00 - 17.00 Kaffeepause

## 17.00 - 19.00 Plenum: Atomkraft - ein weltweites Sicherheits-, Terrorismus- und Proliferationsrisiko

Moderation: Harald Schumann, Der Tagesspiegel

### Atomausstieg und europäische Außenpolitik

Martin Schulz, MdB, Vorsitzender der Sozialdemokratischen Fraktion im Europäischen Parlament

### Nukleare Sicherheit in der Ukraine 20 Jahre nach Tschernobyl

Olena Mykolaichuk, Leiterin der Ukrainischen Atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde (SNRCU)

### Studie "Nuclear Hazards Report"

Stefan Schurig, Leiter des Klima- und Energiebereichs bei Greenpeace Deutschland

### Proliferation - ein weltweites Sicherheitsrisiko

Otfried Nassauer, Leiter des Berliner Informationszentrums für Transatlantische Sicherheit (BITS)

### Atomkraftwerke - ein globales Terrorrisiko?

Prof. Dr. Wolfgang Kromp, Leiter des Instituts für Risikoforschung der Universität Wien

Ab 19.00 Get together mit Büfett

## Dienstag, 25. April 2006

### 10.00 – 12.00 Plenum: Energie- und klimapolitische Herausforderungen weltweit

Moderation: Jörg Michel, Berliner Zeitung

#### Herausforderungen und Perspektiven der internationalen Energiepolitik

Matthias Machnig, Staatssekretär, Bundesumweltministerium

#### Aktueller Stand der Klimafolgenforschung: Vermeidung oder Anpassung?

Prof. Dr. Wolfgang Cramer, Leiter der Abteilung Globaler Wandel und Natürliche Systeme des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK)

#### Neue Wege und Strategien zur Lösung der Energiefrage

Dr. Gerd Leipold, Geschäftsführer von Greenpeace International

#### Energy and climate protection policy in the USA – status and prospects

Chris Flavin, Präsident des Worldwatch Institute, Washington, DC

#### A transformation in electricity generation – requirements for industry and policymaking

Lars G. Josefsson, Präsident und Vorstandsvorsitzender von Vattenfall AB

### 12.00 – 13.00 Mittagspause

### 13.00 – 15.00 Foren: Energiepolitik im 21. Jahrhundert

#### Forum 1: Zukunft der Energieversorgung: erneuerbar – nachhaltig – sicher

Moderation: Cerstin Gammel, freie Journalistin

#### Szenarien einer nachhaltigen Energieversorgung 2050

Prof. Dr. Peter Henricke, Präsident des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie

#### Die Perspektiven der erneuerbaren Energien bis 2050

Dr. Ing. Joachim Nitsch, Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

#### Nachhaltige Stromerzeugung: Anforderungen an die Wirtschaft

Dr. Gerd Jäger, Vorstandsmitglied der RWE Power AG, Ressort Kernkraftwerke und regenerative Energien

#### Umweltfreundliche Energieerzeugung – heute und weltweit

Johannes Lackmann, Präsident des Bundesverbandes Erneuerbare Energien

#### Forum 2: Mehr Zukunft mit weniger Energie

Moderation: Dr. Hans-Joachim Ziesing, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Berlin

#### Die Rolle der Energieeffizienz für eine erfolgreiche Klimaschutzpolitik

Ulrich Kelber, MdB, stellvertretender Vorsitzender der SPD-Bundestagsfraktion

#### Effizienz in der Energieerzeugung

Dr. Felix Christian Matthes, Koordinator des Bereichs Energie & Klimaschutz des Öko-Instituts

#### Die Bedeutung der Energieeinsparung im Innovationswettbewerb

Dr. Joachim Hafkesbrink, Geschäftsführer der Gesellschaft für Arbeits-, Reorganisations- und ökologische Wirtschaftsberatung mbH (ARÖW)

#### Faktor 10: Ansatzpunkte und Umsetzungsstrategien in der energetischen Gebäudesanierung – Best Practice

Dr. Burkhard Schulze-Darup, Architekt

### **Forum 3: Energiewende – Chancen für Beschäftigung, Wirtschaft und Wachstum**

Moderation: Dr. Thomas Steg, Stellvertretender Sprecher der Bundesregierung

#### **Erneuerbare Energien als Wirtschaftsfaktor**

Astrid Klug, Parlamentarische Staatssekretärin, Bundesumweltministerium

#### **Erneuerbare Energien und Wachstum im Kontext des Atomausstiegs**

Stephan Kohler, Geschäftsführer der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena)

#### **Erneuerbare Energien als Export- und Beschäftigungsmotor**

Prof. Dr. Fritz Vahrenholt, Vorstandsvorsitzender der REpower Systems AG

#### **Energiewende – Chancen und Grenzen nationaler Energiepolitik als Motor für Wirtschaft, Wachstum und Beschäftigung**

Dr. Eberhard Meller, Hauptgeschäftsführer des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft (VDEW)

**15.00 Kaffee + Kuchen**

## Liste der Referenten/-innen und Moderatoren/-innen

**Alexijewitsch, Swetlana**

Schriftstellerin und Journalistin aus Weißrussland

**Alvarez, Robert**

Direktor des Nuclear Policy Project am Institute of Policy Studies, Washington

**Andreev, Iouli**

Institut für Risikoforschung der Universität Wien

**Bütikofer, Reinhard**

Bundsvorsitzender von Bündnis 90/Die Grünen

**Prof. Dr. Cramer, Wolfgang**

Leiter der Abteilung Globaler Wandel und Natürliche Systeme des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung

**Flavin, Christopher**

Präsident des Worldwatch Institute, Washington

**Gammelin, Cerstin**

freie Journalistin

**Dr. Hafkesbrink, Joachim**

Geschäftsführer der Gesellschaft für Arbeits-, Reorganisations- und ökologische Wirtschaftsberatung (ARÖW) mbH

**Prof. Dr. Hennicke, Peter**

Präsident des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie

**Dr. Hohlefelder, Walter**

Präsident des Deutschen Atomforums, Mitglied des Vorstandes der E.ON Energie AG

**Dr. Jäger, Gerd**

Mitglied des Vorstandes der RWE Power AG, Ressort Kernkraftwerke und Regenerative Energien

**Prof. Dr. Jänicke, Martin**

Leiter der Forschungsstelle für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin

**Dr. Josefsson, Lars G.**

Präsident und Vorstandsvorsitzender von Vattenfall AB

**Kelber, Ulrich**

MdB, stellvertretender Vorsitzender der SPD-Bundestagsfraktion

**Klug, Astrid**

Parlamentarische Staatssekretärin, Bundesumweltministerium

**Kohler, Stephan**

Geschäftsführer der Deutschen Energie-Agentur

**Prof. Dr. Kromp, Wolfgang**

Leiter des Instituts für Risikoforschung an der Universität Wien

**Lackmann, Johannes**

Präsident des Bundesverbandes Erneuerbare Energien

**Prof. Dr. Leem, Sung-jin**

Direktor des Institute for Environmental and Energy Policy der Jeonju University

**Dr. Leipold, Gerd**

Geschäftsführer von Greenpeace International

**Prof. Dr. Lengfelder, Edmund**

Vorsitzender des Deutschen Verbandes für Tschernobyl-Hilfe und des Otto-Hug-Strahleninstituts

**Dr. Lönnroth, Måns**

Geschäftsführer der Foundation for Strategic Environmental Research, Stockholm

**Machnig, Matthias**

Staatssekretär, Bundesumweltministerium

**Dr. Matthes, Felix**

Koordinator des Bereichs Energie und Klimaschutz des Öko-Instituts

**Dr. Meller, Eberhard**

Hauptgeschäftsführer des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft

**PD Dr. Mez, Lutz**

Geschäftsführer der Forschungsstelle für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin

**Michel, Jörg**

Journalist, Berliner Zeitung

**Prof. Dr. Müller, Wolfgang-Ulrich**

Vorsitzender der Strahlenschutzkommission

**Müller, Michael**

Parlamentarischer Staatssekretär, Bundesumweltministerium

**Mykolaichuk, Olena**

Leiterin der Ukrainischen Atomrechtliche Aufsichts- und Genehmigungsbehörde

**Nassauer, Otfried**

Leiter des Berliner Informationszentrums für Transatlantische Sicherheit

**Dr. Nitsch, Joachim**

Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

**Prof. Dr. Pinguelli Rosa, Luiz**

Stellvertretender Direktor der Graduate School of Engineering (COPPE) der Federal University of Rio de Janeiro

**Prof. Dr. Popova, Lydia**

Direktorin des Center for Nuclear Ecology and Energy Policy der Socio-Ecological Union, Moskau

**Reinhardt, Charima**

Freie Journalistin

**MinDir Renneberg, Wolfgang**

Abteilungsleiter Reaktorsicherheit, Bundesumweltministerium

**Dr. Rosenkranz, Gerd**

Deutsche Umwelthilfe

**Schulz, Martin**

MdEP, Vorsitzender der Sozialdemokratischen Fraktion im Europäischen Parlament

**Schneider, Mycle**

Internationaler Energieberater und Publizist

**Dr. Schulze-Darup, Burkhard**

Architekt

**Schumann, Harald**

Journalist, Der Tagesspiegel

**Schurig, Stefan**

Leiter des Bereichs Klima und Energie bei Greenpeace Deutschland

**Siegl, Elfie**

Freie Journalistin

**Dr. Steg, Thomas**

Stellvertretender Sprecher der Bundesregierung

**Prof. Dr. Traube, Klaus**

Energiewissenschaftler, energiepolitischer Berater des Deutschen Naturschutzrings und energiepolitischer Sprecher des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung

**Prof. Dr. Vahrenholt, Fritz**

Vorstandsvorsitzender der REpower Systems AG

**Prof. Dr. Voß, Alfred**

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart

**Dr. Zahrnt, Angelika**

Vorsitzende des BUND

**Dr. Ziesing, Hans-Joachim**

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Berlin



## Liste der Teilnehmer/-innen

<b>Adolf, Matthias</b>	FU Berlin
<b>Aghte, Heike</b>	Büro für Umweltkommunikation, Rathaus Steglitz, Berlin
<b>Amannsberger, Karl</b>	Präsidialbereich, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter
<b>Arnold, Helge</b>	BMU, Berlin
<b>Aulbach, Jochen</b>	Zeitschrift Osteuropa, Berlin
<b>Azuma-Dicke, Dr., Norbert</b>	VRE, Berlin
<b>Balke, Tobias</b>	Bündnis 90/Die Grünen, Berlin
<b>Barth, Bianca</b>	Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Batorfi, Edith</b>	Botschaft der Republik Ungarn
<b>Bauer, Henric</b>	Berlin
<b>Becker, Dagmar</b>	MdL Thüringen, Erfurt
<b>Becker, Thorben</b>	BUND, Berlin
<b>Behrends, Johann</b>	IHR Berlin
<b>Berger, Dr., Hartwig</b>	Ökowerk Berlin
<b>Bergmann, Prof. Dr., Heidi</b>	Hochschule Mannheim
<b>Birkholz, Dr. Wolfgang</b>	Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin
<b>Blumenthal, Dr., Gert</b>	AK Solarzeitalter, Berlin
<b>Böhling, Andree</b>	Greenpeace, Hamburg
<b>Bongardt, Benjamin</b>	Universität Duisburg-Essen
<b>Brandt, Dieter</b>	Integer Project, Radebeul
<b>Bräuer, Rolf</b>	BMU, Berlin
<b>Braun-Wanke, Karola</b>	Berliner Energieagentur GmbH
<b>Brenner, Anita</b>	Landesamt für Umwelt u. Geologie Sachsen, Dresden
<b>Bünnagel, Udo</b>	Landesvertretung Schleswig-Holstein
<b>Burmester, Karin</b>	BMU, Berlin
<b>Büsgen, Uwe</b>	BMU, Berlin
<b>Büsem, Dr., Eberhard</b>	Bayrischer Rundfunk, München
<b>Crain, Peter</b>	BUND, Berlin
<b>Creutzig, Felix</b>	HU Berlin
<b>Czeskleba-Dupont, Rolf E.</b>	Roskilde Universitetscenter
<b>Dalchow, Reinhard</b>	Umweltbüro der Evangelischen Kirche Berlin-Brandenburg-schlesische Oberlausitz
<b>Di Nucci, Maria Rosaria</b>	Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Dietrich, Gabriele</b>	Ausschuss NPB der AKB, Berlin
<b>Dietzsch, Werner</b>	Elektrotechnischer Verein (ETV), Berlin
<b>Dovi, Prof. Dr., Vincenzo</b>	Italienische Botschaft
<b>Drosten, Ulrich</b>	Gesellschaft f. Simulatorschulung mbH, Essen
<b>Dummer, Roland</b>	BMAS, Berlin
<b>Dunst, Dietrich</b>	Berlin
<b>Dzianisava, Nataliya</b>	TU-Bergakademie Freiberg
<b>Eckenfels, Katja</b>	Berlin
<b>Ehlers, Melf-Hinrich</b>	HU Berlin
<b>Ehrhardt, Kerstin</b>	Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Eichstädt-Bohlig, Franziska</b>	Bündnis 90/Die Grünen, Berlin
<b>Emig, Jutta</b>	BMU, Berlin
<b>Engelhardt, Claudia</b>	BMU, Bonn
<b>Engler, Lisa</b>	Volkswagen AG
<b>Erdmann, Dr. Lutz</b>	Staatl. Umweltamt Itzehoe (SH)
<b>Fellmer, Bettina</b>	GTZ, Berlin
<b>Fernandez-Aguayo, Fernando</b>	Botschaft von Spanien
<b>Ferreira, Jonas</b>	Botschaft von Brasilien
<b>Ferst, Marko</b>	Berlin
<b>Franke, Dr. Walter A.</b>	FB Geowissenschaften, FU Berlin
<b>Frederking, Dorothea</b>	Bündnis 90/Die Grünen, Magdeburg
<b>Frenzel, Dr. Christine</b>	LMU München
<b>Frick, Petra</b>	IBB-Repräsentantin von CORE, Ahrensfelde
<b>Friedrichs, Georg</b>	Vattenfall Europe AG, Berlin
<b>Fritsch, Peter</b>	BMU, Berlin

<b>Fuchs, Prof. Dr. Doris</b>	Universität Stuttgart
<b>Fukumoto, Masao</b>	freier Journalist, Berlin
<b>Garzuel, Anneliese</b>	DGO Osteuropa, Berlin
<b>Geulen, Dr. Reiner</b>	Geulen & Klinger, Rechtsanwälte, Berlin
<b>Gizewski, Vera-Tatjana</b>	Bundesanstalt f. Landwirtschaft u. Ernährung, Bonn
<b>Glatzel, Wolf-Dieter</b>	Referent SPD-Bundestagsfraktion, Berlin
<b>Gohl, Matthias</b>	BMU, Bonn
<b>Grashof, Katharina</b>	Öko-Institut, Berlin
<b>Gregorczyk, Jan</b>	Berlin
<b>Groth, Markus</b>	Wiss. MA, Universität Göttingen
<b>Grotmann-Höfling, Jan</b>	IÖW, Berlin
<b>Gumprecht, Detlef</b>	Bundesamt für Strahlenschutz, Bonn
<b>Günther, Babs</b>	Bürgerini gegen Atommüllverladungen, Gochsheim
<b>Gyorgy, Anna</b>	Women and Life on Earth, Berlin
<b>Hagedorn, Jonas</b>	AG Deutscher Waldbesitzerverbände (AGDW), Berlin
<b>Hagenguth, Dr. Rolf</b>	Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin
<b>Hake, Jochen</b>	Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, Berlin
<b>Harders, Helmut</b>	Berlin
<b>Hartmann, Prof. Dr. Thomas</b>	Hochschule Magdeburg-Stendal
<b>Hartrumpf, Dörthe</b>	BMU, Berlin
<b>Heinemann, Ronald</b>	Berlin
<b>Heinke, Frank</b>	FH Eberswalde
<b>Heinz, Anika</b>	FU Berlin
<b>Hermann, Winfried</b>	MdB
<b>Herttrich, Dr. Michael</b>	BMU, Bonn
<b>Hildebrand, Martina</b>	BMU, Berlin
<b>Hinrichs-Rahlwes, Rainer</b>	Berlin
<b>Hirschl, Bernd</b>	IÖW, Berlin
<b>Höfer, Dr. Thomas</b>	Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin
<b>Hoffmann, Wolf-Albrecht</b>	BMU, Berlin
<b>Hofmann, Hans-Georg</b>	Landesvertretung Saarland
<b>Höntzsch, Rudi</b>	Kommission Technikgestaltung und -bewertung, Beckmann-Akademie, Berlin
<b>Huthmacher, Karl E.</b>	BMU, Bonn
<b>Jacoby, Julia</b>	Botschaft der USA
<b>Janke, Rolf</b>	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Berlin
<b>Jung, Yeon-Mi</b>	Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Kang, Moon Jung</b>	Studentin, Uni Lüneburg
<b>Kaphengst, Timo</b>	Doktorand, ATB Potsdam
<b>Kienle, Dr., Friedrich</b>	freier Journalist/Kienle Consultants, Berlin
<b>Kim, Soo Jin</b>	Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Kischitzki, Josephin</b>	Botschaft der USA
<b>Klein, Daniel</b>	TU Berlin
<b>Klein, Olaf Georg</b>	Personal Coaching, Berlin
<b>Köhler, Matthias</b>	Berlin
<b>Köln, Klaus-Wilhelm</b>	UfE GmbH, Rostock
<b>König, Caroline</b>	Bundespresseamt, Berlin
<b>König, Wolfram</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>Kopp, Matthias</b>	WWF Deutschland, Berlin
<b>Koshmaniuk, Petro</b>	Botschaft der Ukraine, Berlin
<b>Kowalewsky, Helmut</b>	Deutsche Physikalische Gesellschaft, Berlin
<b>Kreusch, Jürgen</b>	Gruppe Ökologie, Hannover
<b>Krutzinna, Daniel</b>	Capgemini, Berlin
<b>Krüger, Kerstin</b>	Berliner Energieagentur GmbH
<b>Kübler, Kuno</b>	AK Stirlingmotor, München
<b>Kuhlen, Peter</b>	Architekt, Berlin
<b>Kuhn, Maximilian</b>	Vaterstetten
<b>Kulmus, Anton</b>	Berlin
<b>Kunz, Claudia</b>	Info-Kampagne für Erneuerbare Energien, Berlin
<b>Laufer, Dino</b>	Energieseminar, Berlin
<b>Leuschner, Charis</b>	Umweltministerium Thüringen, Erfurt

<b>Lindberg, Marie</b>	Berlin
<b>Lobschat, Gerhard</b>	Berlin
<b>Loitz, Tanja</b>	co2online gGmbH, Berlin
<b>Lorek, Charlotte</b>	TU Berlin
<b>Lutz, Kristina</b>	DNR Verbändenetzwerk Tschernobyl+20, Berlin
<b>Mahrad, Asad</b>	TU Berlin
<b>Malinovsky, Sergej</b>	Botschaft von Belarus
<b>Marian, Hans-Gerd</b>	NaturFreunde Deutschlands, Berlin
<b>Marquardt, Daniela</b>	BMU, Berlin
<b>Marx, Dieter</b>	Deutsches Atomforum, Berlin
<b>Massabié, Germán</b>	Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Matschoss, Patrick</b>	Sachverständigenrat für Umweltfragen, Berlin
<b>Matthes, Klaus</b>	artibus, Hameln
<b>Mehnert, Michael</b>	Bundesamt für Stahlschutz, Berlin
<b>Meinelt, Thomas</b>	up Umweltplan GmbH, Berlin
<b>Melchior, Dr. Hartmut</b>	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Berlin
<b>Menzler, Hans-G.</b>	X-tausendmal quer, Reg. Berlin
<b>Mignot, Emmanuel</b>	Französische Botschaft
<b>Mihasc, Sebastian</b>	Berlin
<b>Mikutaviciute, Vilma</b>	SKB/TU Berlin
<b>Milke, Klaus</b>	Germanwatch, Hamburg
<b>Morkel, Leena</b>	TU Berlin
<b>Müller, Andreas</b>	Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin
<b>Müller, Daniel</b>	EnBW AG, Karlsruhe
<b>Müller, Ulrich</b>	stadtplansolar, Berlin
<b>Müller, Wolfgang</b>	BMU, Berlin
<b>Mundt, Juliane</b>	Greenpeace Energy, Hamburg
<b>Nachtigall, Andree</b>	BMU, Berlin
<b>Neumann, Wolfgang</b>	Gruppe Ökologie, Hannover
<b>Niehaus, Gerrit</b>	BMU, Bonn
<b>Okamura, Lila</b>	FU Berlin
<b>Oltmanns, Dieter</b>	Berlin
<b>Overbeck, André</b>	Bürgerinitiative Umweltschutz (BIU), Hannover
<b>Papen, Ela</b>	Freundeskreis Williy-Brandt-Haus, Berlin
<b>Partzsch, Lena</b>	Doktorandin, Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Pauser, Horst</b>	BMU, Berlin
<b>Pettelkau, Dr. Hans-Jürgen</b>	Fa. Umwelttechnik, Berlin
<b>Pfizenmayer, Lisa</b>	BMU, Berlin
<b>Pitterich, Dr. Horst</b>	PTKA Forschungszentrum Karlsruhe
<b>Probst, Barbara</b>	Berlin
<b>Probst, Herbert</b>	Berlin
<b>Quistorp, Eva</b>	Bündnis 90/Die Grünen, MdEP a.D., Berlin
<b>Raabe, Norbert</b>	Paritätischer Wohlfahrtsverband, Hameln
<b>Reiche, Dr. Danyel</b>	Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Reitz, Dr. Heinrich</b>	BASF AG, Büro Berlin
<b>Reuter, Florian</b>	EnBW AG, Berlin
<b>Rimpler, Arndt</b>	Bundesamt für Stahlschutz, Berlin
<b>Rocholl, Martin</b>	Friends of the Earth Europe, Berlin
<b>Rogge, Rainer</b>	VER.DI, Berlin
<b>Roßner, Dr. Frank</b>	Beckmann-Akademie, Fredersdorf
<b>Röscheisen, Helmut</b>	Deutscher Naturschutzring, Bonn
<b>Rudek, Claudia</b>	FU Berlin
<b>Sach, Dr. Karsten</b>	BMU, Berlin
<b>Sailer, Michael</b>	Öko-Institut, Darmstadt
<b>Samadi, Sascha</b>	Student, Uni Oldenburg
<b>Samwer, Dr. Ben</b>	Bundesamt für Stahlschutz, Salzgitter
<b>Schäfer, Werner</b>	Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin
<b>Scheib, Helmut</b>	Bundesamt für Stahlschutz, Salzgitter
<b>Schipper, Martin</b>	Solinno, Berlin
<b>Schluchter, Prof. Dr. Wolf</b>	Humanökologisches Zentrum, BTU Cottbus

<b>Schmidthals, Malte</b>	Unabhängiges Institut für Klimafragen (UfU), Berlin
<b>Schnabel, Petra</b>	FU Berlin
<b>Schneider, Astrid</b>	Eurosolar, Berlin
<b>Schnieder, Hubert</b>	DaimlerChrysler Forschung, Berlin
<b>Schönwiesner-Bozkurt, Christian</b>	Rödl & Partner GbR, Nürnberg
<b>Schregel, Antje</b>	BMU, Berlin
<b>Schröter, Michael</b>	Landesvertretung Bremen
<b>Schulz, Astrid</b>	WBGU, Berlin
<b>Schweitzer, Peter</b>	Berlin
<b>Solms, Jürgen</b>	Rat für Nachhaltige Entwicklung, Berlin
<b>Stepanyan, Stella</b>	Rödl & Partner GbR, Nürnberg
<b>Stay, Jochen</b>	X-tausendmal quer, Lüchow
<b>Suchan, Manfred</b>	Berlin
<b>Tägter, Dr. Klaus</b>	VGB PowerTech, Berlin
<b>Tänzler, Dennis</b>	Adelphi Research gGmbH, Berlin
<b>Teikmane, Maija</b>	Botschaft der Republik Lettland
<b>Tempel, Karl</b>	BMU, Berlin
<b>Tempel, Sybille</b>	Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Tidow, Stefan</b>	BMU, Berlin
<b>Towliati, Sassan</b>	Berlin
<b>Trenkler, Kristin</b>	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Köln
<b>Treschan, Silvia</b>	GfN Berlin
<b>Ulrich, Monika</b>	BMU
<b>Vogelsang, Lars</b>	Agenda-Agentur Berlin
<b>Vogelsang, Michael</b>	Berlin
<b>Vonnahme, Peter</b>	Bayr. VGH
<b>Waldhausen, Martin</b>	BMU, Berlin
<b>Waltenrath, Oliver</b>	Greenpeace Energy, Hamburg
<b>Weichsel, Volker</b>	Zeitschrift Osteuropa, Berlin
<b>Weickmann, Felix</b>	Forschungsstelle für Umweltpolitik, FU Berlin
<b>Weiß, Bruni</b>	BMU, Berlin
<b>Wilmen, Angelika</b>	IPPNW, Berlin
<b>Winkler, Thomas</b>	Lokale Agenda 21 Treptow-Köpenick, Berlin
<b>Wübber, Thorsten</b>	Zukunftspiloten, Bonn
<b>Zerle, Dr., Peter</b>	SRU, Uni Augsburg
<b>Zhang, Xuezhe</b>	HBS, Berlin
<b>Ziehm, Cornelia</b>	Deutsche Umwelthilfe, Berlin
<b>Ziller, Undine</b>	Jugendbündnis Zukunftsenergie, Berlin
<b>Zurov, Ivan</b>	Deutscher Bundestag, Berlin

## Fotogalerie

Foto 1



*Sigmar Gabriel im Gespräch mit Botschafter Dr. Igor Dolgov*

Foto 2



*Prof. Dr. Martin Jänicke im Gespräch mit Dr. Joachim Nitsch*

Foto 3



*Olena Mykolaichuk und Dr. Igor Dolgov lassen sich Details des Tagungsprogramms erläutern*

Foto 4



*Sigmar Gabriel begrüßt Svetlana Alexijewitsch*

Foto 5



*Blick von der Empore der Auferstehungskirche auf die Podiumsdiskussion*

Foto 6



*Blick auf die Teilnehmer der Tagung*

Foto 7



Sigmar Gabriel während eines Presseinterviews auf der Tagung

Foto 8



Michael Müller im Gespräch mit Reinhard Bütikofer

Foto 9



Blick auf die Teilnehmer der Tagung

Foto 10



Tagungspause

Foto 11



Cerstin Gammelin im Gespräch mit Afra Gyekye vom Orga-Team

Foto 12



Matthias Machnig im Gespräch mit Lars G. Josefsson

Foto 13



Dr. Gerd Leipold im Gespräch mit Christopher Flavin

Foto 14



Dr. Eberhard Meller, Johannes Lackmann, Stephan Kohler und Astrid Klug im Gespräch (v.l.n.r.)

Foto 15



Dr. Angelika Zahrt im Gespräch mit Prof. Dr. Peter Hennicke

Foto 16



Get together mit Büfett

Foto 17



... und Smooth Jazz von Amy's Threesome





„Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen ...“

Grundgesetz, Artikel 20 A

**Kontakt:**

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**

**Referat Öffentlichkeitsarbeit**

**D - 11055 Berlin**

**Fax: (030) 18 305 - 2044**

**Internet: [www.bmu.de](http://www.bmu.de)**

**E-Mail: [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de)**

**Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung.**

**Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.**

**Der Druck erfolgt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.**



**DAS HAT ZUKUNFT.**