

## WELTWEITE PERSPEKTIVEN DER KOHLE – KLIMABEDROHUNG ODER ENTWARNUNG?

Eberhard Jochem

Centre for Energy Policy and Economics (CEPE), ETH Zürich

### 1. Wo liegt eigentlich der Ressourcenengpass?

Reflexhaft fragen die Medien nach den alternativen Energieträgern, wenn der Ölpreis und damit die Preise fossiler Energieträger steigen, sei es anlässlich des Irakkrieges, einer unverhofft gut ausfallenden Weltkonjunktur oder eines kalten Winters auf der Nordhalbkugel. Dann fragt man nach der Reichweite des Erdöls, die schon seit 100 Jahren bei 30 bis 40 Jahren liegt, oder derjenigen der Steinkohle, deren Reichweite schon immer auf mehrere 100 Jahre angegeben wurde. Beim Blick auf die Kernenergie wendet man sich wegen der drei Nachteile, maximal denkbarer Unfall, sehr langlebige Isotope und Proliferation, mit gewissen Zweifeln wieder ab und schaut nachsinnlich auf die erneuerbaren Energien, die wegen ihres hohen Kostenniveaus für heute und die kommenden 10 Jahre noch nicht als Alternative zu bezeichnen sind und bisher nur einen relativ geringen Marktanteil sowohl an der Stromerzeugung als auch bei den Primärenergieträgern haben.

Die Medien vergessen nachzufragen, was denn der Unterschied zwischen der Reichweite der Reserven und der hypothetisch noch verbleibenden Ressourcen sei, wenn alle hypothetischen Ressourcen auch wirklich exploriert sind. Sie tragen auf diese Weise zu manchen Widersprüchlichkeiten und Missverständnissen bei. Denn die statische Reichweite, das Verhältnis von gesicherten und wirtschaftlich abbaubaren Reserven zum Jahresverbrauch, zählen aus unternehmerischen Gründen nur immer einige Dekaden, und zwar für Erdöl traditionell etwa 40 Jahre und für Erdgas 60 Jahre. Es macht wenig Sinn, für mehr als diese wenigen Jahrzehnte Kapital in die Prospektion und Exploration zu stecken. Dagegen ist die Reichweite der Ressourcen um ein vielfaches größer und erfasst die hypothetischen (noch zu findenden) sowie die technisch abbaubaren Vorräte, egal wie teuer die Förderung würde.

Für die Welt-Energiemärkte wird es nicht erst dann kritisch, wenn eine Ressource zur Neige geht, sondern viel früher, wenn das Produktionsmaximum eines Energieträgers erreicht wird, aber die Nachfrage nach diesem Primärenergieträger mit merklichen Marktanteilen in der Tendenz immer noch ansteigt. Dies dürfte nach Einschätzung der meisten Fachleute für Erdöl zwischen 2020 und 2030 der Fall sein. Denn noch heute ist Erdöl in vielen Ländern der Welt – nicht zuletzt wegen der fast 100 %igen Abhängigkeit des Strassen-, Flug- und Schiffsverkehrs von erdölbasierten Kraft- und Treibstoffen – der Hauptenergieträger. Erdöl mit einem Weltmarktanteil an den Primärenergieträgern von immer noch einem Drittel gilt als der Ressourcenengpass der fossilen Energieträger (vgl. Abb. 1), während die Steinkohle als Energieträger noch für viele hundert Jahre reichen würde (Kehrer 2000).

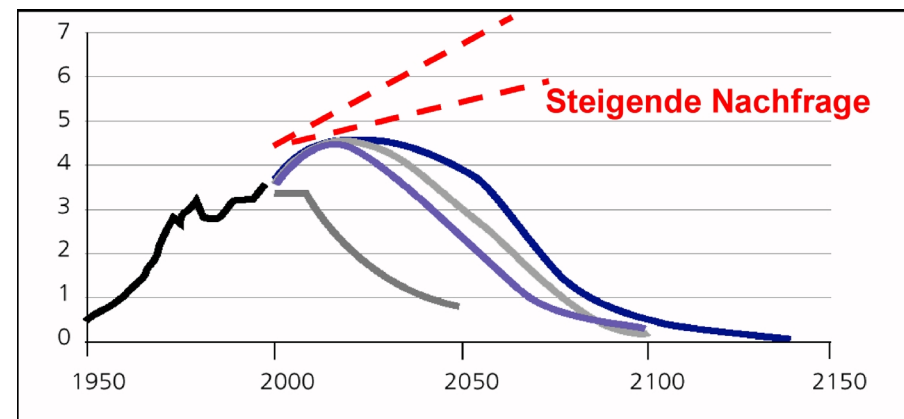


Abb. 1: Mögliche Entwicklung des Produktionsmaximums der Erdölförderung und der Erdöl-nachfrage mit dem Risiko erheblicher Preissteigerungen für Erdöl zwischen 2020 und 2030

Während in den 1970er Jahren viele davon überzeugt waren, dass der Anteil der Kohle am Weltmarkt des Primärenergieträgerbedarfs zugunsten des Erdgases und der Kernenergie weiter schnell zurückgehen und sogar ihre absolute Produktion reduziert würde, geht man heute von einer Verdopplung der Kohlenutzung bis 2030 gegenüber dem heutigen Wert von weltweit 100.000 PJ aus (vgl. Abb. 2). Der Kohleanteil am Weltenergiebedarf würde bei dieser Referenzentwicklung lediglich um zwei Prozentpunkte binnen drei Dekaden zurückgehen. Dieses Zukunftsbild widerspricht den energiewirtschaftlichen Trends der Industriestaaten der letzten vier Dekaden, nicht aber ihrer eigenen Industrialisierungsphase und der Tatsache, dass ein Drittel der Menschheit (China und Indien) über sehr große, kostengünstig abbaubare Kohlereserven verfügt und diese zur eigenen wirtschaftlichen Entwicklung auch nutzen wird.

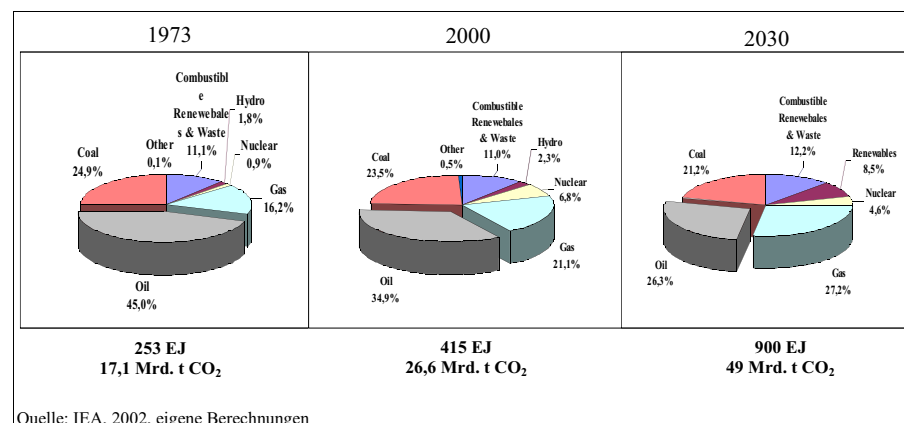


Abb. 2: Weltenergiebedarf nach einzelnen Primärenergieträgern, 1973, 2000 und 2030

Ohne Zweifel wäre ein derartiger weiterer Anstieg der Kohlenutzung aus klimapolitischer Sicht – aber vielleicht auch aus langfristiger Sicht vieler Mrd. Menschen zukünftiger Generationen – eine kaum akzeptable Vision, weil bereits heute die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Brennstoffen um mehr als das zweifache zu hoch sind und in wenigen Jahrzehnten um den Faktor vier reduziert werden müssen, um die durchschnittliche bodennahe Temperatur nicht mehr als 2 °C in diesem Jahrhundert ansteigen zu lassen. Auf diese Weise eröffnet sich derzeit ein Zielkonflikt zwischen kostengünstiger Primärenergie und den Erfordernissen des Klimaschutzes und zukünftiger Generationen.

Als Zwischenfazit der Überlegungen zu den verfügbaren Ressourcen lässt sich feststellen: nicht die fossilen Energieträger sind ein global limitierender Faktor für die Entwicklung in diesem Jahrhundert, sondern die begrenzte Aufnahmekapazität der Atmosphäre für die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen.

## 2. CO<sub>2</sub>-Imperialismus oder gleiches Emissionsrecht für alle?

Bereits heute emittieren China und Indien durch die Nutzung von Kohle zusammen 4 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub>, d.h. etwa 15% der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Bis zum Jahre 2030 wird damit gerechnet, dass bei gleich bleibenden Trends in Nachfrage und Energiepolitik sich die Emissionen auf 7 bis 9,6 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> verdoppeln werden. Aber bereits heute ist das globale Emissionsniveau von 26 Mrd. Tonnen pro Jahr nicht nachhaltig und müsste bis 2050 auf etwa 8 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> weltweit vermindert werden (IPCC 2001).

Derzeit entfällt auf die Industrieländer etwa 70% der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen, während sie nur 17 % der Weltbevölkerung ausmachen. Würden die Industriestaaten und die Entwicklungsländer in ihrer energiewirtschaftlichen Entwicklung so fortfahren wie sich heute die Trends von ökonomischer und politischer Entwicklung abzeichnen (Status quo oder Referenz-Entwicklung), dann würden die jährlichen Emissionen in 2030 bei etwa 40 bis 44 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub> liegen und auf etwa gleichem Niveau (zwischen 36 und 49 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub>) in 2050. Kumuliert seit 1990 wären dies Einträge in die Atmosphäre von etwa 1.300 Mrd. Tonnen bis 2030 und mehr als 2.000 Mrd. Tonnen bis 2050, eine mit den Ergebnissen der Klimafolgenforschung völlig unvereinbare Vision. Denn die Kosten zur Vermeidung der durch den Klimawandel bedingten Folgen, wie Überschwemmungsschutz, Sturmsicherung bei Dächern, Stromtransporttrassen entlang von Strassen und Bahntrassen, Muren- und Lawinenschutz, verstärkte Ausrüstung mit Ventilations- und Klimaanlageanlagen, intensivere Schädlingsbekämpfung wegen zu milder Winter u. a., sind die heute erkennbaren Adaptionsinvestitionen. Aufgegebene Bau- und Siedlungsflächen und deutlich gestiegene Versicherungspreise zur Absicherung von Schäden aus Naturkatastrophen sind bereits in den letzten Jahren vielfach beobachtet worden.

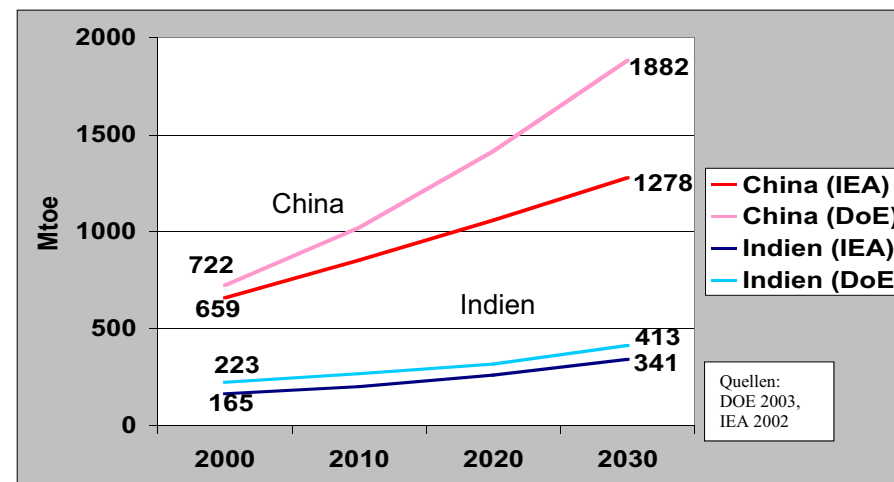


Abb. 3: Bedarfsprojektionen für Kohle in Indien und China 2000 bis 2030

Zu diesem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 würde allein der zusätzliche Kohlebedarf von China und Indien knapp 3 Mrd. Tonnen pro Jahr (IEA 2002) bis 6 Mrd. Tonnen pro Jahr (DoE 2003) beitragen (vgl. Kohlebedarfsprojektionen in Abb. 3), eine Größenordnung, die heute ganz Europa emittiert. Auch mit dem Hinweis, dass diese zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Mengen für den Klimawandel absolut unverträglich sein werden, werden sich China und Indien nicht davon abbringen lassen, ihre Kohlereserven in dem Masse zu nutzen, wie sie es zu ihrer wirtschaftlichen Entwicklung benötigen. Die beiden Länder haben schon heute eine hohe Arbeitslosigkeit, und die Unterbrechung der Stromversorgung ist in vielen Gebieten ein alltägliches Ereignis, wobei manche ländliche Gebiete noch gar keine Stromversorgung haben.

Diesen Ländern eine Beschränkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auferlegen zu wollen, werden sie mit Vehemenz unter dem Aspekt der Gleichheit eines kumulierten Pro-Kopf-Emissionsrechtes zurückweisen und darauf hinweisen, dass es zunächst einmal Aufgabe der Industriestaaten sei, ihre eigenen Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen in Zukunft erheblich zu senken: Denn heute sei der Unterschied ein Faktor fünf und mehr und man werde die Fortsetzung eines Kolonialismus auf der klimapolitischen Seite nicht akzeptieren.

## 3. Die Kohle – Klimakiller oder klimaverträglich?

Die Kohle kann in einer nachhaltigen Energiewirtschaft vor dem Hintergrund der mittel- und langfristigen Erfordernisse des Klimaschutzes nur dann eine wichtige Rolle spielen, wenn das CO<sub>2</sub>, das bei ihrer Nutzung entsteht, minimiert wird bzw. gar nicht in die Atmosphäre gelangt. Diese Möglichkeit bietet einerseits eine Kraftwerkstechnik mit verbesserten Wirkungsgraden,

andererseits, als längerfristige Option, grundsätzlich die CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -speicherung. Der Wirkungsgrad von Kohlekraftwerken liegt im Weltdurchschnitt bei knapp 30%, vor allem in Entwicklungsländern und in Nachfolgestaaten der Sowjetunion aber deutlich darunter. In diesen Ländern dürften die vorhandenen Kohlevorkommen wegen des großen Bedarfs an wirtschaftlicher Entwicklung auch weiterhin genutzt – ja vielfach sogar verstärkt ausgebeutet werden. Deswegen muss besonders hier das Niveau des Kraftwerksparkes an den Stand der Technik angepasst werden.

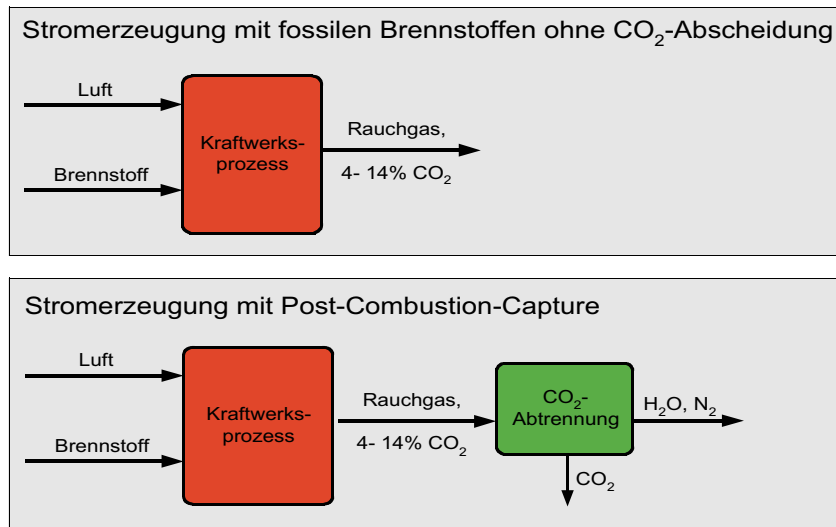


Abb. 4: Kohlekraftwerke ohne und mit nachgeschalteter CO<sub>2</sub>-Rückhaltung

Zugleich ist es nötig, dass Kohle- bzw. Erdgaskraftwerke mit Wirkungsgraden um 50% bzw. 60% zum Standard werden. Die Erhöhung von Wirkungsgraden reicht jedoch nicht aus, um aus der Kohle (aber auch dem Erdgas bei halb so großer Emissionsintensität) langfristig einen nachhaltigen Energieträger zu machen und die notwendige Klimaentlastung herbeizuführen. Effizienzgewinne bei den Kraftwerken werden weltweit von wachsendem Einsatz der Kohle wieder schnell kompensiert. Daher ist das fossil befeuerte Kraftwerk mit „Null“-Emissionen der notwendige Entwicklungsschritt. Die Nullemissionen lassen sich technisch über mehrere Varianten realisieren, einmal teuer und technisch einfach als Rauchgasreinigung heutiger Kraftwerkstypen (vgl. Abb. 4), oder bei Kraftwerksneubauten entweder durch eine Verbrennung des fossilen Energieträgers mit reinem Sauerstoff, um dann möglichst nur Wasserdampf und CO<sub>2</sub> im Rauchgas zu erhalten, oder durch Synthesegasherstellung (vgl. Abb. 5; Göttlicher 1999 und 2004; Radgen 1999).

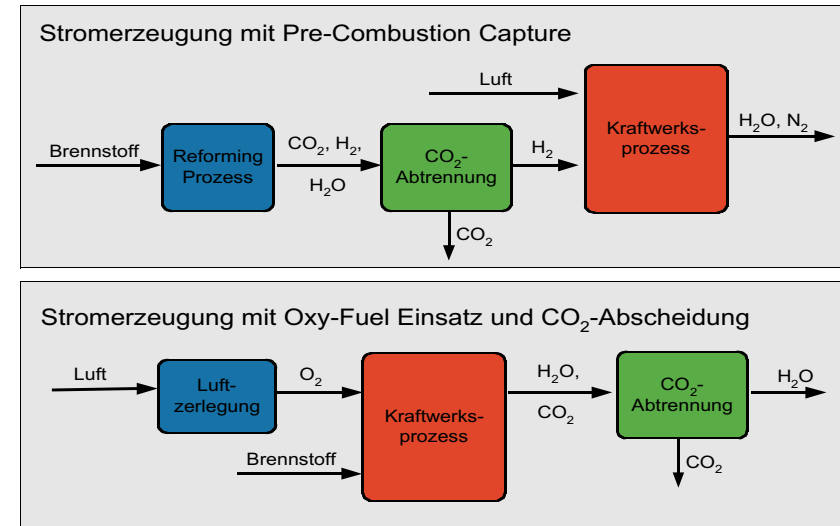


Abb. 5: Kohlekraftwerk mit zwei Optionen der CO<sub>2</sub>-Abtrennung: Verbrennung mit reinem Sauerstoff und nachgeschalteter Rauchgasreinigung – Synthesegasherstellung mit Wasserstoff-/CO-Trennung

In allen drei Fällen wird man das abgetrennte CO<sub>2</sub> in unterirdischen Speichern getrennt von der Atmosphäre auf viele Jahrhunderte speichern müssen. Hierzu bieten sich ausgebeutete Erdgas- und Erdöllagerstätten, vielleicht auch Kohlelagerstätten, sowie Aquifere an. Die Möglichkeit, CO<sub>2</sub> auch in tiefen Meeresbereichen einzuleiten, wird von der Mehrheit der Fachleute wegen wesentlich zu hoher Risiken und ökologischer Folgeschäden abgelehnt und auch nicht weiter verfolgt (Tzima 2003; Mazzotti u.a. 2004).

Vor allem in den USA wird intensiv an der Möglichkeit der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Lagerung geforscht (Programme „Futurgen“ und „Vision 21“) und dies staatlicherseits erheblich unterstützt. Dort sollen noch in den nächsten 10 Jahren Demonstrationsanlagen in Betrieb gehen. Deutsche Unternehmen sind teilweise an Forschungsk Kooperationen in den USA beteiligt. In Deutschland selbst findet gegenwärtig relativ wenig Forschung zu den Möglichkeiten dieser Technologie statt. Daher ist es zu begrüßen, dass im soeben veröffentlichten COORETEC-Forschungsprogramm der Bundesregierung, das die Realisierung emissionsarmer Kraftwerke mit höchsten Wirkungsgraden auf Basis fossiler Energieträger vorantreiben soll, explizit auch die Entwicklung CO<sub>2</sub>-emissionsfreier Kraftwerke eingeschlossen wird.

Die Kosten für die CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -speicherung werden heute noch mit 20 bis über 60 € pro Tonne CO<sub>2</sub>, d. h. weit jenseits der Preise für Effizienzmaßnahmen, Zertifikatspreise und erneuerbare Energien, eingeschätzt. Zugleich bietet aber die Abtrennung und Speicherung zum mutmaßlichen Zeitpunkt ihrer großtechnischen Anwendbarkeit, etwa ab Mitte der 20er

Jahre, die Möglichkeit, global große Mengen von CO<sub>2</sub> aus zentralen Energiewandler-Anlagen wie Kraftwerke, Raffinerien oder Hochöfen zurück zu halten.

Bei weiteren Restriktionen durch Klimavereinbarungen (in der Nachfolge des Kyoto-Prozesses) dürften zum Zeitpunkt der Verfügbarkeit von CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Speicherungstechniken die kostengünstigen Effizienzpotenziale zur CO<sub>2</sub>-Minderung weitgehend ausgeschöpft sein und sich ein deutlich höherer Zertifikatspreis pro Tonne CO<sub>2</sub> einstellen. Daher besteht die Option, zu diesem Zeitpunkt mit der Abscheidung und Lagerung von CO<sub>2</sub> wirtschaftlich zu arbeiten und auf diese Weise auch diejenigen Länder zu Klimaschutzmaßnahmen zu bewegen, die ohne diese Option möglicherweise nicht dazu bereit wären.

Wahrscheinlich werden die erneuerbaren Energien bis Mitte der 20er Jahre noch nicht im benötigten Umfang Energiedienstleistungen liefern, so dass die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Lagerung eine wichtige Brücke für die Nutzung fossiler Energieträger ins Zeitalter der regenerativen Energien bauen könnte. Diese Technologie ist daher auch aus industriepolitischer Sicht in Deutschland zu erforschen und erprobungsweise in Demonstrationsprojekten innerhalb der nächsten Dekade anzuwenden. Denn hier liegt erhebliches Potenzial, große Mengen CO<sub>2</sub> nicht in die Atmosphäre gelangen zu lassen. Diese Option darf gleichwohl nicht dazu führen, Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen allein auf diese end-of-pipe-Technologie zu fokussieren und etwa die Anstrengungen bei den Effizienztechnologien und regenerativen Energien zu reduzieren. Aber aus der Entwicklung der Diffusionsprozesse der bisherigen Primärenergieträger weiß man, dass es mehr als fünf Jahrzehnte braucht, bevor ein neuer Energieträger eine große Rolle in der Energieversorgung spielt. Wenn aber bis Mitte dieses Jahrhunderts viele Mrd. Menschen so leben wollen wie heute die Menschen in den Industrienationen, dann werden Energieeffizienz und erneuerbare Energien nicht alleine das Ziel erfüllen können, die CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht nur nicht ansteigen zu lassen, sondern zu senken.

Bis zu einer großtechnischen Anwendung sind jedoch eine Reihe von Problemen zu klären, deren Lösung heute noch nicht abgeschätzt werden kann. Sicherzustellen wäre bei einer umfangreichen CO<sub>2</sub>-Speicherung insbesondere:

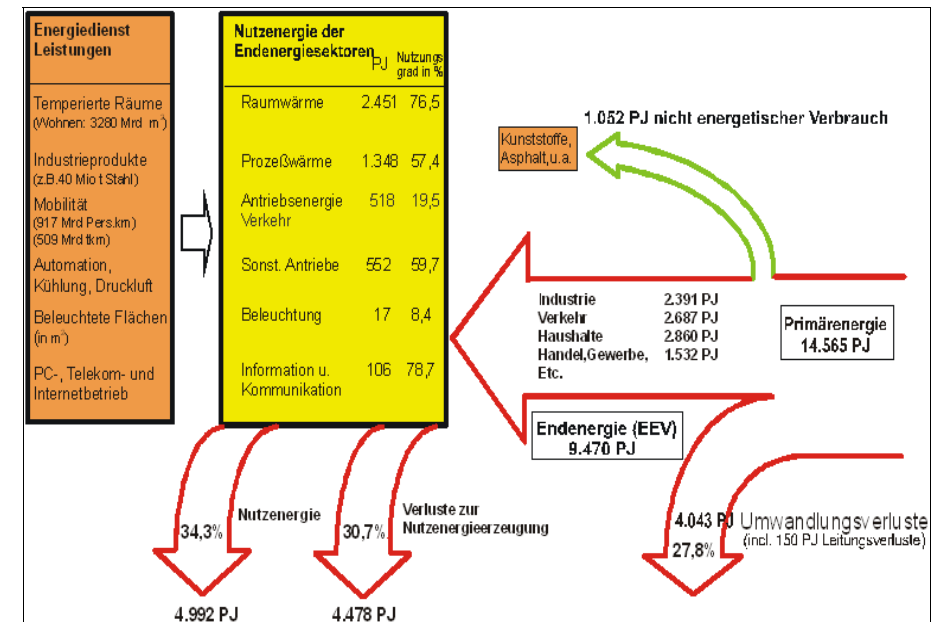
- Hohe Speichersicherheit über mehrere zehntausend Jahre und Vermeidung von Leckagen,
- Vermeidung kontraproduktiver Auswirkungen auf Ökosysteme und Grundwasser,
- Vermeidung von Sicherheitsrisiken, wie schlagartige Freisetzung großer CO<sub>2</sub>-Mengen,
- Vermeidung von Nutzungskonflikten (Deponieräume, weitere Ausbeutung von Lagerstätten).

Der Nachhaltigkeitsrat empfiehlt darüber hinaus zu prüfen, wie in neuen Kraftwerken und anderen zentralen Energiewandlern mit fossilen Energieträgern die Option einer späteren CO<sub>2</sub>-Abscheidung – etwa durch Anwendung von Kohlevergasung, IGCC, Schwerölgasung in Raffinerien oder Gaswäsche bei Hochöfen – berücksichtigt und entsprechende Techniken in den jeweiligen Prozessen eingesetzt werden kann.

Der Anfang ist im norwegischen Off-shore Bereich durch die Rückspeicherung von aus produziertem Erdgas abgetrenntem CO<sub>2</sub> in unterirdische Aquifere seit etwa fünf Jahren bereits gemacht, und weitere Projekte der CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -speicherung im Bereich der Erdöl- und Erdgasförderung folgen in diesem Jahr (z.B. durch ein BP-Projekt in Tunesien).

#### 4. Fehlfokussierung auf das Energieangebot ,for ever'?

Energetisch betrachtet weist der heutige Energieverbrauch der Industriestaaten in noch ganz erheblichem Umfang Energieverluste bei den verschiedenen Umwandlungsstufen und beim Nutzenergiebedarf aus: Sie belaufen sich auf etwa 25 bis 30 % im Umwandlungssektor (alle Wandlungsprozesse von der Primär- zur Endenergie) mit sehr hohen Verlusten selbst bei neuen thermischen Kraftwerken (Jahresnutzungsgrade zwischen 41 und 60 %), auf etwa ein Drittel bei der Wandlung von Endenergie zu Nutzenergie mit extrem hohen Verlusten bei den Antriebssystemen von Strassenfahrzeugen (rund 80 %) und auf der Nutzenergie-Ebene selbst mit 30 bis 35 % und sehr hohen Verlusten bei Gebäuden und Hochtemperatur-Industrieprozessen (vgl. Abb. 6). Exergetisch betrachtet sind die Verluste in den beiden Wandlungsstufen noch höher (durchschnittlich insgesamt ca. 85 bis 90 % für ein Industrieland in der OECD; UNDP/WEC/UNDESA, 2000).



Quellen: ISI, eigene Berechnungen; Geige/Witteke, 2002

Abb. 6: Energieverluste in der Bundesrepublik Deutschland 2001

*Theoretische Arbeiten* Mitte der 80er bis Anfang der 90er Jahre (z.B. Enquete-Kommission 1991; Jochem 1991) haben erstmals gezeigt, dass *der Energiebedarf je Energiedienstleistung um durchschnittlich mehr als 80 bis 85 % des heutigen Energiebedarfs reduziert* werden könnte. Dieses Potential wurde in der Schweiz vom ETH-Rat im Jahre 1998 (ETH-Rat 1998) im Rahmen der Überlegungen zur nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development) als eine technologische Vision der 2000 Watt-Gesellschaft formuliert, die bis etwa Mitte dieses Jahrhunderts erreichbar sein könnte. Bereits Mitte der 1990er Jahre versuchten auch Technologieproduzenten gemeinsam mit der angewandten Forschung nicht nur die technische Machbarkeit, sondern auch die wirtschaftliche Machbarkeit und soziale Akzeptanz derartiger Visionen zu überprüfen (vgl. Luiten 2001).

Die genannten Zielsetzungen und Überlegungen werden in der derzeitigen wissenschaftlichen Diskussion technologisch wie folgt differenziert:

- Erheblich *verbesserte Wirkungsgrade bei den beiden Umwandlungsstufen* Primärenergie/Endenergie und Endenergie/Nutzenergie, häufig mit neuen Technologien, z.B. Kombi-Anlagen zur Stromerzeugung, Brennstoffzellentechnik, Substitution von Brennern durch Gasturbinen oder Wärmepumpen (einschliesslich Wärmetransformatoren), ORC-Anlagen, Sterlingmotoren etc.
- Erheblich *verminderter Nutzenergiebedarf pro Energiedienstleistung*, z.B. Passivsolar- oder Niedrigenergie-Gebäude, auch beim Wärmeschutz bestehender Gebäude (Jakob u.a. 2002), Substitution thermischer Produktionsprozesse durch physikalisch-chemische oder biotechnologisch basierte Prozesse, leichtere Bauweisen bewegter Teile und Fahrzeuge, Rückspeisung bzw. Speicherung von Bewegungsenergie (IPCC 2001).
- *Verstärktes Recycling und Re-use von energieintensiven Werkstoffen* sowie erhöhte Materialeffizienz durch verbesserte Konstruktionen oder Werkstoffeigenschaften mit der Wirkung deutlich verminderter Primärmaterialnachfrage je Werkstoffdienstleistung.
- *Nutzungsintensivierung von langlebigen Investitions- und Gebrauchsgütern* durch Maschinen- und Geräte-Leasing, Car-Sharing und andere produktbegleitende Dienstleistungen (Stahel 1997).
- *Die räumliche Figuration von neuen Industrie- und anderen Siedlungsgebieten nach Energiegesichtspunkten* sowie eine bessere Durchmischung von Siedlungsfunktionen zur Vermeidung von motorisierter Mobilität.

Neben diesen technischen Gesichtspunkten der *Energie- und Materialeffizienz* sowie der *Kreislaufwirtschaft* stellt sich auch die Frage, welche Faktoren die Nachfrage nach Energie- und Materialdienstleistungen beeinflussen. Denn ein zunehmendes Einkommen, eine höhere Ressourceneffizienz und neue Technologien wie die Informatisierung der Gesellschaft eröffnen eine weitere Nachfrage nach Energie- und Materialdienstleistungen.

Trotz dieser energiebedarfssteigernden Faktoren ergab eine jüngste Untersuchung, dass eine 2000 Watt-Industrie-Gesellschaft, d.h. eine Reduktion des Pro-Kopf-Energiebedarfs um zwei

Drittel in Industriestaaten bei einem Wachstum von etwa weiteren 70% bis Mitte dieses Jahrhunderts technologisch durchaus zu erreichen wäre (Jochem u.a. 2002 und 2004). Mit der ganz langfristigen Vision einer (fast) vollständigen (materiellen) Kreislaufwirtschaft, die sich ausschliesslich der erneuerbaren Energien für verbleibende Energieverluste bedient, wäre auch das Problem des Klimawandels gelöst.

Als Zwischenfazit lässt sich festhalten, dass die derzeitige Energiepolitik sowie die Aufmerksamkeit der Technologieproduzenten und der Bevölkerung sehr einseitig auf die Möglichkeiten der alternativen Energieträger ausgerichtet sind und viel zu wenig auf die Möglichkeiten, Energie und Werkstoffe rationeller und intelligenter zu nutzen. Gewiss gibt es auch hier Marktdefizite und Hemmnisse, menschliche Präferenzen und Eitelkeiten (DeCanio 1993 und 1998; de Groot u.a. 2001; Frahm u.a. 1997; Jochem u.a. 2000; Kaufmann-Hayoz u.a. 2001; Sorrel u.a. 2000), aber häufig sind die Energieeffizienzpotentiale rentabel (Romm 1999, Ostertag 2002) und tragen zur Verminderung der externen Kosten der Energienutzung bei, in Zukunft insbesondere zur Verminderung der Adaptionkosten zum Klimawandel und zur Begrenzung des Klimawandels mit seinen netto erheblichen Kosten.

## 5. Forderungen des Nachhaltigkeitsrates

Der Rat für Nachhaltige Entwicklung (2003) der Deutschen Bundesregierung empfiehlt in seiner Erklärung zur Kohlenutzung vor diesem Hintergrund die Umsetzung folgender acht Punkte, die vielem des oben Gesagten eine angemessene Form notwendiger Maßnahmen zu sein scheint:

1. *Energiepolitisches Programm – einheitliche Strategie erforderlich*  
Der Nachhaltigkeitsrat fordert die Bundesregierung auf, ein energiepolitisches Gesamtprogramm zu erstellen, das der abschbaren Energielücke, der wachsenden Importabhängigkeit, dem anstehenden Investitionsbedarf der Wirtschaft sowie dem Klimaschutz Rechnung trägt und die Energiepolitik auf eine gemeinsame Strategie ausrichtet. Der Nachhaltigkeitsrat plädiert für eine innovationsorientierte Energiepolitik, die widerstrebende Sichtweisen, die entweder einseitig auf erneuerbare Energieträger oder nur auf Energieeinsparung oder auf eine kaum veränderte Fortschreibung heutiger Strukturen setzen, überwindet und in einem Gesamtkonzept zusammenführt.
2. *Innovationsdynamik – Energiepolitik ist Innovationspolitik*  
Für eine Industrienation wie Deutschland ist eine hervorragende Stellung bei Energieeffizienz- und -umwandlungstechniken unabdingbar und auch vor dem Hintergrund der Klimaschutzanforderungen dringend auszubauen. Es sind Anreize zu schaffen, die Innovationen in der Energiebereitstellung und -verwendung und im Materialeinsatz auslösen. Dadurch werden im Resultat auch zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen.

3. *Effizienz bei der Energienutzung – lange vernachlässigt*  
Ein großer Teil der benötigten Energiedienstleistungen müssen und können zukünftig ressourcensparender und kostengünstiger durch Effizienz auf der Nachfrageseite bereitgestellt werden. Dies bedeutet den verstärkten Einsatz von Effizienztechnologien, die auch eine Veränderung von Verhaltensweisen fördern. Dies ist bislang vernachlässigt worden; Effizienz wird letztlich auch zu volkswirtschaftlichen Vorteilen führen.
4. *Energieforschung – wieder verstärken*  
Der derzeitige Trend bei den Aufwendungen der öffentlichen Hand und der Energiewirtschaft für die Energieforschung ist umzukehren und die Mittel sind wieder zu erhöhen. Der Nachhaltigkeitsrat empfiehlt folgende Schwerpunkte bei den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten:
- rationelle Energienutzung,
  - CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Lagerung,
  - neue Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen,
  - sowie Materialeffizienz.
- Hierbei sollen auch Aspekte der Technikfolgenabschätzung berücksichtigt werden.
5. *CO<sub>2</sub>-armes und „-freies“ Kraftwerk – Chance für die Kohle*  
Der Nachhaltigkeitsrat befürwortet die Kohlenutzung in Deutschland, weil sie inländische Kraftwerkstechnologie fördert, die möglichst weltweit einzusetzen ist, und weil wegen der globalen Verteilung der Kohlereserven die Versorgungssicherheit gestärkt wird – allerdings nicht um den Preis der Festlegung einer Versorgungsstruktur mit der die Klimaanforderungen bis zur Mitte des Jahrhunderts nicht mehr erfüllt werden könnten. Der Bau von Kohlekraftwerken mit dem technisch höchsten derzeit realisierbaren Wirkungsgrad von bis zu 50% als Referenzkraftwerke reicht daher nicht aus, um die Elektrizitätsversorgungsstruktur nachhaltig zu entwickeln – nötig ist es zugleich, die Option einer Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> zu integrieren. Nur dann haben fossile Energieträger langfristig die Chance, einen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu leisten.
6. *Rolle der deutschen Steinkohle und Braunkohle – differenzierte Bewertung*  
Die Braunkohle ist neben der Wasserkraft die einzige wirtschaftliche und heimische Energiequelle von Bedeutung. Sie hat schwerwiegende Nachteile wie Naturzerstörung, Grundwasserbeeinflussung oder teilweise Umsiedlungsmaßnahmen. Bei ihrer Gewinnung müssen dauerhafte Hypothesen für Umwelt und Mensch vermieden werden. Dazu ist für alle Abbaugelände die Erstellung von Nachhaltigkeitsbilanzen nötig. Die Subventionierung deutscher Steinkohle soll sich weiter degressiv gestalten. Der Rat hat sich bereits 2001 für eine sozialverträglich gestaltete Abschaffung der Subventionen bis zum Jahre 2010 ausgesprochen. Hierzu gibt es eine abweichende Auffassung eines Ratsmitglieds.

7. Deutschland muss im internationalen Umfeld weiter auf eine gemeinsame Umsetzung von Klimaschutzziele hinwirken. Die Instrumente CDM und JI sind dabei zu nutzen, können aber nationale Anstrengungen nicht ersetzen. Im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit ist der Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems in Entwicklungsländern zu einem Schwerpunkt zu machen. Auch die Außenwirtschaftspolitik muss sich der Energiefrage verstärkt annehmen.
8. *Energiepolitischer Rahmen – Gleichbehandlung unter Nachhaltigkeitskriterien*  
Der Rat für Nachhaltige Entwicklung empfiehlt der Bundesregierung eine energiepolitische Gesamtstrategie, die darauf ausgerichtet ist, in den nächsten zehn Jahren sukzessive bei den ökonomischen Rahmenbedingungen eine Gleichbehandlung der Energieträger unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten zu erreichen.

Insgesamt weist der Rat für Nachhaltige Entwicklung der Kohle ihren begrenzten und doch notwendigen Platz für die kommenden Jahrzehnte innerhalb eines Gesamtkonzeptes zu. Dieser Platz ist nicht von vornherein vergeben, sondern bedarf noch harter Analysen und großer Offenheit für andere Optionen, sollten sich einige der Risiken der Speicherung als zu hoch erweisen.

## 6. Schlussfolgerungen für Besorgte – eigentlich auch für eine verantwortungsvolle Politik

So sehr man den Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung in seinen Punkten folgen kann, so sehr beschleicht den Beobachter doch die Ahnung, dass auch dem wohl durchdachten Konzept der integralen Anstrengungen von Energie- und Materialeffizienz, von beschleunigter Diffusion der erneuerbaren Energien und der CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Speicherung die Verantwortlichen in Regierungen und Wirtschaft in erster Linie die Kohle-Option herausgegriffen wird und nach wie vor insbesondere die Energie- und Materialeffizienz vernachlässigt werden.

Zu groß könnte die Versuchung in einer Fun- und Eventgesellschaft sein, die erst nach Jahrzehnten oder Jahrhunderten (Meeresspiegel) auftretenden Folgeerscheinungen zu verdrängen. Wenn etwa die Hälfte der gebärfähigen Frauen der Mittelschicht in Deutschland, die Trendsetzende Schicht, derzeit keine Kinder haben und auch nicht haben wollen, dann erhält auch zunehmend die Verantwortung gegenüber den Enkeln und zukünftiger Generationen in dieser Gesellschaft ein geringeres Gewicht, dann gerät auch zunehmend Solidarität mit jenen in Vergessenheit, die sich noch als Teil einer langen Generationenkette verstehen.

Zusammenfassend sei festgehalten:

- Die Klimabedrohung kommt nicht allein durch die Kohle, selbst die Öl- und Erdgasres-

sources sind zu groß und können aus klimapolitischen Gründen nicht nach Bedarf verbrannt werden;

- ein westlicher Lebensstandard in Entwicklungsländern mit fossilen Energieträgern ist nicht nachhaltig, er ist es nicht einmal heute in den Industrieländern;
- es gibt wesentlich zu viel preiswerte Kohle auf der Welt; die CO<sub>2</sub>-Rückhaltung und -Speicherung ist eine der technologischen Antworten;
- das Aschenputtel Energie- und Materialeffizienz hat zwar derzeit die größten Lösungspotentiale, wird aber politisch und medienseitig völlig vernachlässigt; die Energie- und Materialeffizienz braucht eine starke Lobby aus Technologieproduzenten, Dienstleistern, NGOs und solchen Gruppierungen, die der Zukunft eine Chance geben wollen;
- Deutschland, Europa, OECD, die Industrieländer brauchen eine konsistente Energie-/Effizienz- und Klimapolitik als Teil einer Innovations- und Industriepolitik.

Langfristig – vielleicht gegen Ende dieses Jahrhunderts – löst sich der Zielkonflikt zwischen wirtschaftlicher Entwicklung, fossilen Energieträgern und Klimawandel durch die erneuerbaren Energien, aber in diesem Jahrhundert ist jeder Beitrag von Technologien und unternehmerischen Innovationen gefragt – die Adaptionkosten zum Klimawandel sind bereits schon heute hoch.

## Literatur

**DeCanio S. J.** 1993: Barriers within Firms to Energy-Efficient Investments. *Energy Policy* 21, 9, S. 906 ff.

**DeCanio, S. J.** 1998: The efficiency products: bureaucratic and organisational barriers to profitable energy saving investments, *Energy Policy* 26, S. 441 ff.

**DeGroot, H. L. F. et al.** 2001: Energy savings by firms: decision-making, barriers and policies, *Energy Economics* 23, S. 717 ff.

**DoE (Department of Energy; Energy Information Administration)** 2003: *International Energy Outlook*. Washington

**Enquête Commission, E.** 1991: *Protecting the earth – a status report with recommendations for a new energy policy*, Bonn University Press, Bonn

**ETH-Rat** 1998: *Die 2000 Watt pro Kopf-Gesellschaft – Modell Schweiz – Nachhaltigkeitsstrategie im ETH-Bereich*. Wirtschaftsplattform. ETH Zürich 1998

**Frahm, T. et al.** 1997: *Verhaltens- und Hemmnisforschung im Bereich Energie – Stand und Perspektiven*. Experten-Seminar des BMBF. Karlsruhe/Bonn; Fraunhofer ISI

**Göttlicher, G.** 1999: *Energietechnik der Kohlendioxidrückhaltung in Kraftwerken*. VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 6, Nr. 421, VDI Verlag Düsseldorf

**Göttlicher, G.** 2004: *The energetics of carbon dioxide capture in power plants*. US Department of Energy. Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory

**IEA (International Energy Agency)** 2002: *World Energy Outlook*. OECD Paris

**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** 2001: *Climate Change 2001 – Mitigation*. Contribution of Working Group III. Cambridge University Press. Cambridge

**Jakob, M, Jochem, E., Christen, C.** 2002: *Grenzkosten bei forcierten Energieeffizienzmaßnahmen in Wohngebäuden*. BFE Report, Bern

**Jochem, E.** 1991: Long-term potentials of rational energy use – the unknown possibilities of reducing greenhouse gas emissions. *Energy & Environment* 2, p.31-44

**Jochem, E., Sathaye, J., Bouille, D.** 2000: Society, behaviour, and climate change mitigation. *Advances in Global Change Research*, Vol. 8. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/London

**Jochem, E.** 2003: Energie rationeller nutzen – Zwischen Wissen und Handeln. *GAIA* 11 4, S.9-14

**Jochem, E., Favrat, D., Hungerbühler, K., Rudolph v. Rohr, Ph., Spreng, D., Wokaun, A., Zimmermann, M.** 2002: Steps Towards a 2000 Watt Society. Developing a White Paper on Research and Development of Energy-Efficient Technologies. CEPE, ETH Zurich

**Jochem, E., Anderson, G., Favrat, D., Gutscher, H., Hungerbühler, K., Rudolf von Rohr, Ph., Spreng, D., Wokaun, A., Zimmermann, M.** 2004: Steps towards a sustainable development - A White Book for R&D of Energy-Efficient Technologies. CEPE/ETH and novatlantis Zurich, Switzerland

**Kaufmann-Hayoz, R., Bättig, C., S., B., Defila, R., Di Giulio, A., Flury-Kleubler, P., Friederich, U., Garbely, M., Gutscher, H., Jäggi, C., Jegen, M., Mosler, H.-J., Müller, A., North, N., Ulli-Beer, S. & Wichterlmann, J.** 2001: A Typology of Tools for Building Sustainability Strategies. In Kaufmann, R. & Gutscher, H. (Eds.): *Changing Things – Moving People: Strategies for Promoting Sustainable Development at the Local Level*. Birkhäuser, Basel, p. 33-107

**Kehrer, P.** 2000: Das Erdöl im 21. Jahrhundert – Mangel oder Überfluss? Vortrag im Erdölmuseum Wietze, 10. März 2000. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

**Luiten, E.** 2002: Beyond Energy Efficiency – Actors, networks, and government intervention in developing industrial process technologies. University of Utrecht

**Mazzotti, M., Storti, G., Cremer, C.** 2004: Das Abscheiden von CO<sub>2</sub> aus Punktquellen oder Luft. CO<sub>2</sub>-Emissionen vermeiden. In: *Bulletin. Magazin der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich*. Nummer 293, Mai 2004, S. 44-47

**Ostertag, K.** 2002: No-Regret Potentials in Energy Conservation: An Analysis of their Relevance, Size and Determinants. Heidelberg: Physica

**Radgen, P.** 1999: Abscheidung, Nutzung und Entsorgung von CO<sub>2</sub> aus energie- und stoffumwandelnden Prozessen. VDI Bericht Nr. 1457, "Fortschrittliche Energieumwandlung und -anwendung", VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 423-435

**Rat für Nachhaltige Entwicklung** 2003: Perspektiven der Kohle in einer nachhaltigen Energiewirtschaft – Leitlinien einer modernen Kohlepolitik und Innovation. Berlin 30. Sept. 2003

**Romm, J.** 1999. *Cool Companies*. Earthscan, London

**Sorrell, S. et al.** 2000: Reducing Barriers to Energy Efficiency in Private and Public Organisations. Final Report. Brighton: University of Sussex

**Stahel, W. R.** 1997: The service economy: Wealth without resource consumption?, *Philos T Roy Soc A* 355, 1386-1388

**Tzima, E., Peteves, S.** 2003: Controlling carbon emissions: The option of carbon sequestration. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy, Petten, Netherlands

**UNDP/WEC/UNDESA** 2000: World Energy Assessment. UNDP, New York