

Regenerative Energien im 21. Jahrhundert – additiv oder alternativ ?

Joachim Nitsch, DLR Stuttgart¹

1. Bedeutung der regenerativen Energien für die zukünftige Energieversorgung

1.1 Wachstum und seine Grenzen

Nachhaltigkeit ist aus ökologischer Sicht eng mit der Endlichkeit nicht regenerierbarer Ressourcen und der begrenzten Aufnahmefähigkeit von Ökosystemen für Abfälle und Emissionen verknüpft. Beide Problemfelder treten bei der Energieversorgung in besonderem Ausmaß in Erscheinung. Seit Beginn der Industrialisierung wächst der Energieverbrauch deutlich rascher als die Anzahl der Menschen. Während die Weltbevölkerung seit 1870 um den Faktor 4 auf jetzt 6 Mrd. Menschen stieg, wuchs der kommerzielle Energieverbrauch um den Faktor 60 (!) - und damit der Verbrauch fossiler Ressourcen an Kohle, Mineralöl und Erdgas - auf derzeit 390 EJ/a. Der Durchschnittsmensch verbraucht also heute 15mal mehr Energie als 1870. Entsprechend folgte der Anstieg der globalen Kohlendioxidemissionen, die jetzt 23 Mrd. t CO₂/a erreicht haben (**Bild 1**). Historische Einschnitte, wie die beiden Weltkriege, die Ölpreiskrisen und der gravierende Rückgang der Industrieproduktion in den Staaten der früheren Sowjetunion haben an diesem Wachstumstrend nichts Grundsätzliches geändert. Das eigentlich rasante Wachstum ist aber erst ab etwa 1950 eingetreten. Während rund 22% der seit 1870 insgesamt emittierten Kohlendioxidemissionen, insgesamt rund 1000 Mrd. t CO₂, in den achtzig Jahren bis 1950 entstanden, wurden seitdem bis heute die übrigen 78% emittiert. Da das Wachstum vornehmlich in den Industrieländern stattfand, sind diese in der Gesamtbilanz für rund 90% der bis heute durch den Energieeinsatz entstandenen CO₂-Emissionen verantwortlich. Derzeit emittieren sie zwei Drittel der globalen CO₂-Emissionen.

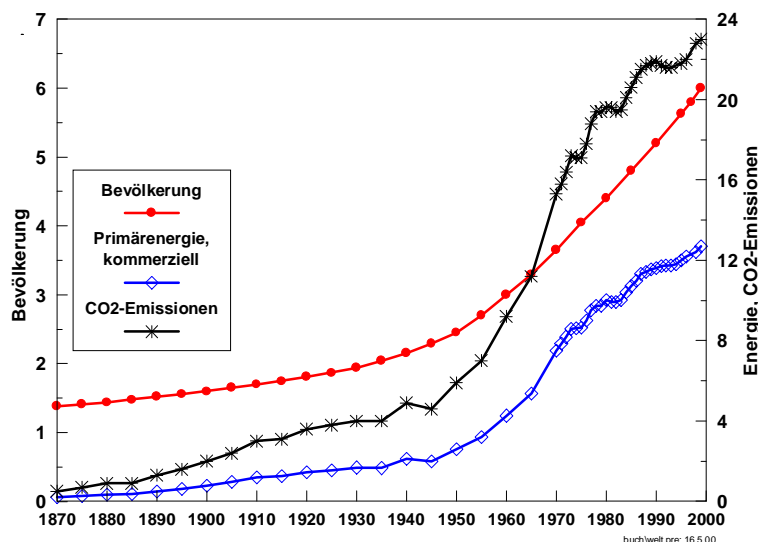


Bild 1: Historisches Wachstum der Weltbevölkerung (Mrd.), des globalen kommerziellen Energieverbrauchs (in Mrd. t Steinkohleeinheiten/Jahr) und der damit verbundenen CO₂-Emissionen (Mrd. t CO₂/a).

¹ Dr. Ing., DLR-Institut für Technische Thermodynamik; Systemanalyse und Technikbewertung. Langfassung des Manuskripts für das 12. Internationale Sonnenforum 2000, Jahrestagung FV Sonnenenergie, Freiburg 5. – 9. Juli 2000.. Wesentliche Beiträge zu diesem Manuskript haben geleistet: Ole Langniß, Michael Nast und Franz Trieb, DLR Stuttgart.

Da die Weltbevölkerung im Jahr 2050 bei knapp 10 Mrd. Menschen liegen wird, wäre eine ungebrochene Fortschreibung dieser Wachstumstendenzen mit einer weiteren, enormen Zunahme des globalen Energieverbrauchs verbunden. Dieses Wachstum tritt ein, wenn der heutige Lebens- und Konsumstil der westlichen Industrieländer auf die Volkswirtschaften der Schwellen- und Entwicklungsländer übertragen wird, also dort ähnliche Pro-Kopf-Verbräuche an Energie erreicht würden. Ein Anstieg des globalen Energieverbrauchs auf das Vier- bis Fünffache wäre die Folge, was aus Ressourcengründen zu einer extremen Ausbeutung der Kohle-, sowie anderer, „exotischer“ fossilen Rohstoffen, wie Ölschiefer führen würde, da Öl und Gas rasch zur Neige gingen. Aber vor allem aus Gründen des Klimaschutzes wäre diese Entwicklung völlig inakzeptabel. Am Beispiel des Szenarios A2 des World Energy Council (WEC 1995; **Bild 2**) wird deutlich, mit welchen Konsequenzen für die globalen CO₂-Emissionen eine derartige „Laufenlassen“ der historischen Entwicklung verbunden wäre. Kurz nach 2050 hätte sich der CO₂-Ausstoß gegenüber heute verdreifacht. Stattdessen muss jedoch eine Verringerung der globalen CO₂-Emissionen bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts angestrebt werden, wenn die durch menschliche Eingriffe entstehenden Klimaveränderungen in tolerierbaren Grenzen gehalten werden sollen. Deshalb lautet auch die Empfehlung der Enquete-Kommission: „Schutz der Erdatmosphäre“ aus dem Jahre 1995, die CO₂-Emissionen bereits bis zum Jahr 2050 auf rund 50% des heutigen Wertes zu reduzieren (gestrichelte Linie in Bild 2). Nur sogenannte „ecologically driven scenarios“, also Zukunftsentwürfe, welche der Ressourcenschonung und der Klimastabilisierung Vorrang einräumen, wie das Szenario WEC C, zeigen tendenziell in die „richtige“ Richtung. In diesen Szenarien spielen sparsamer und sehr effizienter Einsatz von Energie und die Modernisierung der Energieversorgungsstrukturen, z.B. ein verstärkter Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung, eine zentrale Rolle. Da aber auch die modernste Technik beim sparsamen Energieeinsatz an ihre Grenzen gerät oder zu teuer würde, ist die zweite unverzichtbare Säule einer zukünftigen Energieversorgung der beschleunigte Ausbau regenerativer Energien im globalen Maßstab.

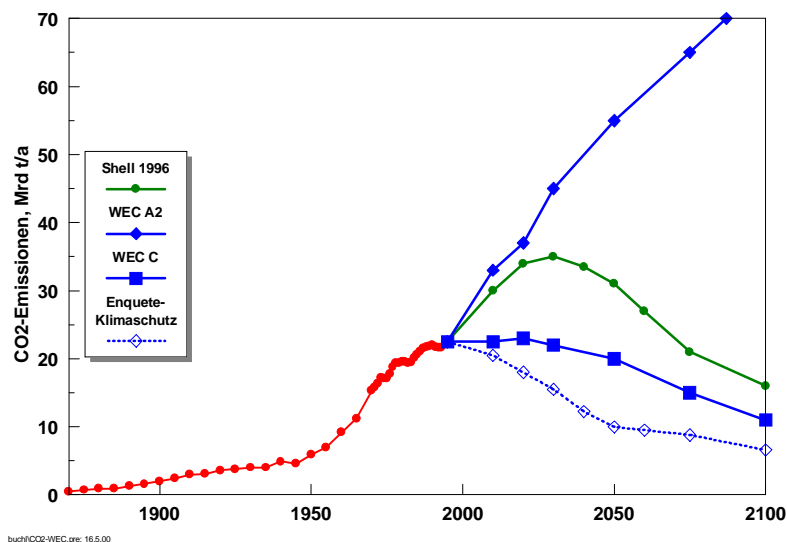


Bild 2: Die Entwicklung der globalen CO₂-Emissionen in verschiedene Szenarien des World Energy Council (WEC), im „Shell – Szenario“ und die Empfehlung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zur Reduktion der CO₂-Emissionen.

1.2 Nachhaltige Energieversorgung auch für Entwicklungsländer

Nachhaltigkeit umfasst mehr als nur den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen. Gerechtigkeit, soziale Stabilität und ausreichende Bildungschancen sind von ebenso großer Bedeutung, wenn der Menschheit der Weg in eine zukunftsfähige Gemeinschaft gelingen soll. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist die Verringerung des starken Wohlstandsgefälle zwischen Industrieländern und Entwicklungsländern. Unter dem Begriff „Entwicklungsländer“ werden aus statistischer Sicht 124 Länder zusammengefasst /UN 1998/, die sehr unterschiedliche Strukturen, Einkommensverhältnisse und entsprechend auch Energieverbräuche aufweisen. Darunter befinden sich relativ wohlhabende Länder, wie Südkorea oder Kuwait und äußerst arme Länder wie Mozambique oder Äthiopien. Um diese Unterschiede besser darstellen zu können, werden die Entwicklungsländer in drei Gruppen aufgeteilt entsprechend ihrer Rangfolge bei wichtigen Indikatoren wie Pro-Kopf-Einkommen und –Energieverbrauch, Bruttosozialprodukt, Bildungsstand, Lebenserwartung u.ä. Man unterscheidet hoch entwickelten (HDC), mittel entwickelten (MDC) und gering entwickelte Länder (LDC), (**Bild 3**).

Heute produziert und konsumiert 21% der Weltbevölkerung in den Industrieländern (IL) 83% der weltweiten Güter und Dienstleistungen (gemessen am Bruttoinlandsprodukt ihrer Volkswirtschaften), verbraucht dafür 70% der kommerziellen Primärenergie (sogar 75% der Elektrizität) und emittiert 63% der globalen CO₂-Emissionen

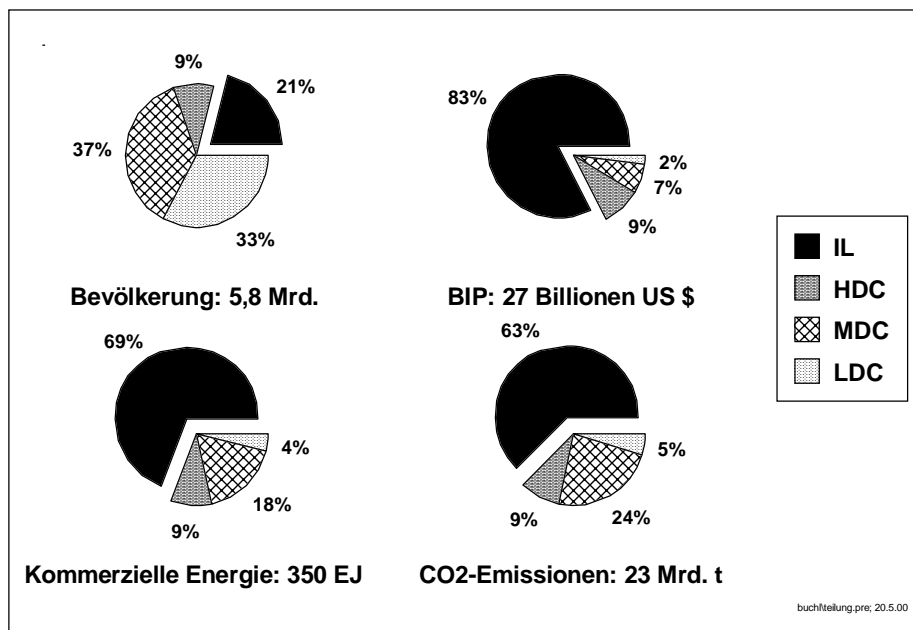


Bild 3: Kenndaten der zweigeteilten Welt im Jahr 1998 und ihre Aufteilung auf die Industrieländer und auf drei Gruppen von Entwicklungsländern

Dagegen müssen sich 33% der Weltbevölkerung in den ärmsten Ländern mit 2% des Wohlstands und 4% der kommerziellen Energie begnügen. Sie sind dafür auch nur für 5% der globalen CO₂-Emissionen „verantwortlich“. Die auf Gruppen bezogenen Durchschnittswerte glätten dabei noch die extremen Spreizungen der länderspezifischen Kennwerte. So verbraucht der Durchschnittsamerikaner 25-mal mehr Energie pro Kopf als der Durchschnittsafrikaner und liegt damit um das Fünffache über dem globalen Durchschnitt. Die ärmsten Länder (Äthiopien, Niger, Bangladesh u.a.) müssen dagegen mit einem **Hunderstel** der (kommerziellen) Energie eines Amerikaners auskommen. Auch der Durchschnittsdeutsche liegt mit rund 200 GJ/Kopf, a um das Dreifache über dem Weltdurchschnitt.

Aus der Sicht der Energieversorgung werden Entwicklungsländer gewöhnlich mit „dezentralen“, d.h. mit nur wenig ausgebauten oder nicht vorhandenen Versorgungsstrukturen gleichgesetzt, also mit isolierten Verbrauchern, die keinen Zugang zu einem Stromnetz haben und die wegen schlechter Verkehrsinfrastrukturen nur in geringem Maße über Öl verfügen, das dazu für die ländliche Bevölkerung meist unerschwinglich teuer ist. Tatsächlich leben rund zwei Drittel der Bevölkerung der Entwicklungsländer, 3 Mrd. Menschen, also die Hälfte der Menschheit so. Rund 2 Mrd. Menschen verfügen über keine Stromversorgung aus überregionalen oder dezentralen Stromnetzen. Dort ist auch der Verbrauch nichtkommerzieller Energie, also hauptsächlich von Brennholz für Kochzwecke, der auf rund 10% des globalen Energieverbrauchs geschätzt wird (IEA 1999) nahezu ebenso hoch wie der Verbrauch kommerzieller Energie. Viele Menschen in diesen Ländern verbringen einen großen Teil ihrer Zeit mit dem unproduktiven Sammeln von Brennholz. Selbst in den besser gestellten Entwicklungsländern beträgt der Verbrauch dieser nicht nachhaltigen „geernteten“ Biomasse immerhin noch 20 – 25% des Gesamtverbrauchs. Gleichzeitig befinden sich die Entwicklungsländer in einem unaufhaltsamen Trend der Verstädterung. Bereits in 15 Jahren werden die Hälfte ihrer Menschen (2015 nahezu 6 Mrd.) in Städten wohnen, die i. allg. deutlich größer sind, als die Weltstädte in der nördlichen Hemisphäre. Von den derzeit 15 Städten über 10 Mio. Einwohner befinden sich 11 mit zusammen 140 Mio. Menschen in den Entwicklungsländern, wobei Mexiko City, Sao Paulo und Bombay die größten sind. Im Jahr 2010 werden bereits mehr als 20 Städte dieser Größe mit dann 350 Mio. Menschen in den Entwicklungsländern zu finden sein. Eine weitere Mrd. Menschen wird in Städten mit über 1 Mio. Einwohner leben.

Diese Tendenzen sind auch für die Gestaltung der zukünftigen Energieversorgung von großer Bedeutung. Sie muss nämlich gleichermaßen für beide Bereiche nachhaltige Lösungsansätze anbieten. Auf der einen Seite gilt es, mit „angepassten“ dezentralen Technologien, wie Kleinwasserkraft, Photovoltaik, effizienter Biogas- und Biomassenutzung möglichst rasch die Grundbedürfnisse nach Energie für die Landbevölkerung auf der Basis regenerativer Energien sicherzustellen und damit auch den Urbanisierungstrend zu verlangsamen. Doch mit dezentralen Technologien allein wird man keine Energieversorgung aufbauen können. Auf der anderen Seite müssen deshalb ebenso dringlich große „zentrale“ Anlagen, also netzgekoppelte Windparks, Wasserkraftwerke in angemessener Größe und solarthermische Kraftwerke Teil einer nachhaltigen Entwicklungsstrategie sein. Um aber beide Säulen einer zukünftigen Energieversorgung gleichermaßen solide zu gestalten, ist die Effizienz der Umwandlung fossiler Energieträger, der Verteilung und erst recht der Nutzung von Energie in den Ballungsräumen und städtischen Regionen, aber auch in den ländlichen Gebieten von Entwicklungsländern deutlich zu steigern. Entwicklungsländer brauchen also auch heute schon möglichst moderne Energietechnologien, die sie nur mit Unterstützung der Industrieländer selbst herstellen oder erwerben können.

Die einzuschlagende Entwicklungsstrategie für eine nachhaltige globale Energieversorgung lautet daher zusammengefasst:

In den **Industrieländern** setzt bereits heute eine Umgestaltung der Energieversorgungsstrukturen in Richtung von mehr „Dezentralität“ ein, hervorgerufen durch technologische Entwicklungen, wie Gasturbinen und Motoren für Kleinkraftwerke mit hohem Wirkungsgrad, Brennstoffzellen, Windkraftanlagen, neuen Verfahren der Nutzung von Biomasse, wie z.B. Vergasung u.a. Unterstützt wird diese Entwicklung durch die rasante Entwicklung der Informationstechnologien und damit der vielfältigen Möglichkeiten der Regelung, Überwachung und Steuerung von vielen kleineren und vernetzten Energieanlagen. Diesen technologischen Trend gilt es durch kluge energiepolitische Rahmenbedingungen und Anreize für Investitionen in die entsprechen-

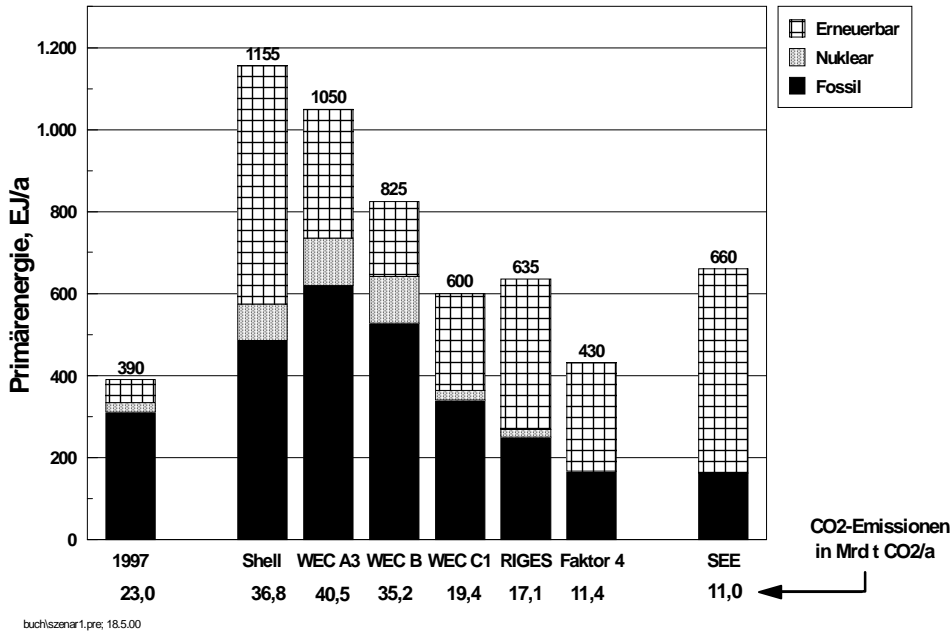
den Neuanlagen zu unterstützen. Auch die fortschreitende Liberalisierung der Energiemärkte schiebt in dieselbe Richtung. Sie verlangt nämlich geringere Kapitalbindung, kürzere Planungs- und Bauzeiten, höhere Flexibilität und Reaktionsfähigkeit. Alles zusammen genommen sind dies gute Voraussetzungen für den Ausbau und die Einbindung regenerativer Energien in die liberalisierten Energiemärkte der industrialisierten Welt.

In den **Entwicklungsländern** darf nicht die „gestrige“, weitgehend zentral strukturierte Energieversorgung der Industrieländer zum Vorbild werden. Die Alternative lautet auch nicht „zentral“ oder „dezentral“, sondern die richtige Strategie besteht in der zweckmäßigsten Vernetzung von Anlagen unterschiedlicher Größe und Leistung. Es muss von vornherein eine möglichst optimale Kombination von dezentralen und zentralen Energieversorgungstechniken und -strukturen aufgebaut werden. Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten regenerativer Energien fügen sich ideal in diese Strategie. Die Entwicklungsländer müssen mit kräftiger Unterstützung der Industrieländer den Weg zu einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Energieversorgung „abkürzen“ und erhalten damit eine bedeutende Chance, Entwicklungsdefizite aufzuholen.

1.3 Der Entwurf einer nachhaltigen globalen „solaren“ Energiewirtschaft

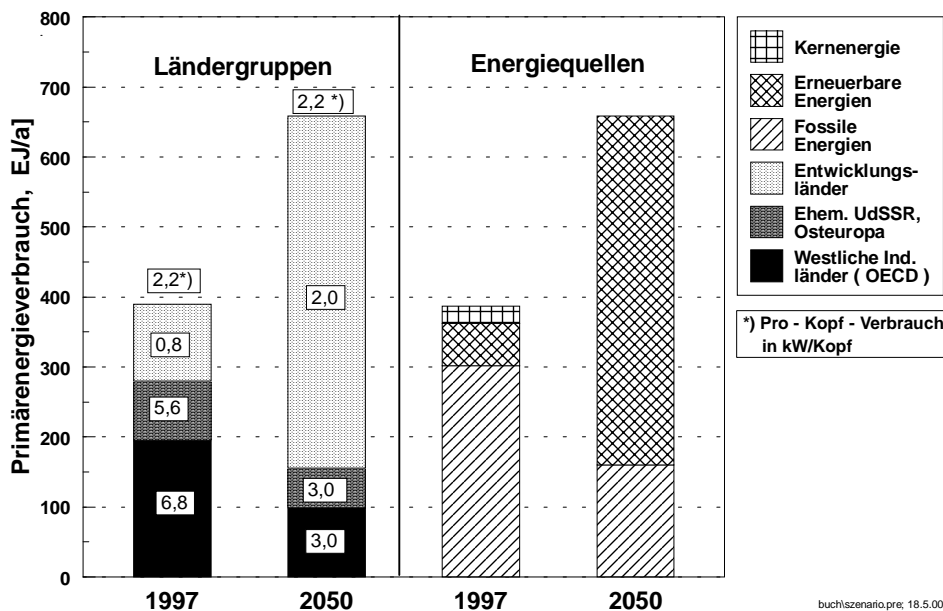
Derartige Überlegungen sind der Grund dafür, dass inzwischen die überragende Bedeutung regenerativer Energien für die zukünftige Energieversorgung weitgehend erkannt worden ist. Aktuellere Untersuchungen zum zukünftigen Weltenergieverbrauch gehen stets von beträchtlichen Beiträgen regenerativer Energien, zwischen 25 und 75%, am jeweiligen Energieverbrauchs zur Mitte des nächsten Jahrhunderts aus. Dieses Ergebnis ist unabhängig davon, welches Ausmaß an effizienterem Umgang mit Energie angenommen und mit welchem zukünftigen Beitrag der Kernenergie gerechnet wird, (**Bild 4**). Die wohl umfassendsten Analysen sind dabei durch den World Energy Council (WEC) durchgeführt und zuletzt 1998 in Houston diskutiert worden. Die WEC entwirft generell mehrere zukünftige Energieversorgungsstrukturen. Die Szenariofamilie A beschreibt einen stark wachstums- und angebotsorientierten Prozess mit reichlich und preiswerten Energien. Szenario B wird häufig als Trendszenario aufgefasst („so weiter wie bisher“), während die Szenarien der C-Familie Energiezukünfte beschreiben, die der Ressourcenschonung und dem Klimaschutz Vorrang geben. Sie machen sich damit Überlegungen zu eigen, die auch in den anderen Szenarien mit intensiver rationeller Energienutzung, wie sie im rechten Teil des Bildes dargestellt sind (RIGES, Faktor 4; SEE), ange stellt wurden. Wichtig ist die Erkenntnis, dass all diese Zukünfte aus technischer und struktureller Sicht möglich sind, aber ein unterschiedliches Maß an politischem Handeln und gesellschaftlicher Einsicht erfordern. Die C-Szenarien des WEC und die äquivalenten Zukunftsentwürfe zeigen, dass Klimaschutz, Risikominimierung und Angleichung der globalen Lebensbedingungen machbar und finanzierbar sind. Trotz des langen Zeithorizonts sind allerdings die wesentlichen Richtungsentscheidungen für den einzuschlagenden Zukunftspfad schon heute zu treffen, weil sich die in den Szenarien abgebildeten Strategien in wenigen Jahrzehnten wechselseitig ausschließen.

An den sich einstellenden CO₂-Emissionen des Jahres 2050 wird sichtbar, dass Zukunftsentwürfe, welche die Wachstumsdynamik der Vergangenheit in den Industrieländern fortschreiben und diese auch auf die Entwicklungsländer übertragen (Shell, WEC A, WEC B), trotz hoher Beiträge der regenerativen Energien das Klimaschutzziel verfehlen. Ihre CO₂-Emissionen liegen im Jahr 2050 um 60 bis 80% über den heutigen Werten. Diese Tatsache unterstreicht die enorme Bedeutung eines weltweit wesentlich sparsameren Umgangs mit Energie - speziell in den Industrieländern mit ihrem hohen Pro-Kopf-Verbrauch - wie ihn die Szenarien WEC C, RIGES und Faktor 4 annehmen. Die Beiträge regenerativer Energien im Jahr 2050 reichen bis zu 580 EJ/a (Shell-Szenario), was deutlich mehr als der gesamte derzeitige Weltenergieverbrauch



buchszszenario, pre, 18.5.00

Bild 4: Aktuelle Szenarien des Weltenergieverbrauchs für das Jahr 2050 und Vergleich mit dem derzeitigen Verbrauch (Weltbevölkerung 2050: 9,5 Mrd; Shell = Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ /Shell 1995/; WEC = World Energy Council 1995 und 1998 /WEC 1995, 1998/; RIGES = „Renewable intensive Global Energy Scenario“ /Johansson et.al 1993/; Faktor 4 = Szenario aus /Lovins, Hennicke 1999/; SEE = „Solar Energy Economy“, eigene Berechnungen, 1999)



buchszszenario, pre, 18.5.00

Bild 5: Struktur des globalen Primärenergieverbrauchs 1997 und des Szenarios „Solare Energiewirtschaft (SEE)“ für das Jahr 2050 nach Ländergruppen (links) und Energiequellen (rechts). Die Zahlenwerte in den Kästen der linken Seite stellen die jahresdurchschnittliche Pro-Kopf-Leistung in kW in der jeweiligen Ländergruppe dar.

ist. In den Effizienzscenarien werden dagegen „nur“ 400 bis 500 EJ/a benötigt, im Szenario Faktor 4 mit rigorosen Verbrauchsreduktionen sogar nur 270 EJ/a. Solche Beiträge der regenerativen Energien sind aus technischer und struktureller Sicht durchaus bereitstellbar. Da allerdings derzeit nur etwa 30 EJ/a regenerative Energien in nachhaltiger Form erzeugt werden – ein Teil der heutigen, nicht nachhaltigen Biomassenutzung muss ebenfalls ersetzt werden – gehen alle Szenarien von enormen und lang anhaltenden Wachstumsraten regenerativer Energien aus, damit auch tatsächlich ihr Beitrag innerhalb eines halben Jahrhunderts auf das gewünschte Niveau gesteigert werden kann.

Am Beispiel des in **Bild 5** mit SEE („Solar Energy Economy“) bezeichneten Zukunftsentwurfs kann gezeigt werden, welche Anstrengungen und Strukturveränderungen auf globaler Ebene erforderlich sind um der zweifachen Zielsetzung nach ökologischer und sozialer Verträglichkeit gerecht zu werden. Es gilt gleichzeitig, den „Überfluss“ an Energie in den meisten Industrieländern, als auch ihren „Mangel“ in den Entwicklungsländern zu bekämpfen. Diese Strategie geht davon aus, dass eine Angleichung der Lebensverhältnisse – ausgedrückt im Bild 5 durch den Pro-Kopf-Verbrauch an Primärenergie – zwischen Industrie- und Entwicklungsländern stattfinden wird.

Erstere können mit modernen Energienutzungstechniken und strukturellen Maßnahmen ihren absoluten Energieverbrauch – bei noch wachsender Nachfrage nach Energiedienstleistung – auf etwa die Hälfte verringern und lassen so genügend Spielraum für eine Vervierfachung des Energieverbrauchs in den Entwicklungsländern. Insgesamt steigt so die globale Nachfrage nach Primärenergie proportional zur wachsenden Zahl der Menschen, also um rund 70%, (linke Seite in Bild 5) auf dann 660 EJ/a bis zum Jahr 2050. Davon entfallen dann auf die Entwicklungsländer 75%. Auch sie durchlaufen bei diesem Auf- und Umbau ihrer Energieversorgung einen Übergang zu wesentlich effizienteren Energiewandlungs- und Nutzungsstrukturen. Unsinnige Energieverschwendung infolge veralteter Kraftwerke mit schlechtem Wirkungsgrad, Verteilnetzen mit hohen Verlusten und unzulänglicher, schlecht gewarteter Geräte und Fahrzeuge gehören dann der Vergangenheit an. Gleichzeitig sollen die globalen CO₂-Emissionen halbiert werden ohne dass die risikoreiche und missbrauchsfähige Technologie Kernenergie an die Stelle fossiler Energien tritt. Dies erfordert, dass der Beitrag umweltverträglich genutzter regenerativer Energien gegenüber heute um das Fünzfache auf rund 500 EJ/a wächst. Das sind 30% mehr als der gesamte derzeitige Weltenergieverbrauch und macht deutlich, vor welcher großen Herausforderungen die Menschheit steht.

1.4 Die Rolle regenerativer Energien in der globalen Stromversorgung

Die zukünftige Rolle der regenerativen Energien im globalen Energiesystem kann besonders gut am Beispiel der Deckung der Stromnachfrage gezeigt werden. Strom ist ein stark nachgefragter Energieträger, weil er in vielen Anwendungsbereichen unverzichtbar ist und universell genutzt werden kann. Entsprechend hoch ist der Verbrauch in den Industrieländern. Sie verbrauchen 75% des weltweiten Stroms - die USA allein 26%, die EU 17%, die übrigen westlichen Industrieländer (OECD) 19% und die östlichen Industrieländer 12% (**Bild 6**), im Durchschnitt jährlich 9 000 kWh/Kopf. Erst in den letzten Jahren ist eine gewisse Dämpfung der Zuwachsraten eingetreten. Wegen des großen Nachholbedarfs der Entwicklungsländer – ein Mensch in diesen Ländern muss jährlich mit durchschnittlich 780 kWh/Kopf auskommen - muss deshalb gerade hier mit einem besonders starken Wachstum gerechnet werden. Dies gilt auch, wenn man große Einsparmöglichkeiten bei der Nutzung dieses Energieträgers mittels moderner Geräte und Motoren unterstellt. Viele Szenarien gehen daher bereits bis zum Jahr 2020 von einer Verdopplung des weltweiten Stromverbrauchs aus. Die Annahmen im

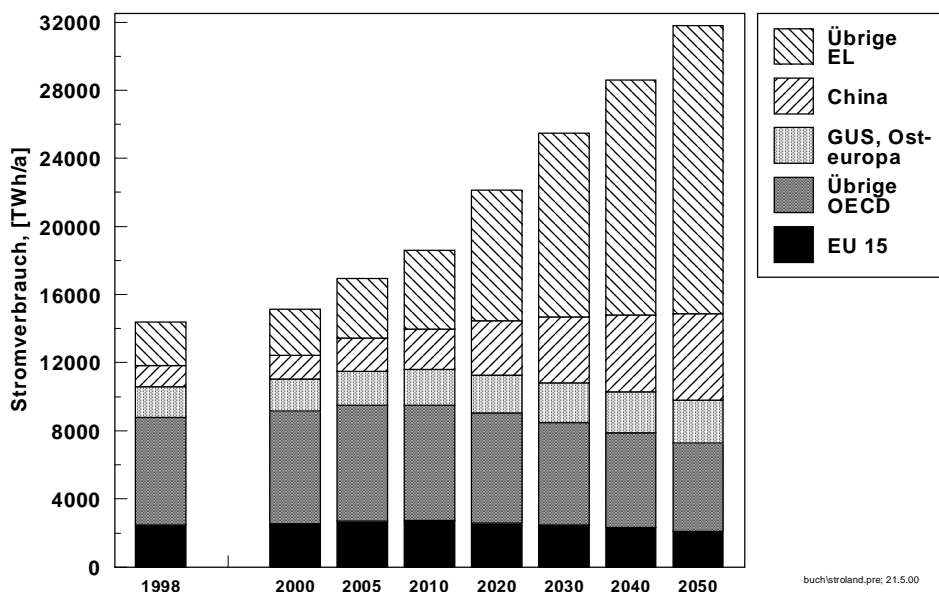


Bild 6: Globale Stromerzeugung nach Ländergruppen 1998 und von 2000 bis 2050 im Rahmen des Szenarios: „SEE“.

Tabelle 1: Beitrag einzelner Energiequellen an der globalen Stromerzeugung im Rahmen des Szenarios. „SEE“ zwischen 2010 und 2050

Energiequelle (in TWh/a)	1998	2010	2020	2030	2040	2050
Kohlen	5 621	7 310	7 350	6 450	4 800	2 700
Öl und Erdgas	3 570	4 883	5 500	5 800	6 000	6 100
Kernenergie	2 480	2 100	1 460	770	0	0
Wasserkraft	2 635	3 555	4 100	4 500	4 900	5 400
Andere REG	94	752	3 740	7 980	12 900	17 600
Gesamterzeugung	14 400	18 600	22 150	25 500	28 600	31 800
Gesamt REG	2 729	4 307	7 840	12 480	17 800	23 000
Anteil REG %	19	23	35	49	62	72
Durchschnittliche Wachstumsrate , %/a		17	16	8	5	3

Szenario „SEE“ zur globalen Stromversorgung setzen deshalb folgerichtig bei einem sehr effizienten Stromeinsatz in den Industrieländern an mit einer Reduzierung des Pro-Kopf-Stromverbrauchs um 30% bis 2050 sowie von einem beträchtlichen Zuwachs in den Schwellen- und Entwicklungsländern. Sie erreichen so eine reichliche Verdreifachung ihres jährlichen Pro-Kopf-Verbrauchs bis 2050, trotzdem verbrauchen sie auch dann noch mit durchschnittlich 2 800 kWh pro Jahr nur knapp die Hälfte an Strom wie ein Mensch aus den Industrieländer.

Der gesamte globale Stromverbrauch steigt so bis 2050 „nur“ auf das 2,2-fache des heutigen Wertes, nämlich auf 31 800 TWh/a.

Bedeutendster Energieträger bei der Stromversorgung ist heute mit 40% Anteil die Kohle. Ihre Verbrennung allein bewirkt rund 25% der globalen CO₂-Emissionen (und 85% der insgesamt durch die Stromerzeugung hervorgerufenen Emissionen). Diese Rolle wird die Kohle selbst bei großen Anstrengungen zur Mobilisierung von regenerativen Energien auch für die nächsten 30 Jahre beibehalten (Tabelle 1), da in einigen Regionen Kohle reichhaltig und preiswert zur Verfügung steht und daher dort ihre verstärkte Nutzung Vorrang vor ökologischen Erwägungen hat. Eines dieser Länder ist China, dessen Stromverbrauch bereits heute beträchtlich wächst; er wird sich im Szenario SEE bis 2050 vervierfachen. Aber auch die Stromerzeugung aus Gas, die sehr effizient erfolgen kann, wird an Bedeutung gewinnen und kann längerfristig die Kohle vom ersten Platz der fossilen Energieträger verdrängen. Entsprechend der Zielsetzung des Szenarios geht der Beitrag der Kernenergie kontinuierlich bis zum Jahr 2040 auf Null zurück, da keine neuen Kraftwerke mehr errichtet werden. Aus diesen Zielvorgaben des Szenarios ergeben sich die Anforderungen für den notwendigen Beitrag der regenerativen Energien an der zukünftigen globalen Stromversorgung. Die erforderlichen Wachstumsraten sind sehr anspruchsvoll. Für eine rechtzeitige und angemessene Mobilisierung regenerativer Energien müssen diese bis zum Jahr 2020, also 20 Jahre lang, mit jährlichen Wachstumsraten von durchschnittlich 16 bis 17 %/a wachsen. Sie decken dann ein Drittel des Strombedarfs. Danach genügen Wachstumsraten unter 10 %/a, die zwischen 2040 und 2050 auf 3 %/a bei allerdings hohem absolutem Niveau sinken können, damit mit rund 70% Anteil im Jahr 2050 regenerative Energien zur dominierenden Energiequelle des nächsten Jahrhunderts werden. Solche Wachstumsraten sind bei günstigen Rahmenbedingungen durchaus möglich. So ist der Weltmarkt für Windkraftanlagen in den letzten 10 Jahren durchschnittlich um über 30 %/a gewachsen.

Von wesentlicher Bedeutung für eine erfolgreiche Erschließung der Stromerzeugungskapazitäten regenerativer Energien ist eine zeitlich und ökonomisch aufeinander abgestimmte Mobilisierung **aller Technologien**. Energiewirtschaftlich bedeutsame Beiträge können kurzfristig (d.h. bis 2010) nur von Technologien erbracht werden, die nahezu wettbewerbsfähig sind und bereits heute merkliche Beiträge leisten. Neben der Wasserkraft sind dies im nationalen wie im globalen Maßstab insbesondere die Windenergie und die Biomasse. Notwendig ist es aber auch, alle anderen Technologien in dem Ausmaß in den Markt einzuführen, dass sie nach 2010 mit energiewirtschaftlich relevanten Beiträgen an der zukünftigen Strombedarfsdeckung teilnehmen können. Für die Stromerzeugung aus Erdwärme und Solarwärme verlangt dies den Bau einer größeren Anzahl von Kraftwerken innerhalb des nächsten Jahrzehnts und spätestens ab 2010 die selbstverständliche Teilnahme am weltweiten Kraftwerkmarkt. Der Markt für Photovoltaik muss derart wachsen, dass bis 2020 ein Anteil von 1% an der globalen Stromerzeugung erreicht werden kann. Nur dann ist sichergestellt, dass die Potenzialerschließung zügig genug abläuft, um die obigen Wachstumsraten der regenerativen Energien über mehrere Jahrzehnte aufrechterhalten zu können.

Eine aufeinander abgestimmte Erschließung aller Technologien ist auch erforderlich, um die ständige Verfügbarkeit von Strom bei hohen Anteilen regenerativer Energien an der Stromversorgung möglichst ökonomisch sicherstellen und den Aufwand für Reserve- und Ausgleichsleistung möglichst gering halten zu können. Auch nicht verwertbare Überschussleistungen aus Wind- und Solarstrom bzw. größere Speichermaßnahmen sollten vermieden werden. Dies gelingt durch die Kombination aller Technologien mit ihren sehr unterschiedlichen Angebotscharakteristika und durch eine möglichst großräumige Vernetzung der zahlreichen Anlagen, etwa innerhalb eines europäischen Stromverbundes, der neben der dezentralen Einspeisung auch

den Stromtransport aus Gebieten hohen und sehr gleichmäßigen Angebots an regenerativen Energien enthält. Dafür infrage kommen Offshore - Windkraft, Wasserkraft aus Skandinavien oder Solarstrom aus Südeuropa und Nordafrika /TAB 1999/.

Beachtet man dieser Kriterien und berücksichtigt die Überlegungen anderer globaler Szenarien, so kann der Ausbau regenerativer Energien in obigem Szenario SEE die in **Bild 7** dargestellte Struktur annehmen. Der weitere Ausbau der Wasserkraft orientiert sich bis 2020 an den Vorstellungen der Internationalen Energieagentur /IEA 1998/. Danach verlangsamt sich ihr Zubau aus Potenzialgründen; insgesamt verdoppelt sich ihr Beitrag bis 2050 gegenüber dem derzeitigen Beitrag von 2 635 TWh/a. Die Wasserkraft bleibt damit die nächsten 40 Jahre die bedeutendste Quelle regenerativer Energien für die Stromerzeugung und liefert dann immer noch 17% der globalen Stromerzeugung.

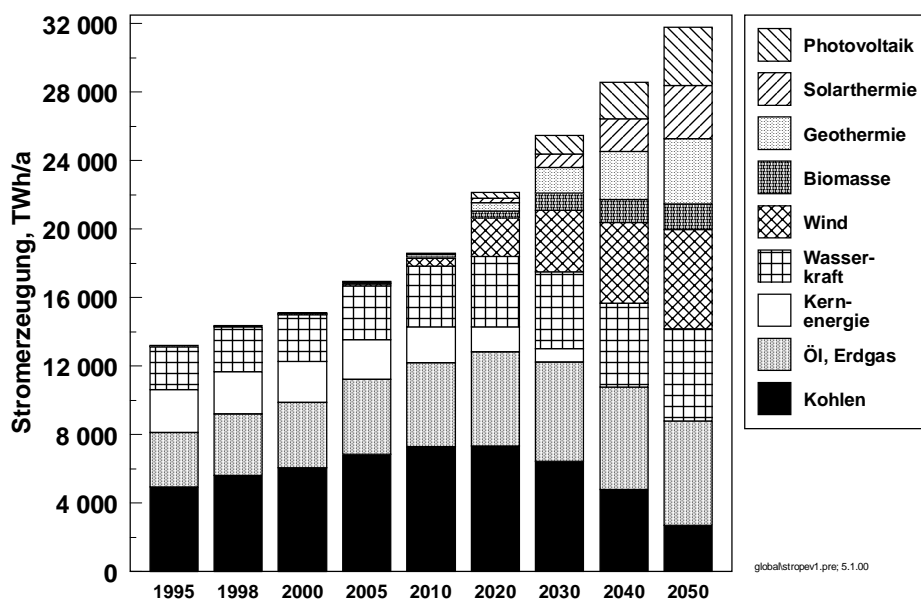


Bild 7: Wachstum des Beitrags der regenerative Energien an der globalen Stromerzeugung im Szenario: „Solare Energiewirtschaft“ bis 2050

Eine sich äußerst dynamisch entwickelnde Energietechnologie ist die Windenergie mit jährlichen weltweiten Zuwachsraten von rund 3 700 MW/a (1999). Im Szenario SEE orientiert sich ihr Zuwachs am Ziel eines 10%igen Anteils an der globalen Stromversorgung des Jahres 2020 wie es die Europäische Windenergie Vereinigung (EWEA) vorrechnet /Wind 1999/. Einschließlich Offshore - Anlagen entspricht dies zu diesem Zeitpunkt einer installierten Leistung von 900 GW. In Weiterführung dieser Wachstumsdynamik schließt die Windenergie mit abklingenden Zuwachsraten bis zum Jahr 2040 zur Wasserkraft auf und übertrifft sie im Jahr 2050 mit einem Beitrag von 5 800 TWh/a bzw. 2 200 GW. Ihr Beitrag zur globalen Stromerzeugung beläuft sich dann auf 18%.

Die weitere und verstärkte Etablierung von Biomasse und Erdwärme verlangt bis 2010 Wachstumsraten um 10 %/a, was sich angesichts ihrer günstigen ökonomischen Daten und ihrer technologischen Reife relativ leicht bewerkstelligen lässt, wenn entsprechende energiepolitische Prioritäten gesetzt werden. Bei der Biomasse handelt es sich dabei zum einen um die Zufeuerung in bestehenden Kohlekraftwerken, zum andern um den verstärkten Aufbau dezentraler Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung einschließlich der Brennstoffzelle auf der Basis von (überwiegend) Holz und Biogas. Der Ausbau der Erdwärme verlangt neben der weiteren Er-

schließung günstiger geologischer Vorkommen, wie z.B. in Island, Italien und den USA, den zügigen Einstieg in die Stromerzeugung auf der Basis der „Hot-Dry-Rock (HDR)“ – Technik. Die Stromerzeugung aus Biomasse und Erdwärme ist wegen ihrer gesicherten Verfügbarkeit, ihrer hohen jährlichen Ausnutzungsdauern und ihrer relativ geringen Kosten von großer Bedeutung für eine wirksame Erschließung des Strommarktes durch regenerative Energien. Für die Biomasse klingt nach 2030 aus Potenzialgründen der Zuwachs ab, was zu einem maximalen Anteil der Stromversorgung aus Biomasse von 1 500 TWh/a (knapp 5%) bzw. 375 GW im Jahr 2050 führt. Im Gegensatz dazu kann aufgrund des beträchtlichen Potenzials der HDR-Stromerzeugung bei einmal etablierter Technologie von einem weiteren Wachstum ausgegangen werden, was sie mit 3 800 TWh/a (600 GW) im Jahr 2050 zu einer wichtigen Säule einer auf regenerative Energien basierenden Stromversorgung macht. Sie stellt dann 12% der globalen Stromerzeugung.

Der Beitrag der solaren Strahlungsenergie ist mit derzeit 2 TWh/a noch nahezu vernachlässigbar. Langfristig muss sie jedoch aufgrund der praktisch „unbegrenzten“ Potenziale die Hauptlast einer globalen Energieversorgung tragen. Die Technologien zu ihrer Nutzung müssen daher mit sehr großer Intensität erschlossen werden, um innerhalb der nächsten Jahrzehnte einen angemessene Rolle im „Konzert“ der regenerativen Energien einnehmen zu können. Dabei werden beide Technologien – die solarthermische und die photovoltaische Stromerzeugung – benötigt. Für die solarthermische Stromerzeugung sprechen die bereits heute sehr günstigen Stromgestehungskosten im rein solaren Betrieb von unter 20 Pf/kWh und die Möglichkeit der günstigen Einpassung in bestehende Kraftwerks- und Verbundnetzstrukturen, da sie auch mit fossiler Zufeuerung betrieben werden können. Längerfristig ist die gesicherte Verfügbarkeit des (thermisch gespeicherten) Stroms von großer Bedeutung. Die Photovoltaik profitiert von ihrer enormen Flexibilität hinsichtlich Leistungsgröße sowie von ihrer Robustheit, ihrer langen Lebensdauer und Wartungsarmut. In Teilmärkten wie der netzfernen Stromversorgung ist sie schon heute wettbewerbsfähig. Längerfristig treten die beachtlichen Kostensenkungspotentiale aufgrund wachsender Märkte und technologischer Fortschritte hinzu.

Beide Technologien ergänzen sich daher in sehr günstiger Weise bei der notwendigen intensiven Erschließung der Potenziale der solaren Strahlungsenergie, speziell in den vielfach einstrahlungsreichen Entwicklungsländern /TAB 1999/. Sie wachsen daher im Szenario SEE mit vergleichbaren Wachstumsraten. Für solarthermische Kraftwerke liegen konkrete Zubaukonzepte bis zum Jahr 2010 vor /Trieb 1998/, die als Grundlage benutzt werden. Demnach wird bei durchschnittlichen Marktwachstumsraten um 25%/a mit 250 TWh/a (bzw. 70 GW) die 1%-Marke im Jahr 2020 überschritten. Ein weiteres kontinuierliches Wachstum von ca. 10%/a führt zu einem Beitrag dieser Technologie von 3 100 TWh/a bzw. 600 GW im Jahr 2050. Solarthermische Kraftwerke tragen dann mit 10% zur globalen Stromversorgung bei. Vergleichbare Ziele – also Überschreiten der 1%-Marke im Jahr 2020 und der 10%-Marke im Jahr 2050 – können im Rahmen dieses Szenarios für die Marktentwicklung der Photovoltaik gesetzt werden. Dies erfordert ein mittleres globales Marktwachstum bis 2010 von 30 %/a, von 15 %/a zwischen 2010 und 2020 und von weiteren 4 %/a auf hohem Niveau in den darauffolgenden 30 Jahren. Der Beitrag der PV an der globalen Stromversorgung erreicht auf diese Weise bis 2010 eine Leistung von 26,5 GW (1999 waren es etwas mehr als 1 GW), im Jahr 2020 bereits von 240 GW und im Jahr 2050 von 2 400 GW und deckt dann 10% des globalen Strombedarfs. Die in jüngster Zeit aufgetretenen Wachstumsraten des globalen Photovoltaikmarktes von rund 30%/a unterstützen diese Wachstumsvorstellungen und zeigen, dass sie aus technologischer und logistischer Sicht möglich sind, wenn entsprechende günstige energiepolitische Rahmenbedingungen geschaffen werden.

1.5 Gegenwärtige politische und unternehmerische Aktivitäten zum Klimaschutz.

Der Ausbau regenerativer Energien auf globaler Ebene hält allerdings mit den derzeitigen Wachstumsraten des Energieverbrauchs (noch) nicht Schritt. Zwischen den langfristigen Erwartungen der Szenarien und den derzeitigen Gegebenheiten bestehen unübersehbare Widersprüche. Wirkungsvolle Ansätze in Richtung deutlich wachsender Anteile regenerativer Energien am Energieverbrauch beschränken sich auf wenige Länder. Dazu gehören z.B. Dänemark mit seinem „Energieplan 2030“ und neuerdings auch Deutschland. Als anerkanntes Minimalziel für einen wirkungsvollen Einstieg gilt inzwischen eine Verdopplung des Beitrags regenerativer Energien bis zum Jahr 2010. Die europäische Union hat sich dieser Zielsetzung inzwischen ebenfalls in einem Weißbuch verschrieben, eine wirkungsvolle Umsetzung ist jedoch noch nicht in Gang gekommen. Damit ist aber erst in Ansätzen erkennbar, wie die erforderliche globale Wachstumsdynamik der regenerativen Energien rechtzeitig in Gang kommen könnte.

Ein wichtiger politischen Anknüpfungspunkt, diese Dynamik zu beschleunigen, stellen die international vereinbarten Schritte zum Schutz des Weltklimas dar. Für die europäischen Staaten sind auch die energiepolitischen Vorstellungen der Europäischen Union von großer Bedeutung. Die wichtigsten internationalen Beschlüsse, die den weiteren Ausbau regenerativer Energien stark beeinflussen werden, sind die Klimarahmenkonvention von 1992, das Kioto-Protokoll von 1997 und die Vertragsstaatenkonferenzen.

Im allgemeinen wird die Nutzung regenerativer Energien und die Produktion der entsprechenden Anlagen mit kleineren, mittelständischen Unternehmen in Verbindung gebracht. Für die in den letzten Jahren entstandene „Windindustrie“ trifft dies auch zu. Gut ein Dutzend Hersteller allein in Deutschland teilen sich zur Zeit diesen Markt, nachdem Ende der siebziger Jahre der Einstieg großer Firmen mit dem missglückten Konzept des GROWIAN (Großwindkraftanlage) gescheitert war. Mit steigenden Umsätzen zeichnen sich aber auch hier bereits Konzentrationsprozesse ab. Auch Kollektor- und Biomasseanlagen werden überwiegend noch von kleineren bis mittleren Unternehmen gebaut. Von großer Bedeutung für die bisherige Entwicklung der Märkte für regenerative Energien ist auch, dass in der Pionierphase weitgehend private und gesellschaftliche Akteure, wie Umweltverbände, Bürgerinitiativen, Teile der Kirchen u.a. die ernsthafte Nutzung regenerativer Energien eingeleitet und am Leben erhalten haben, oft genug gegen den Widerstand der Industrie und gegen die Gleichgültigkeit von Regierungen.

Aber auch „Global Players“, engagieren sich schon seit einiger Zeit im Bereich regenerativer Energien auf internationaler Ebene. Von großem Einfluss sind dabei die in der Energiewirtschaft tätigen Konzerne. Da vor allem für eine kostengünstige Produktion von Solarzellen größere Fabriken mit entsprechenden Investitionen erforderlich sind und diese Märkte erst längerfristig Gewinnchancen besitzen werden, ist diese Technologie das bevorzugte Betätigungsfeld großer Konzerne. Die drei größten Mineralölkonzerne, Shell, BP/Amoco und Exxon verkaufen 25% der weltweiten Mineralölprodukte und haben einen jährlichen Umsatz von 340 Mrd. US\$ (1997). Zwei von ihnen, Shell und BP/ Amoco sind bereits vor einigen Jahren in regenerative Energien eingestiegen und haben entsprechende Geschäftsbereiche aufgebaut.

Shell gründete 1997 die Tochterfirma „Shell International Renewables“ und will mit ihr einen globalen Marktanteil von 10% in der Solarenergie bis 2005 erreichen. Geplant sind Investitionen von 500 Mio. US\$ über die nächsten fünf Jahre. Der Konzern ist überzeugt, „dass regenerative Energien im Jahr 2020 zwischen fünf und zehn Prozent des Weltenergiebedarfs decken können und dass dieser Anteil bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts auf über 50% ansteigen könne.“ /Shell 1998; Vgl. Shell-Szenario in Bild 5). Shell konzentriert sich vor allem auf Solarzellen und Biomasseplantagen und interessiert sich neuerdings auch für Offshore-Windanlagen. In Gelsenkirchen hat die Deutsche Shell mit öffentlicher Unterstützung eine So-

larzellenfabrik errichtet, deren Jahresproduktion auf 25 MW ausgerichtet ist. In den Niederlanden wird Shell demnächst jährlich 10 MW Solarzellen herstellen. Da der Weltumsatz zur Zeit 200 MW/a beträgt, hat sich Shell hiermit bereits einen wesentlichen Marktanteil gesichert. Bei der Biomasse war Shell ebenfalls der Vorreiter bei den Ölkonzernen. Shell besitzt 210 000 ha Land, auf 135 000 ha wiederaufgeforsteten Gebieten werden schnellwachsende Hölzer angebaut, mit dem Ziel sie „energetisch und stofflich“ zu verwerten und dabei Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit beim der Produktion zu erhalten. Shell geht davon aus, dass „bis zum Jahr 2050 der Weltenergieverbrauch von Biomasse für die Stromerzeugung einen ähnlichen Umfang wie heute Öl und Gas haben kann.“

Auch BP/Amoco ist seit längerem im Solarzellengeschäft tätig. BP Solar ist eine der weltgrößten Solarfirmen mit einem Umsatz von derzeit 100 Mio. US\$ und besitzt Solarzellenfabriken in Kalifornien und Australien. Bisher wurden bereits 320 Mio. US\$ investiert. Letztere soll auf eine Kapazität von jährlich 50 MW aufgebaut werden. Seit der Abfassung des Kioto Protokolls verstärkt der Konzern seine Aktivitäten. Er will die CO₂-Emissionen seiner eigenen Anlagen bis 2010 um 10% senken. Die zukünftige Entwicklung der regenerativen Energien sieht BP/Amoco ähnlich wie Shell. Bis zum Jahr 2007 rechnet BP/Amoco mit einem Umsatzvolumen im Solarzellenbereich von rund 1 Mrd. US\$. BP/Amoco sieht günstige Wachstumschancen im Solarmarkt auch unabhängig von klimapolitischen Entwicklungen, da sich die Photovoltaik mit neuen Technologien vor allem als Bauelement an Gebäuden durchsetzen werde. Doch es gibt auch andere Einschätzungen. So steht der Exxon-Konzern klar auf der Seite der Klimaskeptiker und betätigt sich aktiv dabei, wirksame Schritte in der Klimapolitik der USA zu verhindern. Auch hält Exxon die regenerativen Energien nicht für eine akzeptable Zukunftsenergie.

Die positiven Einschätzungen einiger Konzerne zur Zukunft regenerativer Energien werden aus zwei Quellen gespeist. Zum einen ist es die Erkenntnis, dass nur eine aktive Strategie rechtzeitig neue Geschäftsfelder erschließen kann, die in der Lage sind, „Ersatztechnologien“ für das sich abzeichnende Ende des „Ölzeitalters“ bereitzustellen. Es ist also eine kluge Strategie betrieblichen Überlebens, wenn man sich früh dieser Herausforderung stellt und damit wesentlich mitentscheidet, wie schnell und in welcher Form diese Märkte entstehen. Zum anderen wird zunehmend auch die moralische Verantwortung akzeptiert, die sich daraus ergibt, dass die Mineralölkonzerne in der Vergangenheit beträchtliche Gewinne mit dem Verkauf von Mineralölprodukten erwirtschaftet haben bei unzulänglicher Beachtung der damit angerichteten Schäden für Klima und Umwelt. Diese moralische Verantwortung wird in immer stärkerem Maße auch von den Kunden und von einem Teil der Aktionäre eingeklagt (vgl. Boykottaufruf anlässlich der beabsichtigten Versenkung der Ölplattform „Brend Spar“).

Es ist deshalb wichtig, diese Tendenzen politisch zu unterstützen und die Konzerne zu ermutigen, den begonnenen Weg weiter zu beschreiten. Aufgrund der wirtschaftlichen Stärke und der transnationalen Aktivitäten der Ölkonzerne kann eine Klimapolitik nur dann erfolgreich sein, wenn auch sie eine aktive Rolle bei der Bewältigung des Klimaproblems übernehmen. Ähnliches gilt auch für die Stromkonzerne, die aufgrund ihrer Konzentrations- und Fusionstendenzen ebenfalls in die Rolle transnationaler Akteure hineinwachsen und damit ganz wesentlich eine Strategie des Ausbaus regenerativer Energien negativ oder positiv beeinflussen können. Je rascher sich die Nutzung regenerativer Energien in den Industrieländern ausbreitet, desto glaubwürdiger und wirkungsvoller lässt sich diese Strategie auch auf die Entwicklungsländer übertragen, wozu die Handlungsspielräume der großem Konzerne benötigt werden. Die Energiepolitik wird sich deshalb nur dann erfolgreich in Richtung Nachhaltigkeit entwickeln, wenn versucht wird, die gemeinsamen Interessen und Chancen einer verstärkten Nutzung regenerativer Energien für Wirtschaft und Gesellschaft herauszuarbeiten und diese in einem ausbalancierten Verhältnis von politischen Vorgaben und unternehmerischem Handeln umzusetzen.

2. Die Zukunft der regenerativen Energien in Deutschland²

2.1 Heutiger Beitrag regenerativer Energien und die Förderung ihrer Markteinführung

Strom aus Wasserkraft und Windenergie sowie Wärme aus der Biomasse kennzeichnen heute die Energieversorgung aus regenerativen Energien in Deutschland (**Tabelle 2**). Die Beiträge der übrigen Technologien sind noch sehr gering. Mehr als diese Momentaufnahme zeigen jedoch die wachsenden Märkte, wie viel Bewegung in die Nutzung regenerativer Energien gekommen ist. Die Windenergie wächst zur Zeit mit atemberaubenden 50%/a, an Solarzellen werden jedes Jahr 30% mehr verkauft, bei Kollektoren sind es immerhin noch 20% je Jahr. Ursache für diese Wachstumsdynamik sind vor allem die in den letzten zwei Jahren deutlich verbesserten Rahmenbedingungen für die Markteinführung dieser Energieformen.

Tabelle 2: Beiträge der regenerativen Energien an der Stromerzeugung und am Verbrauch von Brennstoffen im Jahr 1999

Energietechnologie, Energiequelle	Elektrizität [GWh]	Wärme [GWh]
Wasserkraft	18 900	
Windenergie	8 500	
Photovoltaik	52	
Feste Biomasse (Holz, Stroh)	213	13 460
Bio-, Klär-, Deponiegas, Rapsöl	800	600
Solarthermische Kollektoren		900
Erdwärme		110
Summe	28 465	15 070
Anteile an gesamter Erzeugung [%]	5,6	1,1

Damit überhaupt nennenswerte Investitionen in regenerative Energien getätigt werden, müssen die gegenüber der bestehenden Energieversorgung bestehenden Differenzkosten entweder durch öffentliche Förderprogramme oder gesetzlich festgelegte Vergütungen aufgebracht werden. Daneben sind jedoch auch viele Bürger bereit, freiwillig mehr für solaren Strom oder solar erwärmtes Wasser zu bezahlen. Auch die Energieversorgungsunternehmen selbst können zusätzliche Mittel bereitstellen. Alle Wege wurden in der Vergangenheit beschritten. Bis 1997 gab es allerdings auf Bundesebene nur ein wirksames Markteinführungsinstrument - das Stromeinspeisungsgesetz (StrEG). Die damit mobilisierten Mittel kamen hauptsächlich der Windenergie zugute, Strom aus Wasserkraft und Biomasse folgten mit deutlichem Abstand. Relativ unbedeutend war das 100-Mio.-DM-Programm des Bundeswirtschaftsministeriums im Zeitraum 1994 -1998. Dank der Förderprogramme der Bundesländer, der Aktivitäten vieler Kommunen und beachtlicher freiwilliger Aufwendungen von Bürgern konnten jedoch auch die übrigen Technologien ihre Marktanteile vergrößern. Insgesamt wurden so im Jahr 1997 immerhin rund 750 Mio. DM zur Förderung der Markteinführung eingesetzt, davon kamen 280 Mio. DM aus dem StrEG und 245 Mio. DM von den Bundesländern.

² In diesem Abschnitt wird ein Teil der Ergebnisse der Untersuchung: „Klimaschutz durch Nutzung regenerativer Energien.“, DLR/WI/ZSW/IWR/Forum im Auftrag des BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes, Stuttgart, Wuppertal, Berlin, Oktober 1999 in zusammengefasster Form wiedergegeben.

Im Jahr 1999 bewirkten das 100 000 Dächer-Programm für die Photovoltaik und das 200 Mio. Förderprogramm einen weiteren deutlichen Unterstützungsschub. Die für die Markteinführung aufgewandten Mittel stiegen in diesem Jahr auf insgesamt **1 050 Mio. DM/a** mit einem Beitrag des StrEG in Höhe von 500 Mio. DM/a. Das sieht zunächst nach beachtlichen Mehraufwendungen aus. Umgelegt auf die jeweils im Strom- und Wärmemarkt abgesetzten Energiemengen, entsprechen diese „Fördermittel“ jedoch nur Aufschlägen von stromseitig 0,15 Pf/kWh_{el} und wärmeseitig 0,03 Pf/kWh_{th} (also gerade einmal 0,3 Pf je Liter Heizöl). Eine Durchschnittsfamilie wird dadurch mit lediglich 10.-- DM Mehrkosten im Jahr belastet. Diese Mittel bewirken, dass derzeit in Deutschland jährlich 6 Mrd. DM in regenerative Energien investiert werden und diese Energietechnologien zu einem nicht mehr vernachlässigbaren Wirtschaftsfaktor geworden sind.

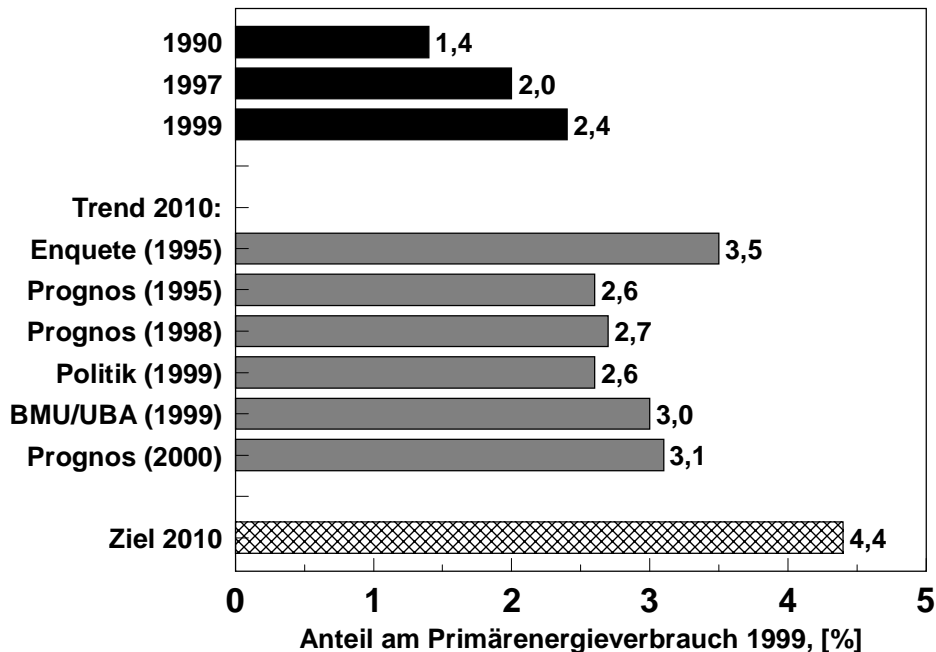
Der weitere Ausbau der regenerativen Energien hängt im wesentlichen von zwei Einflussgrößen ab, der Entwicklung der zukünftigen Energiepreise und der Art und Wirksamkeit der Maßnahmen, die ergriffen werden, um die noch bestehenden Kostendifferenzen zur bestehenden Energieversorgung auszugleichen. Dabei wirken viele Faktoren mit, u.a. die Steuerpolitik in Form der ökologischen Steuerreform, die Entwicklung des Ölpreises, die Investitionspolitik im Strombereich oder die durch technischen Fortschritt und größere Umsätze noch erzielbaren Kostensenkungen bei den neuen „solaren“ Technologien. Das Ausmaß der erforderlichen Unterstützung kann mittels Modellrechnungen auf der Basis bestimmter Zubauszenarien, z.B. dem Verdopplungsziel 2010, ermittelt werden. Sie können auch Aufschluss über die zweckmäßigste Gestaltung von Förderinstrumenten geben. Das Ziel der Förderung der regenerativen Energien ist, sie so in den Energiemarkt zu integrieren, dass sie sich dort in absehbarer Zeit ohne Unterstützung behaupten können. Je reibungsloser und effektiver dies geschieht, desto wirksamer ist das entsprechende Maßnahmenbündel.

2.2 Ziel 2010: Verdopplung des Beitrags regenerativer Energien

Der zukünftige Energieverbrauch und seine Auswirkungen auf die Umwelt, insbesondere in Form von CO₂-Emissionen, hängen von zahlreichen Einflussgrößen ab. Für die CO₂-Emissionen hat sich die Bundesregierung ehrgeizige kurz- und mittelfristige Reduktionsziele gesetzt. Um sie zu erreichen, muss der bisherige Trend bei Energieverbrauch und Emissionen deutlich verändert werden. Den für Deutschland derzeit vorliegenden Trendszenarien, darunter dem aktuellsten aus /Prognos 2000/ ist gemeinsam, dass sie von einem praktisch unveränderten Primär- und Endenergieverbrauch bis 2010 ausgehen, obwohl das Bruttoinlandsprodukt innerhalb des nächsten Jahrzehnts um weitere 30% steigen wird. Wirtschaftswachstum und Energieeinsparung durch Effizienzverbesserung und Strukturveränderung halten sich also etwa die Waage; die schon seit den 70iger Jahren bestehende Entkopplung setzt sich weiter fort. Die angestrebten Klimaschutzziele der Bundesregierung werden jedoch nicht erreicht; der CO₂-Ausstoß reduziert sich gegenüber dem heutigen Niveau (1998: 887 Mio. t/a) nur geringfügig auf 860 Mio. t/a.

Die Trendentwicklungen zeigen auch die Wachstumsraten für die Strom- und Wärmeerzeugung aus regenerativen Energien bis 2010, die sich aus heutiger Sicht „von selbst“ einstellen dürften. Derartige Einschätzungen sind selbstverständlich einem stetigen Wandel unterzogen, wie **Bild 8** zeigt. Während die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ /Enquete 1995/ aus damaliger Sicht mutig einen „Trendanteil“ für regenerative Energien von 3,5 % für das Jahr 2010 annahm, orientierten sich die Vorhersagen der Prognos-Szenarien eher an der Marktdynamik der jeweiligen Jahre. Mit steigender aktueller Wachstumsdynamik – sichtbar am Zuwachs der regenerativen Energien zwischen 1997 und 1999 – wird auch für die Zukunft, hier also für das Jahr 2010, ein höherer Anteil vermutet. In der neuesten Prognose /Prognos 2000/ beträgt dieser 3,1%. In der Referenzentwicklung der „Politikszenerarien“ /Politik 1999/ liegt er bei

2,6%. Doch bereits Ende 1999 lag der Beitrag der regenerativen Energien am Primärenergieverbrauch bei 2,4%.



buch\trend10.pre: 8.6.00

Bild 8: Geschätzter Anteil regenerativer Energien am Primärenergieverbrauch des Jahres 2010 in verschiedenen Trendszenarien und angestrebter Anteil für das Ziel „Verdopplung“³, (alle Angaben ohne den Beitrag von Müll)

Junge, rasch wachsende Technologien mit anfänglich noch geringen Marktanteilen werden in Trendentwicklungen meist unterschätzt. Trendabschätzungen sind daher mit Vorsicht zu genießen. Sie spiegeln den aktuellen Kenntnisstand und die aktuelle Einschätzung der Autoren wider und dürfen nicht als Prognose missverstanden werden. Noch deutlich zeigt sich dies, wenn nur der Strombereich betrachtet wird. 1995 schätzte man in /Prognos 1995/ den möglichen Beitrag regenerativer Energien für 2010 an der Stromerzeugung im Trendfall auf 5,6%, heute erwartet man für dasselbe Jahr bereits 8,2% /Prognos 2000/. Dank der unerwartet hohen Zuwachsraten der Windenergie lag der Anteil jedoch bereits Ende 1999 bei 5,6%.

Zukunftskonzepte der Energieversorgung lassen sich aber auch auf der Basis konkreter Zielvorgaben entwickeln. Ihr Wert besteht darin, dass mit ihrer Hilfe gezeigt werden kann, in welcher Zeit und mit welchem Aufwand das gesetzte Ziel erreicht werden kann und welche Maßnahmen dazu erforderlich sind. Energieszenarien, die davon ausgehen, dass eine ausreichende CO₂-Minderung zeitgerecht erreicht wird, zeigen z.B. übereinstimmend, dass dazu gleichrangig und parallel drei strategischen Klimaschutzelemente, nämlich „Rationellere Energienutzung“, „Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung“ und „Ausbau regenerativer Energien“ eingesetzt werden müssen. In richtiger zeitlicher Staffelung können die beiden ersten Strategieelemente die kurz- bis mittelfristigen Klimaschutzziele verwirklichen, während der Ausbau der regenerativen Energien sicherstellt, dass auch die längerfristigen, sehr ehrgeizigen Ziele erreichbar sind. Dies gilt insbesondere für Deutschland mit seiner Selbstverpflichtung von -25 % CO₂ bis 2005

³ Der Primärenergieanteil wird hier mit der bisher üblichen „Substitutionsmethode“ berechnet. Strom aus Wasserkraft, Wind und Photovoltaik wird mit dem mittleren Wirkungsgrad fossiler Kraftwerke auf Primärenergie umgerechnet, da deren Strom nicht mehr benötigt, also substituiert wird. Neuerdings gilt die international vereinbarte „Wirkungsgradmethode“, wonach dieser Strom direkt als Primärenergie bewertet wird.

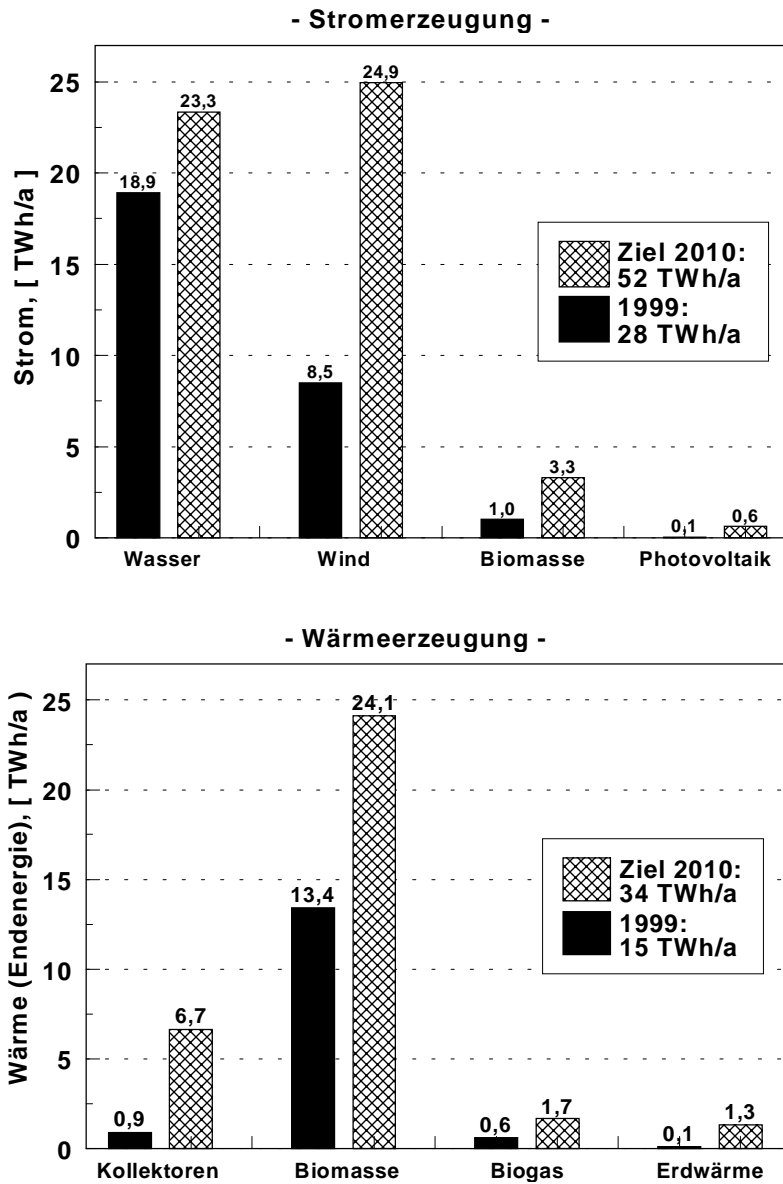
bzw. -21 % im Zeitraum 2008 bis 2012 gemäß der Kyoto-Vereinbarung. Hinzu kommen die Empfehlungen der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre.“ von -50% bis 2020 und -80% bis 2050.

Die Bundesregierung strebt aber noch ein weiteres energiepolitisches Ziel an, nämlich den Verzicht auf die Kernenergie. Dieses Ziel ist dann mit der gewünschten CO₂-Reduktion vereinbar, wenn die Einsatzintensität der obigen Strategieelemente gegenüber der Trendentwicklung deutlich erhöht wird. Die vorliegenden Szenarien und Modellrechnungen legen es nahe, folgende energiepolitischen Ziele bis zum Jahr 2010 zu vereinbaren, um den Klimaschutzzielen gerecht zu werden und um die Handlungsspielräume für die Neugestaltung der Energieversorgung in den nächsten Jahrzehnten substantiell zu erweitern:

- **Wachstum der Energieproduktivität (dem Verhältnis von Bruttoinlandsprodukt zu Primärenergieeinsatz) pro Jahr um etwa 3 % (im Trend etwa 1,9 % p.a.);**
- **Mindestens Verdopplung des Beitrags der industriellen und kommunalen Kraft-Wärme/Kälte-Kopplung;**
- **Mindestens Verdopplung, besser Verdreifachung der Energiebereitstellung aus regenerativen Energien.**

Das Ziel einer Verdopplung des Beitrags regenerativer Energien bis 2010 ist also nur ein Teilziel einer umfassenderen energiepolitischen Strategie, die über Jahrzehnte durchgehalten werden muss und die im Erfolgsfall zu einem sehr weitgehenden Umbau der bestehenden Energieversorgungsstrukturen führen wird. Das Verdopplungsziel ist die „Eintrittskarte“ für eine relevante und rechtzeitige Teilnahme aller Technologien der Nutzung regenerativer Energien an der zukünftigen Energieversorgung. Was für die Windenergie bereits heute gilt, nämlich eine attraktive Wachstumsbranche zu sein, die man sich aus unserer Energie- und Industrielandschaft nicht mehr wegdenken kann, soll dann für alle Technologien bzw. regenerativen Energiearten zutreffen. Das Verdopplungsziel muss daher so strukturiert sein, dass eine Abwägung zwischen einer möglichst kräftigen Erschließung kostengünstiger Technologien, wie der Biomasse und der Windenergie, und einer ausreichenden Mobilisierung der Technologien mit noch kleinen Markt volumina, wie Solarkollektoren, Photovoltaik und Erdwärme stattfindet. Außerdem soll erreicht werden, dass der noch geringe Beitrag zur Wärmeversorgung deutlicher anwächst als der Beitrag zur Stromversorgung mit ihrem hohen Sockel an Wasserkraft. Potenzialgrenzen sind bis zu diesem Zeitpunkt nur für die Wasserkraftnutzung von Bedeutung. Berücksichtigt man diese Kriterien, so entsteht die folgende Struktur der regenerativen Energien im Jahr 2010 (**Bild 9**)

Die Stromerzeugung aus regenerativen Energien steigt mit 52 TWh/a auf einen Anteil von 10,2 %. Der größte Anteil am Zuwachs kommt mit 70% von der Windenergie. Sie übertrifft 2010 mit 25 TWh/a bzw. 12 500 MW bereits die Wasserkraft. Die größten Steigerungsraten entfallen jedoch auf die Photovoltaik, die ihren Beitrag mit dann 700 MW auf das Zwölfwache steigert und auf Strom aus Biomasse und Biogas, die ihren Beitrag mehr als verdreifachen. Die Wärmeerzeugung aus regenerativen Energien ist mit 34 TWh/a zu 2,3% an der Deckung des entsprechenden Bedarfs beteiligt. Sie stützt sich stark auf die Biomasse einschließlich Biogas, die 60% des gesamten Zuwachses decken. Auch hier haben aber die Technologien mit noch kleinen Märkten, nämlich solarthermische Kollektoren mit 19 Mio. m² Kollektorfläche und die Erdwärme mit 1,3 TWh/a die größten Steigerungsraten. Der Beitrag der Kollektoren steigt um das Siebenfache, derjenige der Erdwärme um das Zwölfwache. Die angestrebte Ausweitung der Wärmeversorgung verlangt einen deutlichen Einstieg in Nahwärmeversorgungen, die heute erst sehr geringe Anteile haben. Sie stellen im Jahr 2010 rund 30 % der gesamten Wärme (10 TWh/a) und damit etwa fünfzehnmal mehr heute. Insbesondere ist es erforderlich, solare



buchziel2010.pre:9.6.00

Bild 9: Struktur des Beitrags regenerativer Energien im Jahr 2010 bei einer ungefähren Verdopplung ihres Anteils an der Energieversorgung.

Wärme in wachsendem Umfang über Nahwärmeversorgungen bereitzustellen, weil sich nur so ihr Beitrag zur Deckung der Raumwärme deutlich steigern lässt.

Der Gesamtbeitrag der regenerativen Energien mit 4,4% am Primärenergieverbrauch (vgl. Bild 8) im Jahr 2010 und entsprechend an der Reduzierung der CO₂-Emissionen mag manchem als relativ gering erscheinen. Trotzdem erfordert es noch außerordentliche Anstrengungen, dieses Ziel für alle Technologien zeitgerecht umzusetzen. Die Windenergie dürfte zwar ihren Beitrag ohne Schwierigkeiten erreichen und aus heutiger Sicht sogar überschreiten. Auch die Photovoltaik hat dank der beträchtlichen Unterstützung durch das 100 000-Dächer Programm und die 99 Pf/kWh-Regelung des neuen EEG sehr günstige Ausgangsbedingungen das Ziel von 700 MW Leistung im Jahr 2010 zu erreichen (Ende 1999: 65 MW). Ebenfalls ist Bewegung in den Bau von Biogasanlagen gekommen. Die erforderlichen starken Marktzuwächse bei den Kollektoren, bei der Erdwärme und auch bei der Biomasse, dort speziell im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung, sind dagegen noch keinesfalls gesichert. Auch die Steigerung der Wasser-

kraftleistung bis 2010 um 900 MW ist keine einfache Aufgabe. Welche Aufgaben noch vor uns liegen, zeigt beispielhaft die erforderliche Entwicklung des Kollektormarktes bis 2010 (**Bild10**). Heute werden jährlich etwa 500 000 m² Kollektoren verkauft, die nahezu ausschließlich für kleinere Warmwasseranlagen eingesetzt werden. In 10 Jahren müssen jährlich über 2,5 Mio. m² Kollektoren umgesetzt werden, wenn der im Verdopplungsziel formulierte Beitrag von Solarkollektoren erreicht und die Kollektorbranche eine eigenständige Wachstumsbranche vergleichbar der heutigen Windenergie werden soll. Das bedeutet, dass das Marktvolumen über 10 Jahre hinweg mit durchschnittlich 16% pro Jahr wachsen muss. Um solare Wärme möglichst kostengünstig bereitstellen und um in den Raumwärmebereich vordringen zu können, müssen dazu auch einige tausend großflächige Anlagen mit größeren Speichern errichtet werden, die in Nahwärmenetze einspeisen. Es muss also ein Markt für Großanlagen etabliert werden, den es heute noch gar nicht gibt. Ähnlich gilt für die Nutzung der Erdwärme und in abgeschwächter Weise auch für Nahwärmanlagen auf Biomassebasis.

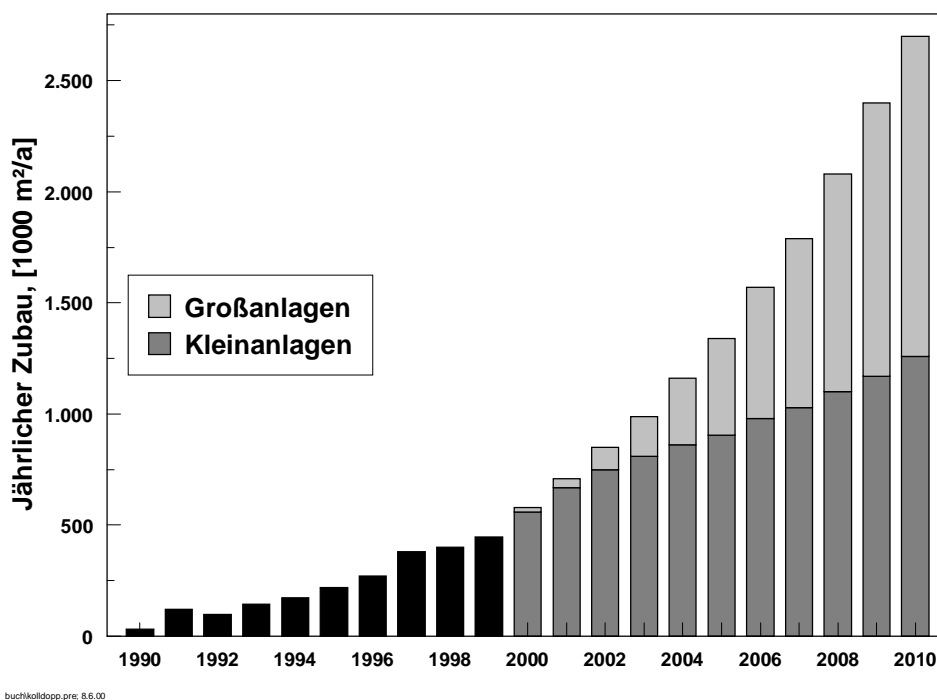


Bild 10: Erforderliches Wachstum des Kollektormarktes in Deutschland bis 2010 zur Erreichung des Verdopplungsziels für regenerative Energien.

2.3 Ökonomische Eckdaten des Ausbaus regenerativer Energien bis 2010.

Die Verwirklichung des Verdopplungsziels führt zu deutlich wachsenden Investitionen in regenerative Energien. Das jährliche Marktvolumen für Neuanlagen steigt bis zum Jahr 2010 auf knapp 7 Mrd. DM/a, die kumulierte Investitionssumme zwischen 2000 und 2010 beläuft sich auf **rund 60 Mrd. DM**. Die zu tätigen Investitionen teilen sich etwa je zur Hälfte auf stromerzeugende und wärmeerzeugende Anlagen auf, wenn man die Nahwärmenetze, die insgesamt ein Investitionsvolumen von 5 Mrd. DM erfordern, ebenfalls berücksichtigt. Der Wärmemarkt erhält also im Szenario „Verdopplung“ ein annähernd gleiches Gewicht wie der Strommarkt. Je rund 20 Mrd. DM werden in die Windenergie und in Kollektoranlagen investiert, etwa 10 Mrd. DM in Biomasseanlagen.

Aus diesen Investitionen resultieren die Energiekosten der regenerativen Energien. Sie setzen sich zusammen aus dem Kapitaldienst, den Wartungs- und Betriebskosten, sonstigen Kosten, wie Planungskosten, Versicherungen u.ä. und einer angemessenen Rendite für das eingesetzte Kapital. Vergleicht man sie im zeitlichen Ablauf mit „anlegbaren“ Preisen der konventionellen Energiebereitstellung so erhält man Hinweise darauf wie die Differenzkosten sich bis zum Jahr 2010 entwickeln. Derzeit betragen diese Differenzkosten rund 1,5 Mrd. DM/a (**Bild 11**; linker Balken). Etwa 1,1 Mrd. DM wurden 1999 über öffentliche Mittel und das StrEG aufgebracht, der Rest sind Eigenleistungen der Investoren.

Die zukünftige Entwicklung dieser Differenzkosten ist stark vom Verlauf der Energiepreise abhängig. Setzt man z.B. eher vorsichtig einen mittleren realen Preisanstieg von 2%/a für die nächsten 10 Jahre voraus, was bei Strom einen Anstieg der mittleren anlegbaren Preise von 10 Pf/kWh auf 12,7 Pf/kWh im Jahr 2010 und bei Wärme von 8,5 Pf/kWh auf 10,6 Pf/kWh bedeutet, so erhöhen sich die Differenzkosten infolge der zusätzlichen Investitionen bis 2010 auf etwa 4 Mrd. DM/a (vgl. Bild 11; 3. Balken). Dabei ist schon berücksichtigt, dass sich viele Anlagen mit steigenden Stückzahlen verbilligen. Die einzelnen Technologien sind sehr unterschiedlich an den Differenzkosten beteiligt. Kollektoren und Photovoltaik verursachen auf Grund ihrer noch relativ hohen Energiekosten überproportional hohe Differenzkosten. Wind und Biomasse, die hohe Energiebeiträge liefern, sind im Verhältnis dazu geringer beteiligt. Steigen die anlegbaren Preise stärker, verringern sich die ermittelten Differenzkosten entsprechend. Bei einem durchschnittlichen jährlichen Preisanstieg von 4%/a, der im Jahr 2010 zu mittleren Stromkosten von 15 Pf/kWh und zu mittleren Stromkosten von 12,7 Pf/kWh führen würde, verursachen die kostengünstigen Technologien der Windenergie- und Biomassenutzung so gut wie keine Differenzkosten mehr. Das Förderziel der Konkurrenzfähigkeit im Energiemarkt wäre dann also für diese Technologien erreicht. Bei noch stärkeren Preisanstiegen sind sie sogar kostengünstiger als die herkömmliche Energieversorgung. Teurere Technologien, wie Photovoltaik und Kollektoren

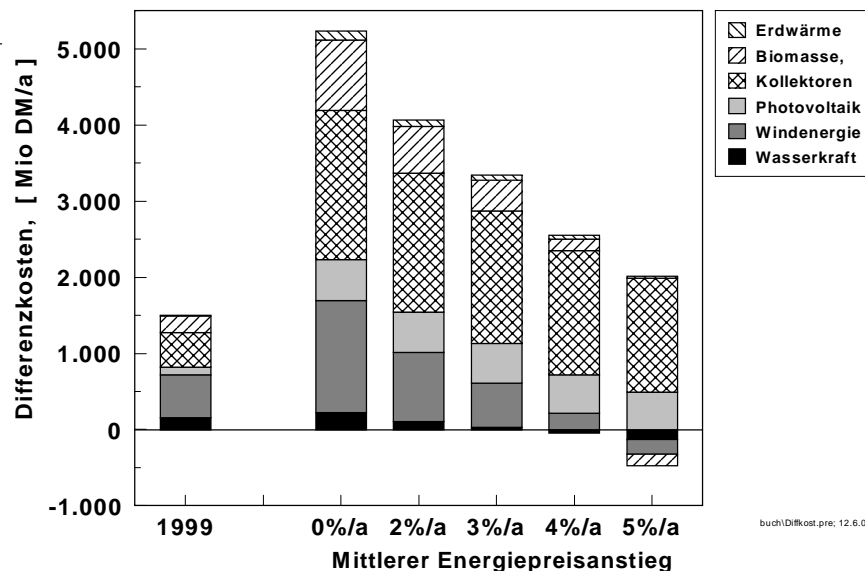


Bild 11: Differenzkosten regenerativer Energien im Jahr 2010 im Vergleich zu anlegbaren Preisen der herkömmlichen Energieversorgung bei unterschiedlichem Anstieg der Energiepreise und Vergleich mit den Differenzkosten des Jahres 1999.

toren benötigen aber auch dann noch eine zusätzliche Unterstützung. Die aufsummierten Differenzkosten aller Technologien betragen in dieser Preisvariante im Jahr 2010 nur noch 2,5 Mrd. DM/a (Bild 11; 5. Balken). Verharren dagegen die Energiepreise auf dem niedrigen Niveau des Jahres 1999, so erhöhen sich die Differenzkosten des Verdopplungsziels im Jahr 2010 auf über 5 Mrd. DM/a und würden bei jedem weiteren Zubau nach 2010 ständig weiter steigen. Ein kräftiger Ausbau der regenerativen Energien wäre also in diesem Fall nicht zu rechtfertigen.

Die Modellrechnungen auf der Basis des Verdopplungsziels machen deutlich, dass der Ausbau regenerativer Energien die Kombination von zwei energiepolitischen Maßnahmenpaketen verlangt:

- ◆ Zum einen erfordert der weitere Ausbau den Einsatz von Instrumenten, die geeignet sind, für eine begrenzte Zeit die noch steigenden Differenzkosten zu mobilisieren. Ausgehend vom derzeit niedrigen Energiekostenniveau konventioneller Energien erfordert die angestrebte Verdopplung deutlich steigende Anreize in Form von weiteren Förderprogrammen des Bundes und der Länder über das bisherige Maß hinaus, den Einsatz eines erweiterten StrEG und weiterer flankierender Maßnahmen. Das aus dem bisherigen StrEG hervorgegangene EEG ist hierfür ein gutes Beispiel. Auch bei allmählichen Preisanstiegen, z.B. durch Verteuerung fossiler Primärenergien oder durch weitere Schritte der ökologischen Steuerreform, kann nicht gewartet werden, bis regenerative Energien „von selbst“ wirtschaftlich werden; der Zeitverlust wäre zu groß und bloßes Abwarten kann dazu führen, dass aussichtsreiche technologische Entwicklungen und sich gerade entwickelnde Märkte zusammenbrechen.
- ◆ Auf Dauer können jedoch diese Differenzkosten bei real konstanten oder lediglich schwach steigenden Energiepreisen mittels Förderprogrammen nicht aufgebracht werden. Auch ihre indirekte Mobilisierung durch die „Umlenkung“ der erforderlichen Investitionen mittels Vorrangregelungen, wie Einspeisegesetze oder Quoten kann in liberalisierten Energiemärkten nur für einen begrenzten Zeitraum erfolgen. Die Differenzkosten verlieren dann den Charakter einer „Anschubfinanzierung“ und rücken in die Nähe von „Dauersubventionen“. Ein anhaltender Einstieg in eine nachhaltigere Energieversorgung mittels regenerativer Energien verlangt mittelfristig zwingend die Korrektur heutiger Energiepreise, welche die externen Kosten der herkömmlichen Energieversorgung nicht enthalten. Es ist also wesentlich, die ökologische Steuerreform konsequent weiterzuführen und die „Subventionierung“ der fossilen und nuklearen Energieversorgung in absehbarer zu beenden, damit regenerative Energien in liberalisierten Energiemärkten faire Wettbewerbschancen erhalten.

Geht man in der Basisvariante von einer jährlichen 2%igen Energiepreiserhöhung aus, also von Differenzkosten, die im Verlauf eines Jahrzehnts von 1,5 auf 4 Mrd. DM/a steigen, so entspricht diese Entwicklung einem mittleren Aufschlag **von 0,25 Pf/kWh_{el} für Strom und von 0,10 Pf/kWh_{th} für Brennstoffe**. Diese Erhöhungen sind im Vergleich zu den steuerlichen Belastungen dieser Energieträger und zu den üblichen Preisschwankungen sehr gering. Wesentlich ist allerdings, dass das entsprechende Maßnahmenbündel in der Lage ist diese Differenzkosten zu mobilisieren und effizient einzusetzen, um damit die noch fehlende Wirtschaftlichkeit bei den meisten Technologien zur Nutzung regenerativer Energien auszugleichen.

Die quantitativen Auswirkungen der vorgeschlagenen Instrumente und Maßnahmen und ihr zeitlicher Verlauf sind in **Bild 12** zusammengestellt und nach strom- und wärmeseitigen Werten unterschieden. Das monetäre Äquivalent der Förderinstrumente steigt von 1 050 Mio. DM/a im Jahr 1999 auf 2 600 Mio. DM/a im Jahr 2010, was als Mittelwert über das gesamte Jahrzehnt einer **Verdopplung des derzeitigen Wertes** gleichkommt. Der Wärmemarkt wird relativ stär-

ker gefördert, so dass im Jahr 2010 nur noch 55 % des Gesamtvolumens auf den Strombereich entfallen. Wesentlich ist, dass sich die Gewichtung von der Dominanz budgetwirksamer Mittel mit 370 Mio. DM/a noch im Jahr 1997 deutlich zu den Instrumenten „Modifiziertes StrEG“⁴ und „Quote im Wärmemarkt“ verlagert, die unmittelbar auf die Energieverbraucher einwirken. Sie stellen im Jahr 2010 mit 1 800 Mio. DM/a rund 70 % der Fördermittel bereit im Gegensatz zu 1997 mit lediglich 40 %. Der Bedarf an budgetwirksamen Mitteln, also von direkten Förderprogrammen des Bundes, der Länder und der Kommunen, erhöht sich auf **maximal 745 Mio. DM/a (2010)** und liegt damit im Mittel des Jahrzehnts lediglich **um ein Drittel über dem derzeitigen Wert von 440 Mio. DM/a**. Dementsprechend sinkt ihr Anteil an der Abdeckung der gesamten Differenzkosten von 35 % (1997) bzw. 30 % (1999) auf 18 % im Jahr 2010. Der Anteil von StrEG und Quote steigt entsprechend von 26 % (1997) bzw. 34 % (1999) auf 44 % im Jahr 2010. Die freiwilligen Eigenleistungen, die auch den geschätzten Markt für Grünen Strom und die Eigenleistungen der Energieversorger einschließen, haben mit rund 37 % einen etwa gleichbleibenden, bemerkenswert hohen Anteil. Der geschätzte Zuwachs im Bereich des grünen Stroms gleicht dabei einen leichten relativen Rückgang im Wärmebereich aus. Für die Förderprogramme des Bundes wird von einer reichlichen Verdopplung des derzeitigen Wertes (170 Mio. DM/a) bis 2010 ausgegangen, eine 50 %ige Erhöhung wird von den verschiedenen Kreditprogrammen erwartet. Auch die Förderprogramme der Länder sollten in der Summe tendenziell wieder steigen um den Rückgang der letzten Jahre auszugleichen. Der freiwillige Beitrag der Energieversorgungsunternehmen dürfte dagegen wettbewerbsbedingt und wegen der Ausweitung des StrEG sowie des Marktes für grünen Strom abnehmen.

Mit dem gesamten Maßnahmenbündel werden im Zeitraum 2000 bis 2010 rund 21 Mrd. DM an Fördermitteln zum verstärkten Ausbau von regenerativen Energien mobilisiert. Dem stehen in demselben Zeitraum etwa das Dreifache, nämlich insgesamt 60 Mrd. DM, an getätigten Investitionen gegenüber. Bezogen auf die budgetwirksam eingesetzten Mittel ist es sogar das Neunfache. Dies ist ein günstiges Verhältnis für eine gezielte Anschubfinanzierung. In dem Maße, wie über Energiepreissteigerungen oder Maßnahmen der ökologischen Steuerreform die Differenzkosten zwischen Energiesystemen auf der Basis regenerativer Energien und herkömmlichen Energiesystemen sinken, verringern sich auch die durch zusätzliche Instrumente zu mobilisierenden Fördermittel. Treten mittelfristig „ökologisch korrekte“ Energiepreise an die Stelle der heutigen Preisgestaltung an den Energiemärkten, kann auf andere Unterstützungsmaßnahmen zur Markteinführung regenerativer Energien verzichtet werden. Dies ist für den Zeitraum nach 2010 bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Photovoltaik) unbedingt anzustreben

Mit der Verdopplung des Anteils regenerativer Energien bis zum Jahr 2010 werden nicht nur umwelt- und klimapolitischer Ziele erreicht, sondern es sind damit auch positive volkswirtschaftliche Auswirkungen im Bereich der Beschäftigung verbunden. Dabei sind einerseits positive Arbeitsplatzeffekte, wie verstärkter Anlagenbau und deren Wartung, Ersatz fossiler Energieimporte und neue Exportmärkte für Technologien und negative Effekte wie die Verdrängung konventioneller Energien und Kaufkraftverluste durch höhere Energieausgaben zu beachten. Angesichts der vielschichtigen Zusammenhänge wird in den vorliegenden Untersuchungen die Anzahl der zu erwartenden Arbeitsplätze je nach betrachtetem Szenario, dem Zeithorizont und dem gewählten Berechnungsverfahren mit einer hohen Schwankungsbreite angegeben. In /BMU/UBA 1999/ habe wir abgeschätzt, dass bis zum Jahr 2010 vorsichtig gerechnet, insgesamt ca. 40 000 Arbeitsplätze für Anlagenerstellung und –betrieb im Inland auf dem Sektor der regenerativen Energien existieren dürften. Berücksichtigt man Verdrängungseffekte, so lassen sich daraus knapp 25 000 zusätzliche Arbeitsplätze gegenüber dem Status des Jahres 1997

⁴ Das seit dem 1. April 2000 geltende EEG entspricht in seinen monetären Auswirkungen weitgehend dem in /BMU/UBA behandelten modifizierten StrEG.

ableiten /Hohmeyer 1997/. Hinzu kommt weitere Arbeitsplätze durch einen verstärkten Energie- bzw. Stromhandel und durch wachsende Exportmärkte. Der arbeitsmarktpolitische Gewinn einer Ausbaustrategie für regenerative Energien liegt in absehbarer Zeit nicht in der absoluten Höhe der zusätzlichen Arbeitsplätze. Dies ist aber angesichts von insgesamt 400 000 Arbeitsplätzen in der gesamten deutschen Energieversorgung auch nicht zu erwarten. Günstigstenfalls kann der durch die Liberalisierung des Strommarktes bereits hervorgerufene Abbau an Arbeitsplätzen kompensiert werden, worin auch schon ein großer Nutzen der Ausbaustrategie liegt. Die großen Chancen liegen jedoch in der Qualität der neu gewonnenen Arbeitsplätze in technologieintensiven und zukunftssträchtigen Branchen, die zudem vielfach dezentral entstehen und damit zusätzlich günstige strukturelle Wirkungen haben können.

	1999	2005	2010	Mittelwert
Stromeinspeisungsgesetz *)	510	1060	1080	970
Quoten für Großanlagen Wärme *)	-	240	715	320
Bundesprogramme	150	240	350	250
Kreditvergünstigungen der DtA und KfW **)	ca.100	150	150	135
Förderprogramme der Länder und Kommunen	170	180	200	175
Weitere (Zulagen u.ä.)	20	40	50	35
Energieversorger ***)	100	60	60	65
Gesamt	1050	1980	2600	1950
davon budgetwirksam	440	610	750	595
 dto. (%)	42	31	29	31

*) Differenzkosten bei anlegbaren Kosten von 10 Pf/kWh (Strom) und von 8,5 Pf/kWh (Wärme); 2% Anstieg
) Zinsvorteil 1%; Laufzeit 10 Jahre *) Ohne Investitionen in wirtschaftliche Wasserkraft

Bild 12: Für eine Verdopplung des Beitrags regenerativer Energien erforderlichen Fördermittel, getrennt nach (modifiziertem) StrEG, Quote (Großanlagen Wärme) und budgetwirksamen Aufwendungen des Bundes und der Länder (in Mio. DM)

2.4 Perspektiven regenerativer Energien in Deutschland bis 2050

Die Untersuchungen in /BMU/UBA 1999/ haben ergeben, dass mit dem Einsatz eines aufeinander abgestimmten Maßnahmenbündels eine Verdopplung des Beitrags regenerativer Energien innerhalb eines Jahrzehnts erreicht werden kann und dabei die Marktvolumina der Technologien – bis auf diejenigen der Wasserkraft und der Windenergie - **um das Fünf- bis Zehnfache wachsen**. Dabei wird vorausgesetzt, dass in demselben Zeitraum der liberalisierte Energiemarkt aus seiner derzeitigen Umbruchphase herausgetreten, hinreichend ökologisch flankiert ist und ausgewogene Marktbedingungen für die hier behandelten Technologien, aber auch für andere umweltschonende und effiziente Energietechnologien herrschen. Ebenfalls wird unterstellt, dass der Ausbau regenerativer Energien in eine insgesamt nachhaltigere Energiepolitik eingebunden ist. Dazu gehört u.a. dass bis zu diesem Zeitpunkt der Verbrauch erschöpflicher Ressourcen und die Umweltbelastungen der Nutzung fossiler und nuklearer Energiequellen mittels einer weiterentwickelten ökologischen Steuerreform deutlich in den Marktpreisen für

Energie zum Ausdruck kommen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die politischen Bemühungen, die Klimaschutzziele gemäß den Kyoto-Vereinbarungen umzusetzen, erste Erfolge zeitigen und die längerfristigen Zielsetzungen dann konkreter Bestandteil einer nachhaltigen Energiepolitik sind.

Unter diesen Voraussetzungen kann sich die durch das Verdopplungsziel 2010 eingeleitete Wachstumsdynamik für regenerative Energien fortsetzen. Hinzu kommt, dass zu diesem Zeitpunkt ein ausreichend hoher Bedarf an neuen Anlagen in der Energieversorgung bestehen wird, da heutige Überkapazitäten abgebaut sein werden. In Kombination mit einer zeitlich vorrangigen Mobilisierung von Energieeffizienzpotentialen bei Umwandlung und Nutzung und einer zeitlich begrenzten Substitution durch relativ stärkere Nutzung von Erdgas können Klimaschutz und Ressourcenschonung mit Aussicht auf Erfolg erreicht werden, **(Bild 13)**. Von besonderer Bedeutung ist der absolute Rückgang des Energieverbrauchs um rund 40 % bis zum Jahr 2050 bei einem rund zweifachen Bruttoinlandsprodukt gegenüber 1998, was einer Steigerung der Energieproduktivität um den Faktor 3,5 entspricht. Gleichzeitig verschwindet die heutige Dominanz von Kohle und Mineralöl. Die fossilen Energien tragen im Jahr 2050 noch mit 40 % zur Bereitstellung von Brennstoffen, Kraftstoffen und Strom bei mit eindeutigem Schwerpunkt beim Erdgas. Erdgas vergrößert seinen Beitrag bis 2010 und ist bis etwa 2030 noch mit etwa derselben Absolutmenge wie heute an der Bereitstellung von Endenergie beteiligt. Es dominiert bei der Strom- und Wärmeerzeugung. Mineralöl wird aus dem Wärmemarkt verdrängt und nur noch als Treibstoff und als Rohstoff in der chemischen Industrie eingesetzt. Knapp 60 % der Endenergie stammt im Jahr 2050 aus regenerative Energien. Wärme aus Strahlung, Biomasse und Geothermie stellt 35 %; es wird also neben Raumwärme und Warmwasser auch ein Teil der Prozesswärme gedeckt. 25 % sind Elektrizität aus regenerativen Quellen, wovon wiederum zwei Drittel aus Quellen im Inland stammen. Importiert wird Strom aus solaren Kraftwerken, Wasser- und Erdwärmekraftwerken.

Der zeitlich aufeinander abgestimmte Einsatz der obigen Strategieelemente sorgt für stetig sinkende energiebedingte CO₂-Emissionen bei gleichzeitigem Abbau der Kernenergie. Von 894 Mio. t/a im Jahr 1997 sinken sie über 657 Mio. t/a (2010) und 460 Mio. t/a (2030) auf 200 Mio. t/a im Jahr 2050 und erreichen damit die Zielmarke der Enquete-Kommission, nämlich eine 80 %-igen Verringerung gegenüber 1995. Die Reduktion um rund 700 Mio. t/a CO₂ teilt sich wie folgt auf die Technologien bzw. die Strategieelemente auf:

- **Effizientere Energienutzung und -wandlung; Verringerung des Nutzenergiebedarfs über den Trend hinaus:** **290 Mio. t/a**
- **Verschiebung der Energieträgerstruktur zu Erdgas:** **34 Mio. t/a**
- **Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung:** **50 Mio. t/a**
- **Ausbau regenerativer Energien:** **320 Mio. t/a**

Die Reduktionsbeiträge der effizienteren Energienutzung und des Ausbaus von regenerativen Energien sind nahezu gleichrangig. Die CO₂-Reduktionsbeiträge der Energieeinsparung und des Ausbaus der Kraft-Wärme-Kopplung sind allerdings im wesentlichen bis 2020 mobilisiert, diejenigen der regenerative Energien machen sich erst nach 2010 deutlich bemerkbar. Der Beitrag der regenerative Energien am jeweiligen Primärenergieverbrauch des Szenario beträgt aufgrund des reduzierten Energiebedarfs im Jahr 2010 bereits 5,5 %, im Jahr 2030 bereits 26 % und erreicht im Jahr 2050 rund 60 %.

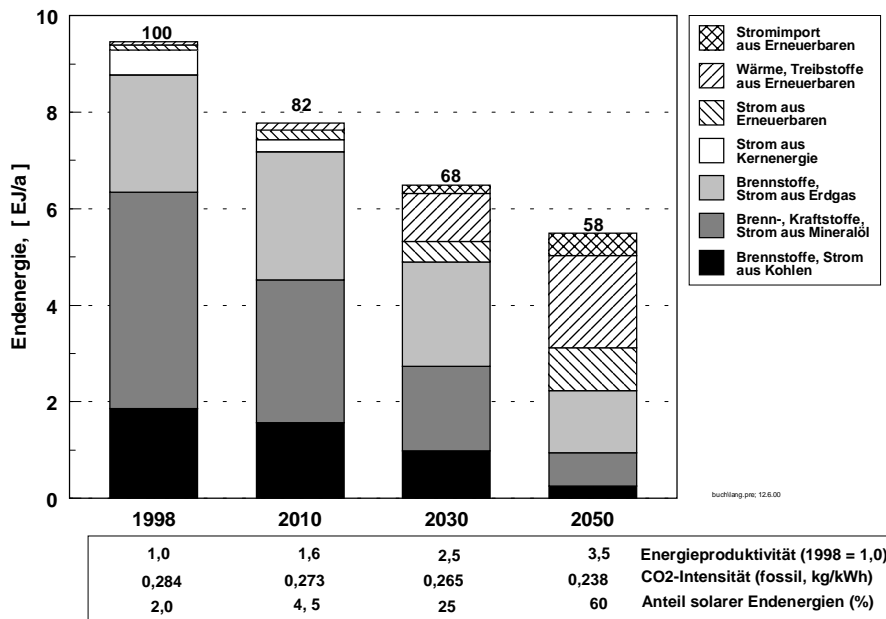


Bild 13: Struktur des Endenergieverbrauchs in einem Langfristszenario „Solare Energiewirtschaft“ nach den eingesetzten Primärenergiequellen und Veränderung der wesentlichen Kenngrößen Energieintensität, CO₂-Intensität des fossilen Anteils, Anteil Endenergie aus regenerativen Quellen.

Das Langfristszenario zeigt auch, wie die Umstrukturierung der Stromversorgung verlaufen sollte, wenn Klimaschutz und Risikominimierung durch Verzicht auf die Kernenergie als gleichgewichtige Ziele angesehen werden. Beim Umbau der Stromversorgung in Richtung Nachhaltigkeit können ebenfalls zwei Etappen unterschieden werden. Der erste, fünfzehn- bis zwanzigjährige Abschnitt ist – neben verstärkten Stromeinsparanstrengungen gegenüber dem Trendverlauf - im wesentlichen durch den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung gekennzeichnet, deren Beitrag an der Bruttostromerzeugung von 9 % auf 25 bis 30 % wächst (**Bild 14**). Die Beiträge der regenerativen Energien sind dagegen im Jahr 2010 mit 10 % noch relativ gering. Im Szenario werden diese Zubauziele durch einen Rückgang der Erzeugung aus Kondensationskraftwerken um 15 % (Kernenergie, Braunkohle bei gleichzeitiger Zunahme von Erdgas) erreicht. Vom Zuwachs bei der Kraft-Wärme-Kopplung profitiert neben Steinkohle vor allem das Erdgas, so dass der gesamte Steinkohleeinsatz zur Stromerzeugung konstant bleibt und derjenige des Erdgases auf das 2,5-fache wächst. Der Braunkohleeinsatz sinkt dagegen bis 2010 auf 75 % des heutigen Wertes. Trotz Halbierung des Beitrags der Kernenergie sinken die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung von derzeit 320 Mio. t/a auf 295 Mio. t/a infolge des Ausbaus der Kraft-Wärme-Kopplung, des Anstiegs der Stromerzeugung aus regenerativen Energien und der Verschiebung des Brennstoffeinsatzes zum Erdgas. Diese Etappe des Umbaus der Stromversorgung kann nur eingeleitet werden, wenn in den kommenden Jahren Kraftwerksneubauten **vorrangig** auf der Basis von Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativen Energien vorgenommen werden und dadurch Kondensationsleistung zurückgedrängt wird. Dies macht deutlich, dass es unter den derzeitigen Bedingungen des liberalisierten Strommarktes auch bei der Kraft-Wärme-Kopplung nicht nur um einen Bestandsschutz gehen kann, sondern wirksame Maßnahmen ergriffen werden müssen, welche eine nennenswerte Ausweitung ihres Anteils innerhalb eines Jahrzehnts erlauben, (z.B. mittels der derzeit diskutierten Quotenregelung). Auch die inzwischen für die Kernenergie vereinbarten Restlaufzeiten und der entsprechende

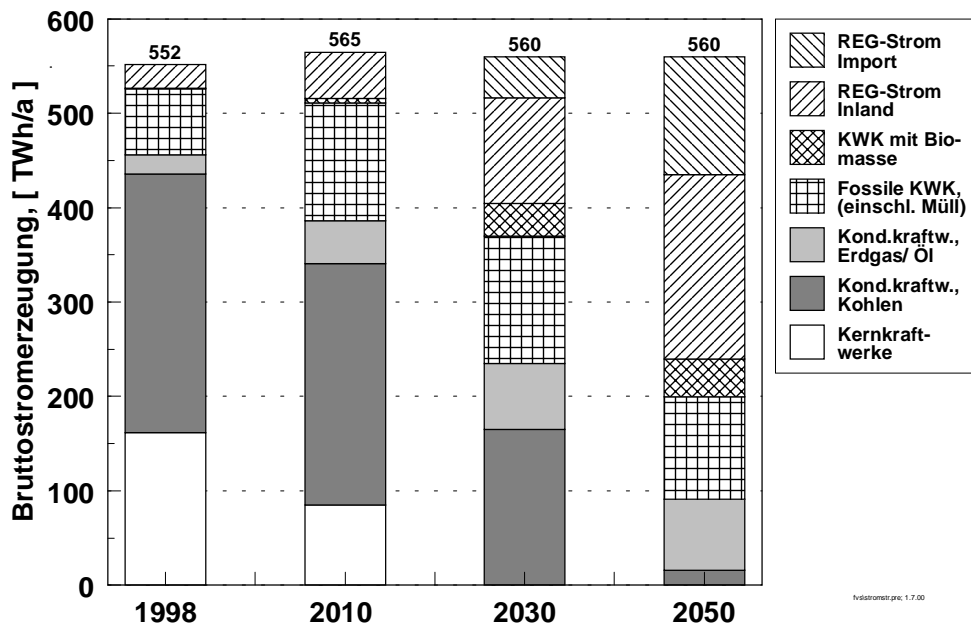


Bild 14: Struktur der Stromerzeugung im Szenario „Solare Energiewirtschaft“ nach Energiequellen und Kraftwerksarten

Rückbau der Kraftwerke sind eine wesentliche Erleichterung für den relevanten Einstieg dieser beiden Optionen in die Stromerzeugung.

Die zweite Etappe des Umbaus der Stromversorgung in Richtung Nachhaltigkeit wird durch einen deutlichen Zuwachs von Anlagen auf der Basis von regenerativen Energien gekennzeichnet, der nach 2010 mit sich beschleunigender Marktdynamik bei allen Technologien einsetzt. Der Gesamtbeitrag fossil gefeuerter Kraftwerke wird stark durch sehr effiziente erdgasgefeuerte Kraftwerke und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen geprägt, darunter auch Brennstoffzellen. Erstere übernehmen in zunehmendem Maße auch den Ausgleich zwischen dem fluktuierendem Stromangebot aus Wind und Sonnen und der Stromnachfrage. Hinzu tritt ab 2015 importierter Strom aus solarthermischen Kraftwerken, Wasser- und Erdwärmekraftwerken. Im Jahr 2030 deckt die Windenergie einschließlich Offshore - Anlagen bereits 70 TWh/a, Biomassekraftwerke 30 TWh/a (**Bild 15**). Auch die Photovoltaik leistet mit 12 TWh/a bereits einen beachtlichen Anteil. Etwa 40 TWh/a Strom aus regenerativen Quellen werden importiert. Regenerative Energien haben die 30%-Marke bei der Stromerzeugung überschritten.

Nach 2030 werden in diesem Szenario regenerative Energien zur Hauptquelle der Stromerzeugung; im Jahr 2050 decken sie 65% der Stromnachfrage. Es dominiert die Windenergie mit 95 TWh/a (40 GW Leistung einschließlich Offshore Anlagen), gefolgt von der Photovoltaik mit 40 TWh/a (41 GW Leistung), der Biomasse mit 45 TWh/a, der Erdwärme mit 30 TWh/a und der Wasserkraft mit 25 TWh/a. Der Importanteil an der gesamten Bruttostromerzeugung beträgt 22 %, die Nutzung regenerativer Energien ist innerhalb eines europäischen Stromverbundnetzes optimiert /TAB 2000/. Der restliche Beitrag fossiler Energien bei Kondensationskraftwerken stützt sich nun weitgehend auf gasgefeuerte Gas-Dampf- und Gasturbinenanlagen. 20 % des Stroms kommt aus mit Erdgas und Kohle betriebenen Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung. Die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung, welche bereits im Jahr 2030 auf 230 Mio. t/a gesunken waren, betragen im Jahr 2050 nur noch 90 Mio. t/a. Die Nutzung der Kernenergie ist gegen 2020 eingestellt worden; die Braunkohle wird spätestens im Jahr 2040 nicht mehr benötigt.

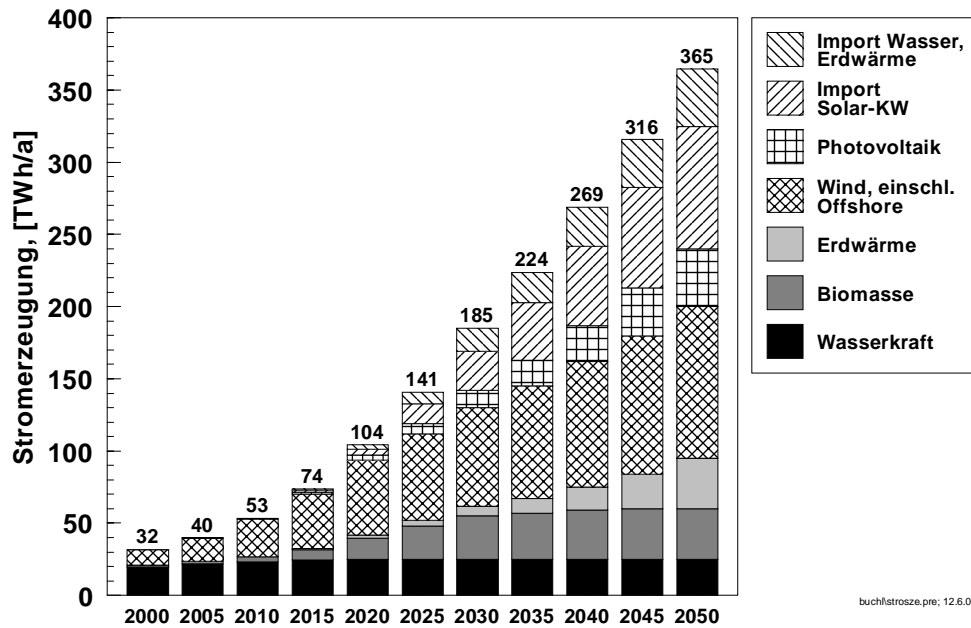


Bild 15: Entwicklung der Stromerzeugung aus regenerativen Quellen im Szenario „Solare Energiewirtschaft“ bis 2050 mit Anteilen an der Gesamterzeugung von 10% (2010), 33% (2030) und 65% in 2050.

Potenzialseitig sind regenerative Energien damit bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Zwar sind die inländische Wasserkraft und die Biomasse zwischen 2020 und 2030 an ihre Nutzungsgrenzen gestoßen, die anderen inländischen Potentiale sind aber erst zu 30 – 35% erschlossen. Importpotenziale stehen noch in großem Ausmaß zur Verfügung und ausreichende Spielräume für eine weitgehende Deckung des Strombedarfs durch regenerative Energien, wenn eine Strategie der ausgewogenen Erschließung aller regenerativer Energiequellen innerhalb eines europäischen Stromverbundes verfolgt wird. Im Szenario „Solare Energiewirtschaft“ liegen die Anteile einzelner Energiearten zwischen 5 und 15% bzw. erreichen bei massiver Erschließung maximal 20% (Beispiel Wind) und ergänzen sich daher in ihren Erzeugungseigenschaften. Der Anteil deutlich fluktuierender regenerativer Energien, wie Wind und Photovoltaik wird einen Wert von 30% nicht wesentlich überschreiten, was bei entsprechender Anpassung der übrigen (fossilen) Kraftwerke beherrschbar ist. Importstrom ist wegen der Speichermöglichkeiten in solarthermischen Kraftwerken keinen kurzzeitigen Fluktuationen unterworfen; Wasserkraft hat lediglich saisonale Schwankungen, Geothermie ist einer fossilen Grundlastversorgung gleichwertig.

Das angestrebte Wachstum der regenerativen Energien ist auch mit der Alterstruktur der bestehenden Kraftwerke und den daraus resultierenden Bedarf an Ersatzinvestitionen kompatibel. Bei Annahme einer einheitlichen Nutzungsdauer aller Kraftwerke von 35 Jahren sind im Jahr 2010 noch 65% der bestehenden bzw. gerade im Bau befindlichen Kraftwerke in Betrieb. Im Jahr 2020 sind es nur noch 25% /Markewitz 1999/. Ab 2002 entsteht eine Deckungslücke, die durch Stromimport, Verlängerung der Nutzungsdauer bestehender Kraftwerke oder durch Neubau gedeckt werden kann. Diese „Deckungslücke“ beträgt bei konstantem Stromverbrauch im Jahr 2010 rund 130 TWh/a und wächst bis 2030 auf maximal 280 TWh/a. Bereits im Jahr 2010 entspricht dies einer Kraftwerksleistung von 20 – 25 GW. Infolge des zunächst nur langsam wachsenden Beitrags der regenerativen Energien an der Stromversorgung entstehen also ausreichende Spielräume, bei anstehenden Neuinvestitionen die Erfordernisse einer wachsenden

Einspeisung von Strom aus diesen Energien zu berücksichtigen. Auch für den angestrebten verstärkten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung besteht genügend Spielraum. Die für eine Stromversorgung mit hohem Anteil regenerativer Energien wenig geeignete Grundlastkapazität ist bis 2030 ebenfalls abgebaut, wenn Neuinvestitionen in derartige Kraftwerke, also in Kernkraftwerke, Braunkohle- und große Steinkohlekraftwerke unterbleiben.

Als Fazit der Betrachtungen im Rahmen des Szenarios „Solare Energiewirtschaft“ kann festgehalten werden, dass ein konsequenter Ausbau einer Stromversorgung auf der Basis regenerativer Energien bis in hohe Anteile über 50% nicht auf eine festgefügte Struktur konventioneller Kraftwerke trifft. Die Qualitäten einer derartigen Stromversorgung sind nicht an die heutige Kraftwerksstruktur und deren Erfordernisse gekoppelt. Im Zuge von Ersatz- und Neuinvestitionen wandelt sich auch der konventionelle Kraftwerkspark und kann in einem weiten Bereich so gestaltet werden, dass zusammen mit den solaren Anlagen eine jederzeit sichere, effiziente und auch ökonomisch günstige Systemlösung entstehen kann. Kurzfristig ist wesentlich, dass bei Neuinvestitionen keine ausschließliche Festlegung auf kohlegefeuerte Grundlastkraftwerke erfolgt, sondern anstehenden Neuinvestitionen in ausreichendem Maße auch bei gasgefeuerten Anlagen vorgenommen werden. Dies wird aber im liberalisierten Energiemarkt zur Zeit sowieso verfolgt. Weniger gesichert ist dagegen die ebenfalls erforderliche Ausweitung von Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung. Langfristig wird der Bedarf an reinen Grundlastkraftwerken im Zuge des Ausbaus regenerativer Energien stark zurückgehen und es werden flexiblen Anlagen mit geringen Fixkosten und kleineren Leistungen favorisiert. Diese aus der Sicht einer verstärkten Nutzung regenerativer Energien wünschenswerten Strukturänderungen sind auch weitgehend mit den durch den liberalisierten Strommarkt gesetzten Rahmenbedingungen kompatibel.

Mit einer zeitlichen Verzögerung zum Strombereich wird auch der Wärmemarkt von den Umstrukturierungen ergriffen. Hier liegt der Schwerpunkt zunächst eindeutig bei der Mobilisierung der großen Einsparpotentiale im Altbaubestand. Das Verdopplungsziel für regenerative Energien schafft jedoch auch hier die Voraussetzungen für einen Übergang zu einer Wärmeversorgung auf zunehmend regenerativer Basis. Im Szenario hat daher der Aufbau von Nahwärmeversorgungen, die aus Biomasse-Heizzentralen und Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen sowie aus Solar- und Erdwärmeeinrichtungen versorgt werden, einen hohen Stellenwert. Auch in diesem Bereich zeigt sich, dass Effizienzsteigerungen in bestehenden Einrichtungen und Anlagen und der Umbau des Energiesystems Hand in Hand gehen müssen, um langfristig tragfähige Versorgungsstrukturen zu schaffen.

Die hier am Beispiel des Szenarios „Solare Energiewirtschaft“ skizzierten Wechselwirkungen bei der erforderlichen Umstrukturierung der Energieversorgung machen deutlich, dass ein substantielle Ausbau der Nutzung regenerativer Energien innerhalb des nächsten Jahrzehnts eine unverzichtbare Voraussetzung darstellt, wenn die längerfristigen Ziele einer deutlichen Reduktion von CO₂-Emissionen fristgerecht erreicht werden sollen. Dabei ist sowohl das Zeitfenster als auch die Höhe der mobilisierbaren Beiträge von Bedeutung. Die ersten „Etappenziele“ beim Klimaschutz könnten zwar auch ohne den Ausbau regenerativer Energien erreicht werden. Nach einer weitgehenden Ausschöpfung dieser kostengünstigen Reduktionspotentiale in den Bereichen „Energieeinsparung und Kraft-Wärme-Kopplung“ würde der weitere Reduktionsprozess jedoch ins Stocken geraten.

Für zwei weitere Handlungsfelder in der Energiepolitik ist die substantielle Nutzung von regenerativen Energien ebenfalls unerlässlich und muss in absehbarer Zeit mit sichtbarem Erfolg vorangebracht werden. Der eine Bereich stellt die Reduktion bzw. der gewünschte Verzicht auf die Nutzung der Kernenergie mit der Zielsetzung der Risikominimierung dar, der – neben politischen Beschlüssen – den äquivalenten Einsatz regenerativer Energien verlangt, wenn das Kli-

maschutzziel nicht verletzt werden soll. Das zweite Handlungsfeld betrifft die Befriedigung der rasch wachsenden Energienachfrage in den weniger entwickelten Ländern dar, deren Energieversorgungsstrukturen sich gleichzeitig in raschem Wandel befinden. Die globalen Ziele des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung können nur erreicht werden, wenn diesen Ländern ausgereifte und kostengünstige, dezentrale und zentrale, Technologien der Nutzung von regenerativen Energien rechtzeitig und in ausreichendem Maße angeboten werden können. Der selbstverständliche kommerzielle Einsatz dieser Technologien in den Industrieländern ist dafür eine entscheidende Voraussetzung. Zusätzlich müssen aber die schwierigen Probleme der Finanzierung und der Integration dieser Technologien in eine teilweise noch wenig entwickelte Infrastruktur gelöst werden.

3. Literatur

- /Altner u.a. 1995/ G. Altner; H.-P. Dürr, G. Michelsen, J. Nitsch: Zukünftige Energiepolitik- Vorrang für rationelle Energienutzung und regenerative Quellen. Bonn 1995.
- /BMU/UBA 1999/: J. Nitsch, M. Fishedick, N. Allnoch, F. Staiß u.a.: Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes, Stuttgart, Berlin, Nov. 1999.
- /Enquete 1995/ Dt. Bundestag (Hrsg.): Mehr Zukunft für die Erde. Schlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“. Economica Verlag, Bonn 1995
- /IEA 1998/: F. Bird, J. Keppler: IEA – Weltenergieprognose 1998. In Energiewirtschaftl. Tagesfragen 49 (1999), Heft 10.
- /IEA 1999/: Key World Energy Statistics, Int. Energy Agency, Paris 1999
- Johansson 1993: T. B. Johansson, H.Kelly et.al.: Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity. Island Press, Washington DC, 1993
- /Lovins 1999/: A. Lovins, P. Hennicke: „Voller Energie – Die globale Faktor Vier-Strategie für Klimaschutz und Atomausstieg“. Campus, Frankfurt, 1999
- /Nitsch, Luther 1998/ J. Nitsch, J. Luther u.a.: „Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung. – Ein solares Langfristszenario für Deutschland.“ In: Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung. Workshop des Forschungsverbunds Sonnenenergie. Hrsg: H. Hertlein, Köln 1998
- /Nitsch 1999/: J. Nitsch: „Entwicklungsperspektiven erneuerbarer Energien und ihre Bedeutung für die Energieversorgung von Entwicklungsländern.“ In Tagungsband : „Märkte der Zukunft – Erneuerbare Energien für Entwicklungsländer.“ Tagung des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Friedrichshafen, 17.11.1999
- /Politik 1999/: Politikszenerarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des BMU. Hrsg. G.Stein, B.Strobel. Band 5: H.J. Ziesing u.a. „Szenarien und Maßnahmen zur Minderung der CO₂ –Emissionen in Deutschland bis 2020“. FZ Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Bd. 20 1999
- /Prognos 2000/: Prognos AG (Hrsg): „Energierreport III – Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Schäffer-Poeschel Verlag Stuttgart, 2000
- /Shell 1995/ Energie im 21. Jahrhundert, aktuelle Wirtschaftsanalysen 5/1995, Heft 25. Studie der Shell-AG. Hamburg 1995.

- /TAB 2000/: J. Nitsch, F. Trieb: „Potenziale und Perspektiven regenerativer Energieträger. Gutachten im auftrag des Büros für Technikenfolgen-Abschätzung am Dt. Bundestag, Stuttgart, März 2000.
- Trieb 1998: F. Trieb u.a.: Markteinführung solarthermischer Kraftwerke – Chancen für die Arbeitsmarkt- und Klimapolitik. Energiewirtsch. Tagesfragen 48 (1998), Heft 6.
- UN 1998: Bericht über die menschliche Entwicklung . UNDP-Bericht, Dt. Ges. für die Vereinten Nationen, Bonn 1998
- WEC 1995: Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond. Joint IIASA – World Energy Council Report, Laxemburg, London, 1995
- Wind 1999: European Wind Assoc., Forum for Energy and Development, Greenpeace Int.: Windstärke 10. Studie zum weltweiten Ausbau der Windenergie. Oktober 1999.
- World Atlas 1998: World Atlas and Industry Guide 1998 – 1999. Int. Journal on Hydropower & Dams. Sutton, UK 1998.