

Entwicklungsperspektiven erneuerbarer Energien und ihre Bedeutung für die Energieversorgung von Entwicklungsländern. ¹

Dr. Joachim Nitsch, DLR – Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart

1. Globale technische Potentiale erneuerbarer Energien und ihre derzeitige Nutzung

Ausgangspunkt der Überlegungen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen (EEQ) ist ihr außerordentlich großes physikalisches globales Angebot und die Tatsache, daß in der Ökosphäre bereits vorhandene, unerschöpfliche Energieströme der menschlichen Nutzung zugeführt werden können. Damit sind die wesentlichsten Kriterien der Nachhaltigkeit erfüllbar. Die auf die Kontinente eingestrahlte Energie, die potentielle Energie des Wassers, die kinetische Energie des Windes, der Meereswellen und der Gezeiten, die in der stetig nachwachsenden Biomasse gespeicherte chemische Energie, die Wärmeenergie der Meere und die geothermische Energie bieten jährlich rund das 3000-fache des derzeitigen Weltenergieverbrauchs in Form unerschöpflicher Energieströme an. Die technische Nutzung dieser Energieströme im **Promille- bis Prozentbereich** des physikalischen Angebots kann die Energiebedürfnisse der Menschheit auch bei noch steigendem Bedarf prinzipiell vollständig befriedigen (**Tabelle 1**, erste und zweite Zahlenspalte), da aus technischer Sicht rund das **Sechsfache** des derzeitigen (Endenergie-) Verbrauchs an Energieträgern ohne prinzipielle Restriktionen zur Verfügung gestellt werden kann. Die Flächen zur Nutzung von Solarstrahlung sind bei dieser Abschätzung relativ

Tabelle 1: Jährliches globales Angebot und ungefähres technisches Potential regenerativer Energiequellen (Bezugswert: Globaler Endenergieverbrauch 1997 = 1 gesetzt)

Energieart	Gesamtes Angebot	Technisch nutzbar ¹⁾	Derzeit genutzt
- Solarstrahlung	2 850 ²⁾	3,80 ³⁾	0,001
- Windenergie	200	0,50	0,0003
- Biomasse	20	0,40 ⁴⁾	0,14 ⁵⁾
- Erdwärme	5	1,00	0,003
- Meeresenergie ⁶⁾	2	0,05	0
- Wasserkraft	1	0,10	0,035
Gesamt	3 000 ⁷⁾	5,85	0,180

- 1) Endenergieverbrauch (1997 = 9,4 Mrd t SKE/a = 275 EJ/a)
- 2) Auf Kontinente auftreffende Strahlungsenergie (= 15 % des Strahlungsflusses der Sonne)
- 3) 3 Mio. km² Sammlerflächen (= 2 % der globalen Landfläche) mit 40 % Nutzwärme, 40 % Elektrizität und 20 % Wasserstoff
- 4) Reststoffe aus Forst- und Landwirtschaft und 1,5 Mio. km² Anbaufläche (= 1% der globalen Landfläche)
- 5) Derzeitiger Verbrauch an Brennholz und organischen Abfällen
- 6) Wellen-, Gezeitenenergie, Meereswärme
- 7) Globaler jährlicher Energieverbrauch entspricht 3 Stunden Angebot an erneuerbarer Energie.

¹ Tagung des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg: „Märkte der Zukunft – Erneuerbare Energien für Entwicklungsländer“. Friedrichshafen 17.Nov. 1999; Tagungsband S. 11-26; Wirtsch.minist.. Stuttgart, Nov. 1999.

restriktiv auf 2% der globalen Landfläche begrenzt worden, was rund 10% der **nicht** für Siedlungen, Wald und Landwirtschaft derzeit genutzten Fläche entspricht. Die potentiellen Anbauflächen für Energiepflanzen entsprechen rund 5% der landwirtschaftlich genutzten Flächen. Beispielhafte andere Werte für das globale technische Potential von EEQ allein im Bereich der Stromerzeugung lauten /Wind 1999; IEA 1999; World Atlas 1998; Klaiß, Staiß 1992/:

- Windenergie = 53 000 TWh/a Strom (= 3,8 fache des Stromverbrauchs von 1998)
- Wasserkraft = 8 100 – 14 300 TWh/a Strom (ökonom. bzw. technisches Potential)
- Mögliche Stromerzeugung aus solarthermischen Kraftwerken auf dafür geeigneten Flächen im Mittelmeerraum = 70 000 TWh/a.

Diese Beispiele zeigen, daß eine weitgehende Versorgung der Menschheit mit EEQ nicht an Potentialgrenzen zu scheitern droht.

Der heutige EEQ-Anteil an der Weltenergieversorgung erreicht 18 %, wobei sich die Nutzung auf Wasserkraft und Biomasse konzentriert. Der relativ hohe Biomasseanteil ist jedoch größtenteils auf die nicht nachhaltige Nutzung von Brennholz in den ärmeren Entwicklungsländern zurückzuführen (nichtkommerzielle Energie) und stellt somit keine Ausgangsbasis für eine nachhaltige Nutzung der Biomasse dar. Nur etwa ein Zehntel des derzeitigen Biomassebeitrags kann als ökologisch tolerierbar eingestuft werden. Dabei handelt es sich um eine energetische Restholz- und Abfallnutzung (zum größten Teil in den Industrieländern), sowie die Erzeugung von Biogas aus der Tierhaltung und der Nahrungsmittelproduktion. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache liegt der Ausgangswert für einen nachhaltigen Wachstumspfad von EEQ bei rund 8 % Beitrag am derzeitigen globalen Primärenergieverbrauch und ist damit höher als derjenige der Kernenergie mit 6%. Die eigentlichen „modernen“ Techniken zur Nutzung von Strahlungs- und Windenergie und der Erdwärme tragen allerdings erst 0,3% zur Deckung des derzeitigen Weltprimärenergieverbrauchs bei. Dies wird auch an der Struktur der globalen Stromerzeugung deutlich (**Bild 1**, /IEA 1999, UN 1998, Wind 1999/). Rund 700 GW Wasserkraft decken 18% des Strombedarfs in Höhe von 14 400 TWh/a (1998).

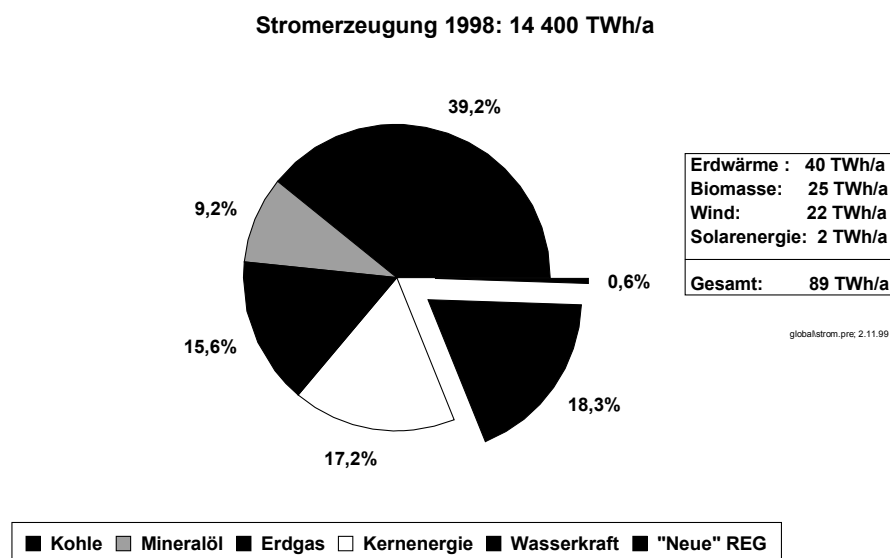


Bild 1: Derzeitige globale Stromerzeugung nach Energiequellen

Etwa 7 000 MW geothermische Kraftwerke, 5 000 MW Biomassekraft- und –heizkraftwerke, bereits 10 000 MW Windanlagen, sowie 350 MW solarthermische Kraftwerke und rund 1000 MW Photovoltaikanlagen stellen mit knapp 90 TWh/a Jahresproduktion etwa 0,6% des Strombedarfs zur Verfügung. Die Windenergie hat dabei derzeit mit rund 2 500 MW/a außerordentlich hohe Zuwachsraten.

2. Die Ausgangslage in den Entwicklungsländern

Unter dem Begriff „Entwicklungsländer“ sind laut /UN 1999/ 124 Länder subsummiert, die sehr unterschiedliche Strukturen, Einkommensverhältnisse und entsprechend auch Energieverbräuche aufweisen. Darunter befinden sich relativ wohlhabende Länder, wie Korea oder Kuwait und äußerst arme Länder wie Mozambique oder Athiopien. Zur besseren Differenzierung werden die Entwicklungsländer deshalb in drei Gruppen aufgeteilt entsprechend ihrer Rangfolge beim „Human Development Index (HDI)“ der UN und zwar nach hoch entwickelten (HDC), mittel entwickelten (MDC) und gering entwickelten Ländern (LDC). Die erste Gruppe überlappt hinsichtlich ihrer charakteristischer Daten wie Pro-Kopf-Einkommen und –Energieverbrauch, Bildungsstand, Lebenserwartung u.ä. mit der Untergruppe „GUS und osteuropäische Staaten“ der Kategorie Industrieländer.

Das starke Gefälle zwischen Industrieländern und Entwicklungsländern machen die Kenndaten in **Bild 2** deutlich. 21% der Weltbevölkerung in den Industrieländern produziert (und konsumiert) über 80% der weltweiten Güter und Dienstleistungen, verbraucht dafür 70% der kommerziellen Primärenergie (73% der Elektrizität) und emittiert 63% der globalen CO2-Emissionen.

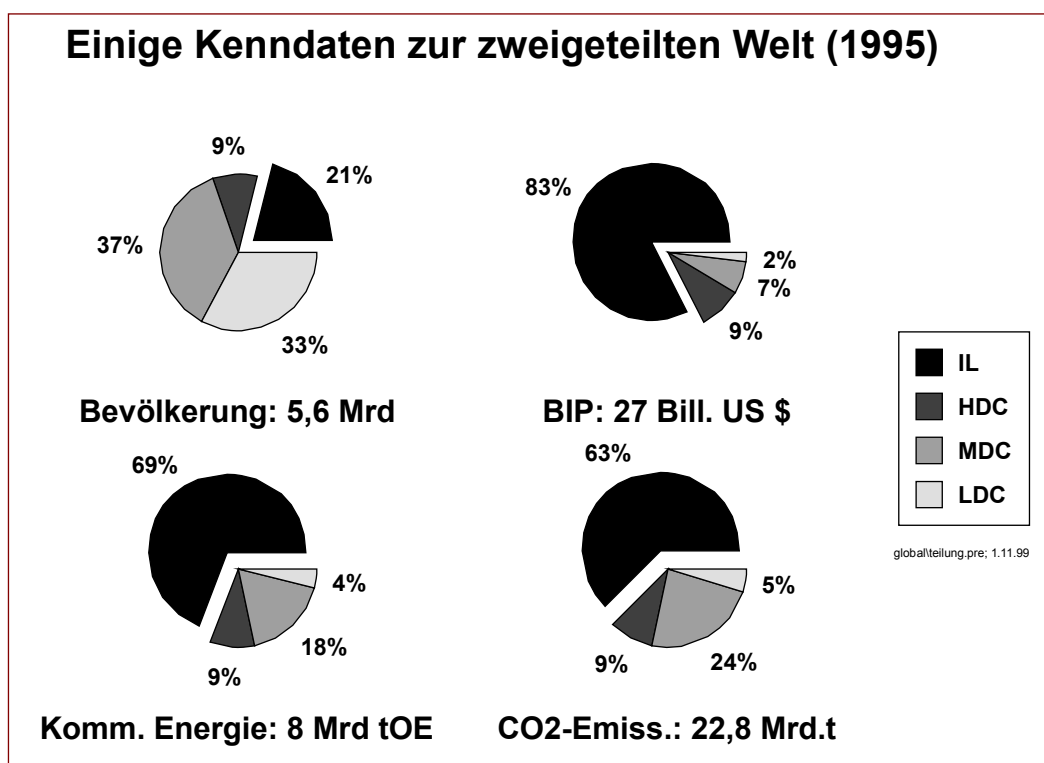


Bild 2: Aufteilung einiger Kenndaten auf die Gruppe der Industrieländer und auf drei Gruppen von Entwicklungsländern.

Dagegen müssen sich 33% der Weltbevölkerung in den LDC mit 2% des Wohlstands und 4% der kommerziellen Energie begnügen. Sie sind dafür auch nur für 5% der globalen CO2-Emiss-

sionen „verantwortlich“. Die auf Gruppen bezogenen Durchschnittswerte glätten dabei noch die extremen Spreizungen der länderspezifischen Kennwerte. Vergleicht man diese (**Bild 3**), werden die Kontraste deutlicher. So verbraucht der Durchschnittsamerikaner 25-mal mehr Energie pro Kopf als der Durchschnittsafrikaner und liegt damit um das 5-fache 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 Welt-durchschnitt.

Aus der Sicht der Energieversorgung werden Entwicklungsländer gewöhnlich mit „dezentralen“ (d.h. nicht oder nur wenig vernetzten) Versorgungsstrukturen gleichgesetzt, also mit isolierten Verbrauchern, die keinen Zugang zu einem (größeren) Stromnetz haben und die wegen schlechter Verkehrsinfrastrukturen nur in geringem Maße über (teures) Öl verfügen. Dies trifft heute in der Tat für rund zwei Drittel (knapp 3 Mrd. Menschen) der Bevölkerung der Entwicklungsländer bzw. die Hälfte der Menschheit zu. Rund 2 Mrd. Menschen verfügen über keine Stromversorgung aus überregionalen oder dezentralen Stromnetzen. Sie sind im wesentlichen auf die MDC und LDC konzentriert. Dort ist auch der Verbrauch nichtkommerzieller Energie (also von Brennholz hauptsächlich für Kochzwecke), der auf rund 10% des globalen Energieverbrauchs geschätzt wird (IEA 1999) am höchsten. Er ist in den LDC nahezu ebenso hoch wie der Verbrauch kommerzieller Energie und beträgt in den MDC immerhin noch 20 – 25% des Gesamtverbrauchs. Vielen Menschen in diesen Ländern gelingt ein Überleben nur dank des zeitaufwendigen, unproduktiven Sammelns von Brennholz.

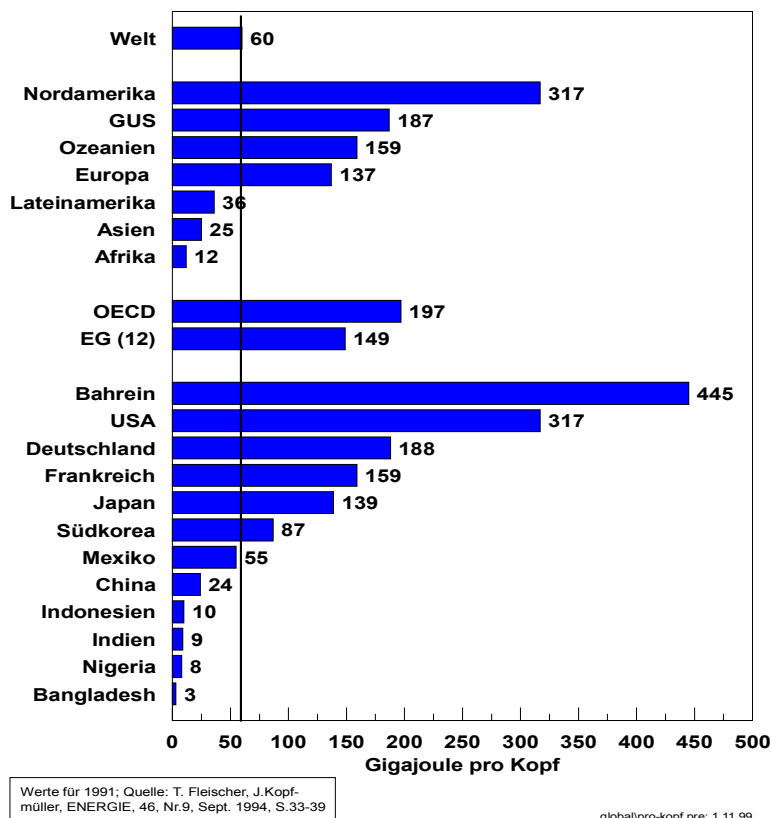


Bild 3: Pro-Kopf-Verbräuche an kommerzieller Primärenergie in einigen Ländergruppen, Kontinenten und Einzelländern

Gleichzeitig befinden sich die Entwicklungsländer in einem unaufhaltsamen Urbanisierungstrend (**Bild 4**). Bereits in 15 Jahren werden die Hälfte ihrer Menschen (2015 insgesamt 5,9 Mrd.) in Städten wohnen, die i. allg. deutlich größer sind, als die der nördlichen Hemisphäre. Von den derzeit 15 Städten über 10 Mio. Einwohner befinden sich 11 mit zusammen 140 Mio. Menschen in den Entwicklungsländern, wobei Mexico 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.

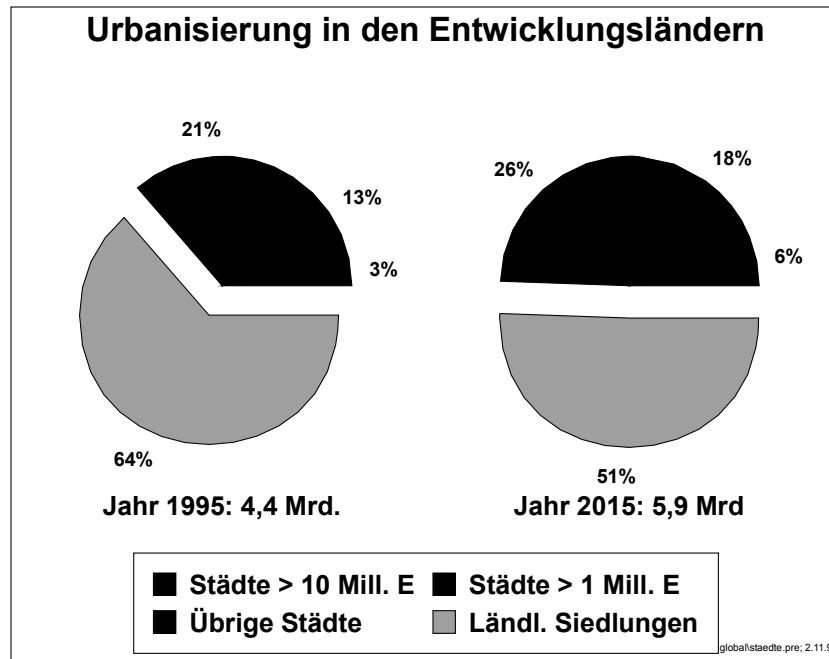


Bild 4: Verteilung der Bevölkerung der Entwicklungsländer auf ländliche Regionen und Städte verschiedener Größe in den Jahren 1995 und 2015.

Diese Entwicklung ist auch für die Ausgestaltung der zukünftigen Energieversorgung von großer Bedeutung. Sie muß **gleichermaßen für beide Bereiche** nachhaltige Lösungsansätze anbieten. Auf der einen Seite gilt es, mit „angepaßten“ dezentralen Technologien, wie Kleinwasserkraft, Photovoltaik, effiziente Biogas- und Biomassenutzung möglichst rasch die Grundbedürfnisse nach Energie für die Landbevölkerung auf der Basis erneuerbarer Energien sicherzustellen und damit auch den Urbansierungstrend möglicherweise zu verlangsamen. Auf der anderen Seite müssen ebenso dringlich größere, „zentrale“ Anlagen auf der Basis von EEQ, also netzgekoppelte Windparks, Wasserkraftwerke in angemessener Größe und solar thermische Kraftwerke Teil einer Entwicklungsstrategie sein. Auch Effizienzverbesserungen bei der Erzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung, GuD-Kraftwerke), der Verteilung und erst recht der Nutzung von Energie in Ballungsräumen und städtischen Regionen, aber auch in ländlichen Gebieten, sind von enormer Bedeutung.

Prägnant ausgedrückt sollte die Entwicklungsstrategie für die Energieversorgung der Entwicklungsländer wie folgt lauten: Während in den Industrieländern eine „Neuoptimierung“ der Energieversorgungsstrukturen in Richtung von mehr „Dezentralität“ stattfindet, hervorgerufen durch technologische Entwicklungen (z.B. bei Gasturbinen, Brennstoffzellen, Wind, neue Biomasse sowie Informationstechnologien und damit bei Regelung, Überwachung und Steuerung) und durch die fortschreitende Liberalisierung der Energiemärkte (geringere Kapitalbindung, kürzere Planungs- und Bauzeiten, höhere Flexibilität und Reaktionsfähigkeit), sollte in den Entwick-

lungsländern von vornherein eine möglichst „optimale“ Kombination von dezentralen und zentralen Energieversorgungstechnologien aufgebaut werden. Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten, d.h. auch unter der Prämisse auf lange Sicht einen möglichst hohen Anteil von EEQ mobilisieren zu können, lautet die Alternative nicht „zentral“ oder „dezentral“, sondern sie liegen in der effizientesten und zweckmäßigsten Vernetzung von Anlagen unterschiedlicher Größe und Leistung. Die Entwicklungsländer könnten mit Hilfe der Industrieländer möglicherweise den Weg dorthin „abkürzen“ – also eine wesentliche Möglichkeit nutzen, Entwicklungsdefizite aufzuholen.

3. Entwicklungstendenzen und Schlußfolgerungen für die zukünftige Energieversorgung

3.1 Wachstum der Energienachfrage und Klimaschutz

Seit Beginn der Industrialisierung ist die Energieversorgung durch ein ungebrochenes, im Vergleich zum Bevölkerungswachstum deutlich überproportionales Wachstum des Energieverbrauchs gekennzeichnet (**Bild 5**). Während die Weltbevölkerung seit 1870 um den Faktor 4,3 auf jetzt 6 Mrd. Menschen stieg, wuchs der kommerzielle Energieverbrauch um den Faktor 60 (!) auf derzeit 12,4 Mrd. t SKE/a (bzw. 11,6 TWa/a), dementsprechend der mittlere Pro-Kopf-Verbrauch um den Faktor 14. Entsprechend folgte der Anstieg der globalen CO₂-Emissionen, die jetzt knapp 23 Mrd. t CO₂/a erreicht haben. Historisch wichtige Einschnitte, wie der 2. Weltkrieg, die Ölpreiskrisen und der gravierende Rückgang der Industrieproduktion in den Staaten der früheren Sowjetunion haben an diesem Wachstumstrend nichts grundsätzliches geändert. Die Grafik weist auch darauf hin, daß das eigentlich rasante Wachstum erst ab etwa 1950 eingetreten ist. Während rund 25% der seit 1870 kumulierten CO₂-Emissionen (920 Mrd. t CO₂) in den 80 Jahren bis 1950 entstanden, wurden in den 45 Jahren bis 1995 die übrigen 75% emittiert. Da das damit verknüpfte Wachstum vornehmlich in den Industrieländer stattfand,

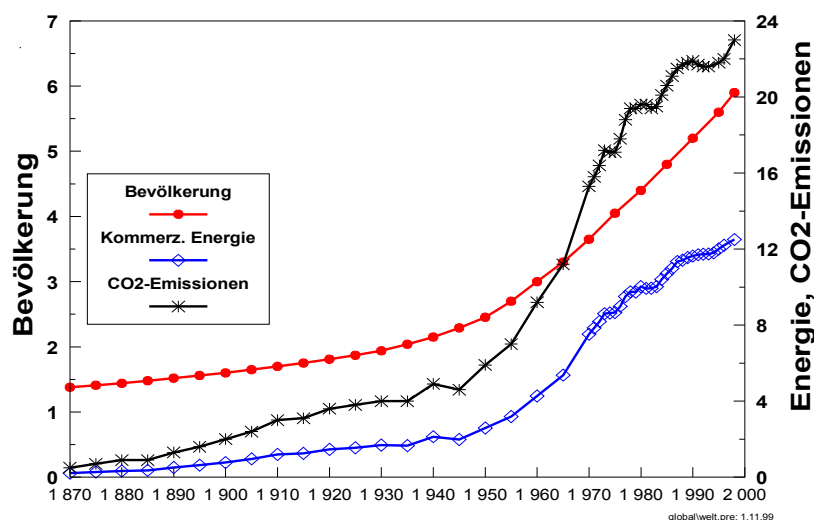


Bild 5: Historisches Wachstum der Weltbevölkerung (Mrd.), des globalen kommerziellen Energieverbrauchs (Mrd. t SKE/a) und der damit verbundenen CO₂-Emissionen (Mrd. t CO₂/a).

sind diese in der Gesamtbilanz für **rund 90%** der bis heute durch den Energieeinsatz entstandenen CO₂-Emissionen verantwortlich.

Da die Weltbevölkerung im Jahr 2050 bei knapp 10 Mrd. Menschen liegen wird, wäre eine ungebrochene Fortschreibung dieser Wachstumstendenz mit einer weiteren, enormen Zunahme des globalen Energieverbrauchs verbunden. Dieses Wachstum würde eintreten, wenn der heutige Lebens- und Konsumstil der westlichen Industrieländer auf die Volkswirtschaften der Entwicklungsländer übertragen würde, also ähnliche Pro-Kopf-Verbräuche an Energie angestrebt würden. Eine Vervier- bis Verfünffachung des heutigen globalen Energieverbrauchs wäre die Folge, was offensichtlich sowohl aus Ressourcengründen, als auch aus Gründen des Klimaschutzes unmöglich ist. Am Beispiel des Szenarios A2 des World Energy Council (WEC; 1995; **Bild 6**) wird deutlich mit welchen Konsequenzen für die globalen CO₂-Emissionen eine derartige „Laufenlassen“ der historischen Entwicklung verbunden wäre. Aus Klimaschutzgründen muß dagegen eine Verringerung der globalen CO₂-Emissionen bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts angestrebt werden, wenn die durch menschliche Eingriffe entstehenden Klimaeränderungen in tolerierbaren Grenzen gehalten werden sollen (z.B. lt. Empfehlung der Enquete-Kommission: „Schutz der Erdatmosphäre“ auf rund 50% des heutigen Wertes; Bild 6, gestrichelte Linie). Nur sogenannte „ecologically driven scenarios“, wie das Szenario WEC C oder – allerdings mit großer zeitlicher Verzögerung – das Shell 1995-Szenario zeigen tendenziell in die „richtige“ Richtung. In diesen Szenarien spielen rationellerer Energieeinsatz und EEQ eine zentrale Rolle.

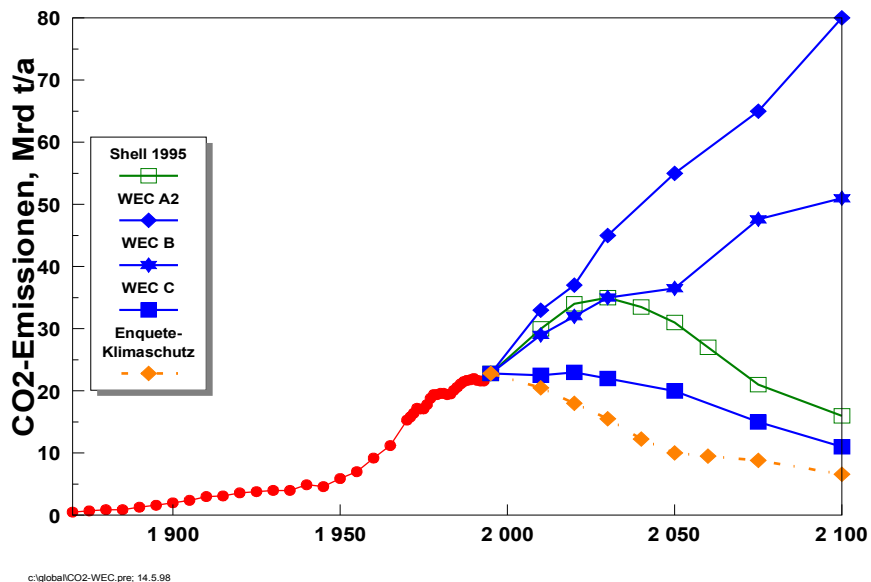


Bild 6: Die Entwicklung der CO₂-Emissionen in verschiedene Szenarien des World Energy Council, im Shell 1995 – Szenario und die Empfehlung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zur Reduktion der CO₂-Emissionen.

Nicht zuletzt durch derartige Überlegungen und Szenarien ist die überragende Bedeutung der EEQ für die zukünftige Energieversorgung inzwischen erfreulicherweise weitgehend erkannt worden. Zahlreiche Untersuchungen zum zukünftigen Weltenergieverbrauch gehen - ungeachtet ihrer sonstigen Annahmen zum Ausmaß einer rationelleren Energienutzung und dem Beitrag der Kernenergie - stets von beträchtlichen Beiträgen der EEQ zur Mitte des nächsten Jahrhunderts aus (**Bild 7**; /Shell 1995; WEC 1995; Johansson 1993/). Die potentiellen EEQ-Beiträge reichen bis zu 20 Mrd. t SKE/a (Shell-Szenario), also mehr als dem derzeitigen gesamten

Weltenergieverbrauch und tragen mit Anteilen zwischen 25 % und 75 %² zur Versorgung bei. Aus potentielseitiger Sicht sind derartige Beiträge der EEQ entsprechende obigen Ausführungen (vgl. Tabelle 1) durchaus vorstellbar.

Allerdings hält ihr derzeitiger Ausbau mit den derzeitigen Wachstumsraten des globalen Energieverbrauchs bei weitem nicht Schritt. Zwischen den langfristigen Erwartungen der Szenarien und den derzeitigen Gegebenheiten bestehen unübersehbare Widersprüche. Konsequente Ansätze, in Richtung eines deutlich wachsenden EEQ-Anteils am Weltenergieverbrauch innerhalb weniger Jahrzehnte hinzuwirken, beschränken sich auf wenige Länder (z.B. Dänemark). Es ist derzeit noch nicht erkennbar, wie die erforderliche globale Wachstumsdynamik der EEQ daher rechtzeitig in Gang kommen soll.

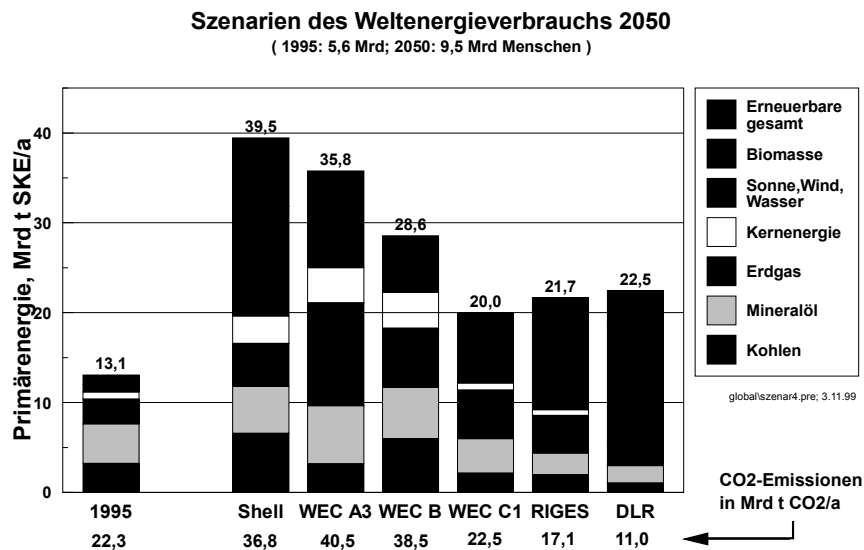


Bild 7: Verschiedene aktuelle Szenarien des Weltenergieverbrauchs für das Jahr 2050 und Vergleich mit dem derzeitigen Verbrauch (Weltbevölkerung 2050: 9,5 Mrd; Shell = Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ /Shell 1995/; WEC = Weltenergiekonferenz 1995 ; RIGES = „Renewable-intensive Global Energy Scenario“ /Johansson et.al 1993/; DLR = eigene Berechnungen, 1999); 1 Mrd. t SKE/a = 29,3 EJ/a

Sollen derartige Szenarien eine realistische Chance bekommen, so ist es von entscheidender Bedeutung, daß Länder, welche

- zum einen bereit sind, eine besondere Verantwortung für den Klimaschutz zu übernehmen (und dies durch entsprechende Selbstverpflichtungen bereits dokumentiert haben),
- zum anderen wirtschaftlich besonders leistungsstark sind (und damit auch ein großes Interesse haben, mit Zukunftstechnologien neue Märkte zu schaffen)
- und drittens einen relativ hohen Pro-Kopf-Energieverbrauch haben (und damit überproportional zu Emissionen von Treibhausgasen beitragen).

² Trotz großer REG-Beiträge und steigender Kernenergiebeiträge erreichen Szenarien, welche die herkömmliche Wachstumsdynamik in den Industrieländern fortschreiben und diese auch auf die Entwicklungsländer übertragen **keine** Reduktion der globalen CO₂-Emissionen (Shell, WEC A, WEC B). Dies unterstreicht die enorme Bedeutung einer weltweit wesentlich rationelleren Energienutzung, wie sie in den Szenarien WEC C, RIGES, DLR unterstellt wurde

eine wirksame Strategie zur Mobilisierung von EEQ rechtzeitig entwickeln und umsetzen. Deutschland und damit auch Baden-Württemberg erfüllen zweifellos diese Eigenschaften. Sie müssen daher besonders daran mitwirken, obigen Szenarien konkrete, nationale und landesspezifische Anstrengungen folgen zu lassen. Als anerkanntes Minimalziel gilt inzwischen eine Verdopplung des Beitrags von EEQ bis zum Jahr 2010 /EU-Weissbuch 1998; BMU 1999/. Für die nationale Energiepolitik sind zwischenzeitlich einige positive Ansätze in dieser Hinsicht erkennbar (z.B. Stromeinspeisungsgesetz und dessen beabsichtigte Fortschreibung, Förderprogramme, stufenweise Anhebung von Energiepreisen durch Öko-Steuer; (vgl. auch /UBA 1999/). Aber auch diese reichen in der jetzigen Form noch nicht vollständig aus, dieses Verdopplungsziel sicher innerhalb eines Jahrzehnts zu erreichen.

3.2 Szenario einer nachhaltigen solaren Energiewirtschaft

Am Beispiel des obigen „DLR“ – Szenarios aus Bild 7 können die erforderlichen Anstrengungen und Strukturveränderungen auch im Hinblick auf die Entwicklungsländer verdeutlicht werden, die unternommen werden müssen, wenn sowohl

- auf globaler Ebene die Auswirkungen einer Klimaveränderung in tolerierbaren Grenzen gehalten,
- als auch den Entwicklungsländern zu einer ausreichenden, umweltverträglichen und sicheren Energieversorgung verholfen

werden soll (**Bild 8**). Im Hinblick auf den Energieeinsatz gilt es gleichzeitig „Überfluß“ in den meisten Industrieländern, als auch „Mangel“ in den Entwicklungsländern zu bekämpfen. Dies bedarf einer Strategie, die auf den Säulen: „Reduzierung des (spezifischen) Energieverbrauchs bei Wandlung und Nutzung durch technische und strukturelle Maßnahmen in praktisch allen Ländern“ und „Ausbau von EEQ auf der Basis dieser effizienteren Energieversorgungsstrukturen“ beruht. Diese Strategie ermöglicht es, daß eine Angleichung der Lebensverhältnisse – ausgedrückt durch den Pro-Kopf-Verbrauch an Primärenergie – zwischen IL und EL stattfinden kann. Erstere können ihren absoluten Energieverbrauch – bei noch wachsender Energiedienstleistung – auf etwa die Hälfte verringern und lassen so genügend Spielraum für eine **Vervierfachung** des Energieverbrauchs in den Entwicklungsländern (etwa Verdopplung der Anzahl Menschen und im Mittel Verdopplung des Pro-Kopf-Verbrauchs an Energie). Insgesamt steigt so die globale Nachfrage nach Primärenergie proportional zur wachsenden Zahl der Menschen, also um rund 70%, (linke Seite in Bild 8) auf dann 21 TWa/a (bzw. 22,5 Mrd. tSKE/a) bis zum Jahr 2010. Davon entfielen dann auf die Entwicklungsländer 75%. Auch die Entwicklungsländer durchlaufen bei diesem Auf- und Umbau ihrer Energieversorgung einen Übergang zu wesentlich effizienteren Energiewandlungs- und Nutzungsstrukturen, was sich in einer deutlichen Absenkung ihrer derzeit extrem hohen Energieintensitäten (Quotient aus Energieeinsatz zu Bruttoinlandsprodukt) ausdrückt.

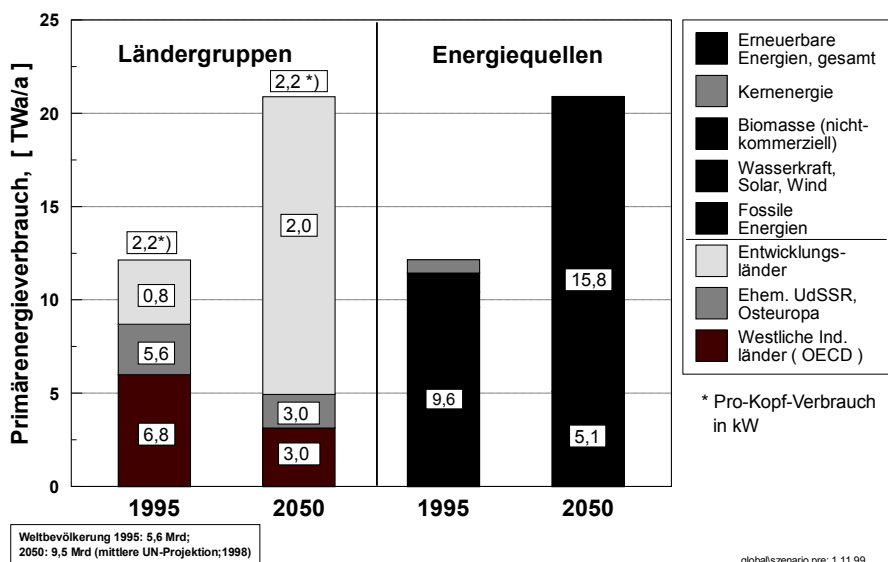
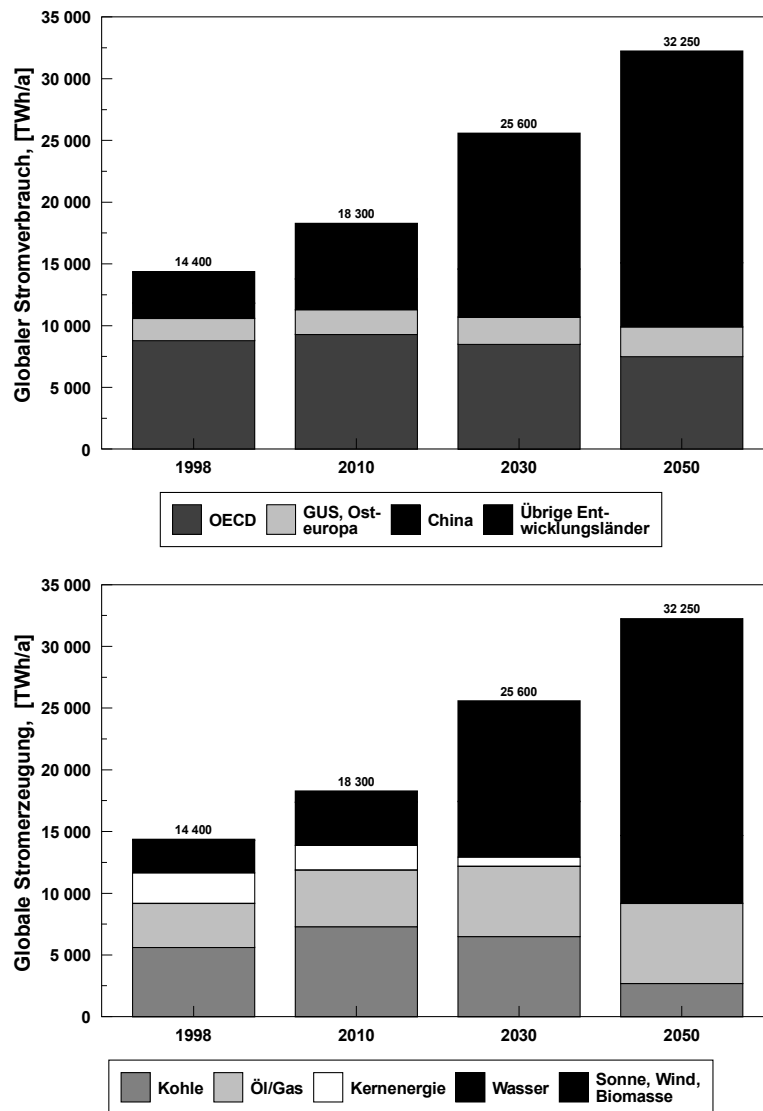


Bild 8: Struktur des globalen Primärenergieverbrauchs 1995 und des Langfristszenarios „Solaren Energiewirtschaft“ für das Jahr 2050 nach Ländergruppen (links) und Energiequellen (rechts). Die Zahlenwerte in den Kästen der linken Seite stellen die jahresdurchschnittliche Pro-Kopf-Leistung in kW (= Pro-Kopf-Verbrauch in kW/a) in der jeweiligen Ländergruppe dar.

Um gleichzeitig eine Halbierung der globalen CO₂-Emissionen zu erreichen, um zu vermeiden, daß die risikoreiche und mißbrauchsfähige Energietechnologie Kernenergie an die Stelle fossiler Energien tritt und unter der Voraussetzung, daß nur ökologisch verträgliche EEQ-Technologien eingesetzt werden (also auch Abbau der nicht nachhaltigen Brennholznutzung), ist der Beitrag „nachhaltiger“ EEQ gegenüber heute um das **Fünffehnfache auf knapp 16 TWa/a** (bzw. 17 Mrd. t SKE/a) zu steigern. Das sind 30% mehr als der gesamte derzeitige Weltenergieverbrauch, aber weniger als der im Shell-Szenario angenommene EEQ-Beitrag – einem Szenario, welches der rationelleren Energienutzung wenig Wert beimißt und welches das globale Klimaschutzziel bis 2050 deutlich verfehlt, (Bild 8, rechte Seite).

An der Veränderung von Stromverbrauch und Stromerzeugungsstruktur dieses Szenarios werden die gewaltigen Herausforderungen deutlich, vor der Industrie- und Entwicklungsländer stehen, wenn beide oben genannten Zielsetzungen parallel erreicht werden sollen. Die derzeitigen Unterschiede zwischen IL und EL im Pro-Kopf-Verbrauch von Elektrizität sind mit einem Faktor Zehn besonders groß und damit ist auch der „Nachholbedarf“ der EL beträchtlich. Gleichzeitig sind die Reduktionsmöglichkeiten im Stromverbrauch durch technische Fortschritte bei Elektrogeräten, -motoren und sonstigen Anwendungen relativ geringer als in den Bereichen Wärmeerzeugung und Fahrzeugantriebe; tendenziell sind auch Zuwächse im Stromverbrauch zu erwarten durch weitere Anwendungsfelder, wie etwa den Verkehrsbereich. Dies bedeutet, daß die weltweite Stromnachfrage stärker wachsen wird, als der Gesamtenergieverbrauch. Während letzterer in dem Szenario entsprechend Bild 8 um 70% bis 2050 zunimmt, steigt der Stromverbrauch um das 2,2-fache (**Bild 9, oben**). Dabei wird in den OECD-Ländern ein 15%-iger Rückgang vorausgesetzt (beim Pro-Kopf-Verbrauch sogar um 30%), was auf den hohen Stellenwert des rationelleren Stromeinsatzes in diesem Szenario hinweist.



globalstrom2.pre; 3.11.99

Bild 9: Zukünftiger globaler Stromverbrauch (oben) nach vier Gruppen von Ländern und Deckungsanteile durch fossile, nukleare und solare Energiequellen im Szenario: „Solare Energiewirtschaft.“

Die Entwicklungsländer haben bis zu diesem Zeitpunkt ihren Pro-Kopf-Verbrauch an Strom zwar mehr als verdreifacht, liegen aber mit knapp 3 000 kWh/Kopf, a erst bei 40% des Wertes der OECD-Länder. Bedeutendster Energieträger bei der Stromerzeugung ist heute mit knapp 40% die Kohle. Dies allein bewirkt rund 25% der globalen CO₂-Emissionen (und 85% der insgesamt durch die Stromerzeugung hervorgerufenen CO₂-Emissionen). Diese Rolle wird die Kohle auch bei großen Anstrengungen zur Mobilisierung der EEQ auch für die nächsten 20 bis 30 Jahre beibehalten (**Bild 9, unten**). Die Stromerzeugung aus Gas wird an Bedeutung gewinnen und wird längerfristig die Kohle vom ersten Platz der fossilen Energieträger bei der Stromerzeugung verdrängen, wenn dem Klimaschutz in den energiepolitischen Zielsetzungen der Staaten eine gleichwertige Bedeutung neben anderen Zielen eingeräumt wird. Für eine zeitgerechte Mobilisierung von EEQ ist es von entscheidender Bedeutung, ob die zu erwartenden Zuwächse der Stromnachfrage bereits im nächsten Jahrzehnt zu merklichen Anteilen auch durch sie gedeckt werden. Dies bedeutet, daß bei jeder Investitionsentscheidung im Kraftwerksbereich EEQ eine gleichberechtigte Option sein müssen. Das Szenario geht davon aus,

daß bereits im nächsten Jahrzehnt **ein Drittel des Neuzubaus** an (zentraler und dezentraler) Kraftwerkskapazität aus EEQ-Anlagen besteht. Substantielle Beiträge können dabei in diesem Zeitabschnitt nur von der Wasserkraft, der Windenergie und von solarthermischen Kraftwerken kommen. Für die beiden letztgenannten Technologien liegen konkrete Vorschläge vor /Trieb 1998; Wind 1999/, wie dies bewerkstelligt werden kann. Werden diese Vorschläge zeitgerecht umgesetzt, so sind die EEQ-Technologien auch ökonomisch attraktiv genug, um die Kernenergie aus der Stromerzeugung zu verdrängen, wobei ihnen liberalisierte Energiemärkte zusätzlich helfen. Im Erfolgsfall können EEQ zur Jahrhundertmitte zu rund 70% zur globalen Stromerzeugung beitragen, wobei sich der Beitrag der Wasserkraft gegenüber heute etwa verdoppelt und Strom aus Solarstrahlung (solarthermische und photovoltaische Anlagen in allen Leistungsklassen), Wind, Geothermie und Biomasse dann insgesamt mit **17 500 TWh/a** zur Deckung des Bedarfs beiträgt, also mit 20% mehr die gesamte derzeitige weltweite Stromerzeugung. Fossile Energieträger erzeugen dann noch ebensoviel Strom wie heute (9 200 TWh/a), allerdings mit einem stark nach Erdgas verschobenen Mix, so daß die strombedingten CO₂-Emissionen mit 4,9 Mrd. t CO₂/a um rund 20% geringer sind als heute. Diese Kraftwerke fügen sich sehr günstig in eine solar-fossile Kraftwerksstruktur ein, da sie gut dazu beitragen können, die durch eine verstärkte Nutzung von EEQ (Wind, Photovoltaik) hervorgerufenen Fluktuationen auszugleichen.

4. Märkte und Chancen beim Aufbau einer nachhaltigen Energieversorgung.

Aufrechterhaltung und weiterer Ausbau der Energieversorgung erfordern bereits ohne die oben genannten ehrgeizigen Zielsetzungen zum Klimaschutz und zur ausreichenden Energieversorgung für die Entwicklungsländer einen beträchtlichen Aufwand. Rund 4 -5% des globalen Bruttoinlandsprodukts, also etwa 1 000 Mrd. US-\$/a werden jährlich dafür aufgewandt. Für die verstärkte Einführung von EEQ sind anfangs noch zusätzliche Aufwendungen erforderlich, um die Kostenbarrieren, bestehend aus derzeit niedrigen Preisen in der konventionellen Energieversorgung und zu hohen Kosten der EEQ infolge unzureichend großer Märkte und unausgeschöpfter technischer Potentiale zu überwinden.

Für die meisten EEG - Technologien existieren noch beträchtliche Kostensenkungspotentiale (**Bild 10**, /Nitsch 1998/). Bis 2010 kann beispielsweise das Kostenniveau für Windenergie bei 75 - 80% der heutigen Werte liegen, wobei ein etwa gleichbleibender jährlicher Anlagenverkauf vorausgesetzt wird. Alle anderen Technologien benötigen beträchtlich steigende Marktvolumina. Eine Halbierung der PV - Kosten ist bei einem 15 - 20-fachen jährlichen Marktvolumen möglich, Kollektoren können (auf der Basis mittlerer und großer Anlagen) beim 10-fachen Marktvolumen um 40 bis 50% preisgünstiger werden. Solarthermische Kraftwerke mit heute bereits günstigen Stromgestehungskosten benötigen eine „Initialzündung“, die sie auf ein Marktvolumen von etwa 800 MWel/a bringt (z.B. entsprechend dem Ausbauvorschlag des Programms „Synthesis“ des DLR /Trieb 1998/ mit 7000 MW Gesamtleistung bis 2010) um ihre Kostensenkungspotentiale ausspielen zu können. Selbst die „konventionelle“ Anlagentechnik der Biomassenutzung erlaubt noch Kostenreduktionen.

Ein Beispiel für die beträchtlichen bereits erreichten Kostensenkungen liefert die Windenergie (**Bild 11**). Von ursprünglichen 4000 - 5000 DM/kW sanken die spezifischen Investitionskosten von Windkonvertern auf Werte um 1600 -1800 DM/kW (ab Werk), während die kumulierte Produktion auf das rund 1000-fache stieg. Der daraus ableitbare Lernfaktor f, der die Kosten-

Mittelfristige Kostenniveaus bei zügigem REG-Ausbau

	Wind- energie	Photo- voltaik	Solarth. Kraftw.	Kollektoren	Biomasse
Mittlere Energie- kosten 1997 (Pf/kWh; 6% Zins)	18,5 *)	165 **)	18,0	45	Strom: 10 - 25 Wärme: 5 - 15
um 2010***)	0,75 - 0,80	0,40 - 0,50	0,65 - 0,70	0,50 - 0,60	0,85 - 0,90
2020 - 2030 ***)	0,65 - 0,70	0,25 - 0,30	0,60 - 0,65	0,35 - 0,40	0,80 - 0,85
Erforderliches Marktvolumen in 2010	etwa konstant	20 - 30 fach	800 MW(el)/a	ca. 10-fach	ca. 10-fach

*) Küstenstandort, **) Mitteleuropa, 865 kWh/kWp, ***) 1996 = 1,00 gesetzt

©langfristkostengr, 4.1.99

Quelle: Eigene Berechnungen (Langfristkosten, 1998)

Bild 10: Heutige Gestehungskosten erneuerbarer Energien in Deutschland (Solarkraftwerke im Mittelmeerraum) und mittelfristig erreichbare Kostenniveaus bei einem zügigem Aufbau größerer Martvolumina.

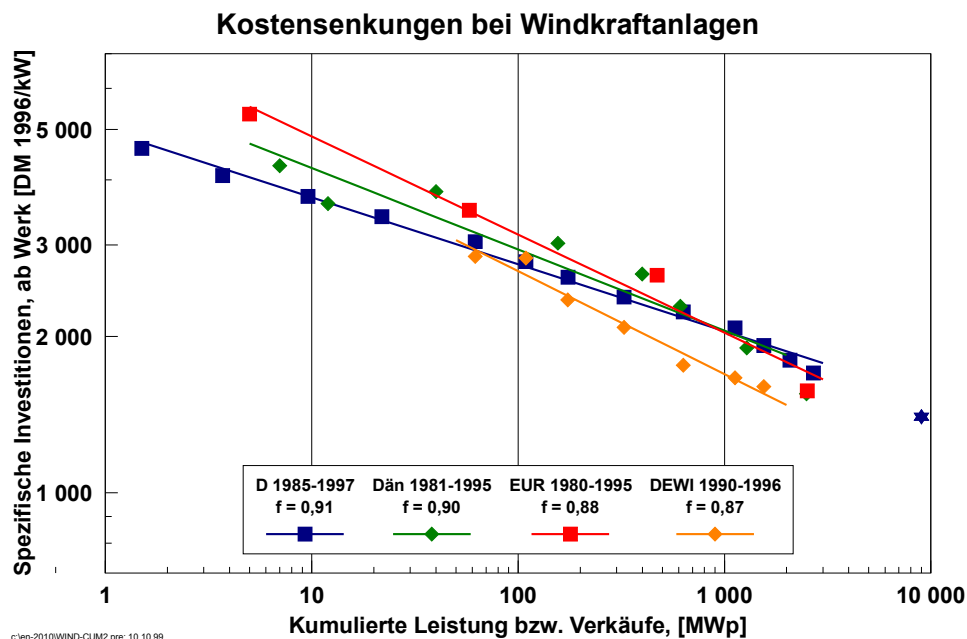


Bild 11: Kostenentwicklung von Windkraftanlagen in verschiedenen Zeiträumen und Bezugsregionen und daraus abgeleitete Lernfaktoren.

reduktion bei einer Verdopplung der kumulierten Produktion kennzeichnet, liegt für verschiedene Auswertungen für die Windenergie zwischen 0,87 und 0,91. Die genannten 20 - 25% Kostenreduktion dürften daher bei einer kumulierten Leistung um 8000 - 10000 MW erreicht werden, also für Deutschland etwa im Jahr 2005, wenn das derzeitige Wachstum anhält. Auswertungen für andere EEQ - Technologien kommen zu ähnlichen Ergebnissen, wobei die Photovoltaik mit $f = 0,78$ den günstigsten Lernfaktor aufweist; Kollektoren liegen bei 0,85 - 0,88 und Biomasseanlagen bei 0,95.

Stabilisiert sich die weitere Marktentwicklung nach der wichtigen Einstiegsphase bis 2010 auf hohem Niveau, was durch die Verwirklichung beispielsweise obigen Szenarios in jedem Fall gewährleistet wäre, so sind längerfristig (2020 bis 2030) Kostenniveaus erreichbar, die deutlich unter den heutigen Kosten der EEQ - Nutzung liegen. Da gleichzeitig die Preise für die konventionelle Energieversorgung mittelfristig mit großer Sicherheit ansteigen dürften, werden sich dann EEQ auf einem liberalisierten Energiemarkt durchaus erfolgreich behaupten können. Voraussetzung ist eine entsprechend vorausschauende Energiepolitik, die heute bereits durch entsprechende **Marktanreizprogramme für den Inlandsmarkt und die Unterstützung beim Aufbau von Exportmärkten** die noch notwendige Unterstützung der EEQ leistet. Die Verknüpfung beider Strategieelemente ist dabei von enormer Bedeutung. Erfolgreiche Exportmärkte können nur aufgebaut werden, wenn in Inlandsmärkten technischer Fortschritt und Kostenreduktion demonstriert werden und gezeigt wird, dass die EEQ für die anspruchsvolle Energieversorgung eines hochentwickelten Industrielandes brauchbar sind und auch selbst genutzt werden. Dabei ist es nicht in jedem Fall erforderlich, alle Systeme direkt im Land zu nutzen – was für photovoltaische Inselssysteme nur begrenzt möglich und für solarthermische Kraftwerke nicht sinnvoll ist. Erforderlich ist es jedoch auch bei solchen Systemen in Forschung, Entwicklung, Demonstration tätig zu sein und beim Komponentenbau, der Anlagenkonzipierung, der Errichtung und dem Betrieb beteiligt zu sein.

Betrachten wir nur die Einstiegsphase des Szenarios bis 2010 so beträgt allein die im Jahresmittel zu installierende elektrische Leistung an EEQ (ohne Wasserkraft) ca. 25 000 MW/a. Der globale Investitionsbedarf für EEQ – Anlagen in diesem Zeitraum liegt im Mittel bei rund 200 Mrd. bis 250 Mrd. DM/a. Hierin sind neben Wasser-, Wind- sowie solarthermischen und geothermischen Kraftwerken auch dezentrale Photovoltaik-, Biomasse-, Biogas- und Kollektoranlagen enthalten. Kann Deutschland etwa 10% dieses Weltmarktes durch eigene Anlagen, Komponenten oder Anlagenplanung und –bau abdecken, so entstünde daraus ein Umsatzvolumen von **20 Mrd. DM/a** für den Export von EEQ-Technologien. Der derzeitige Inlandmarkt für EEQ liegt bei knapp 4 Mrd. DM/a womit 20 000 – 30 000 Arbeitsplätze gesichert werden. Hinzu kommt ein positives Exportsaldo von ca. 500 Mio. DM/a, welches hauptsächlich durch die wachsenden Exportmärkte bei der Windenergie getragen wird. Der Exportmarkt ist also mit 10% Anteil am Gesamtumsatz noch relativ unterentwickelt. Auch die Konkurrenzsituation ist teilweise sehr schwierig, da andere Länder sich teilweise bereits bessere Ausgangspositionen geschaffen haben (z.B. Dänemark bei Wind, Biomasse).

Das analog zu obigem Szenario zu verwirklichende Verdopplungsziel bis 2010 in Deutschland erfordert einen Anstieg des inländischen Investitionsvolumens auf ca. 7 Mrd. DM/a (einschließlich Ersatzinvestitionen; /UBA 1999/)³. Dieser Umsatzanstieg im Inland, verbunden mit dem entstehenden Erfahrungsgewinn, den erweiterten Fertigungsstätten und der verbesserten Logistik in Planung, Betrieb und Wartung von Anlagen bietet auch eine sehr gute Voraussetzung, den Exportmarkt in die oben genannte Größenordnung zu bringen und damit relevante Anteile des sich entwickelnden globalen Marktes für EEQ - Anlagen zu erreichen. Voraussetzung dafür ist, daß entsprechende energiepolitische Maßnahmen dieses Verdopplungsziel absichern, wozu noch einige Voraussetzungen fehlen. Dazu gehören u.a. auch wirkungsvolle Finanzierungskonzepte, ein ständiger Technologietransfer und eine möglichst intensive und weitgehende Abstimmung mit den Nutzern bzw. Kunden.

³ Baden-Württemberg ist daran mit etwa 300 Mio. DM/a nur unterproportional beteiligt, da es insbesondere am Umsatz der Windenergie kaum teilnimmt. Es dominiert der Markt für Biomasseanlagen mit rund 160 Mio. DM/a, gefolgt vom Kollektormarkt mit 60 Mio. DM/a. Aus dieser Situation heraus ist es schwierig, sich einen größeren Anteil an einem zukünftigen Exportmarkt zu sichern, ebenso verlangt ein länderspezifisches Verdopplungsziel bis 2010 große Anstrengungen und deutlich verstärkte Förderprogramme.

Ein zukünftiger Exportmarkt für EEQ ist technologisch äußerst vielfältig und überstreicht Anlagen und Komponenten sehr unterschiedlicher Leistung und Größe. Er reicht von bereits etablierten Komponenten bzw. Anlagen wie Wasserturbinen sehr unterschiedlicher Leistung, photovoltaischen Kleinsystemen und effizienten Kochern und Herden über Kleingasturbinen und Motoren (z.B. für Biogas oder zukünftig vergaster Biomasse, Kollektoren und -anlagen, Biomasseheizwerke und Biogasanlagen bis hin zu Windkraftanlagen und -parks steigender Leistung und Komponenten von solarthermischen Kraftwerken. Diese Vielfalt bietet einerseits vielen Branchen insbesondere im mittelständischen Bereich gute Einstiegschancen in einen wachsenden EEQ-Exportmarkt, andererseits erschwert die Unübersichtlichkeit und die zersplitterten Marktsegmente den Aufbau wirkungsvoller Exportstrukturen. Auch hier bedarf es einer Flankierung und Unterstützung durch die Politik in Sachen Exportberatung, Übernahme von Bürgschaften und Aufnahme von EEQ in alle einschlägigen bilateralen und internationalen Wirtschaftsgespräche.

Die frühzeitige Unterstützung des Aufbaus von EEQ-Exportmärkten – mit dem entsprechenden Vorlauf bei heimischen Märkten - und eine intensive Beteiligung daran kann als **eine Betätigung mit mehrfacher Dividende** gesehen werden. Sie nützt nicht nur der Umwelt und insbesondere dem Klima, sondern kann auch dazu beitragen, das Armutsgefälle in der Welt zu verringern und somit auch bestehenden oder zukünftige Konflikte vermeiden helfen. Die EEQ-Techniken selbst sind darüber hinaus ohne Gefährdungen und Mißbrauchsrisiken handelbar. Insbesondere bieten Produktion und Handel in diesem wachsenden Markt aber auch Chancen für die Schaffung stabiler und zukunftsträchtiger heimischer Arbeitsplätze und bei fortschreitendem Technologietransfer und Arbeitsteilung auch in den Entwicklungsländern selbst. Schließlich kann ein Beitrag zum Aufbau von Energieversorgungsstrukturen in Entwicklungsländern mit großen EEQ-Potentialen sie zu begehrten Handelspartnern in einer zukünftigen Energieversorgung machen. Die großen Potentiale der EEQ bieten nämlich auf längere Sicht genügend Möglichkeiten eines diversifizierten Imports von Strom oder solar gewonnenen chemischen Energieträgern nach Mitteleuropa. Aus einer frühen und zielstrebigem partnerschaftlichen Zusammenarbeit können somit ansehnliche „synergetischen“ Potentiale erwachsen, die demjenigen zufallen, der diese Kooperationsmöglichkeiten als Erster ergreift. **Bild 12** / Klimaschutz 1999/ illustriert diese möglichen Synergien am Beispiel einer Kooperation Deutschland – Marokko bei der Nutzung der Wind- und der Sonnenenergie zum Nutzen der Wirtschaft und der Energieversorgung beider Staaten.



Bild 12: Symbolische Darstellung der Vorteile einer Umwelt- und Wirtschaftsallianz eine Industrie- und eines Entwicklungslandes in Form des „synergetischen“ Potentials /Klimaschutz 1999/.

5. Literatur:

- BMU 1999: Erneuerbare Energien und nachhaltige Entwicklung. Broschüre des BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, Juni 1999
- EU-Weissbuch 1998: Energy for the Future – Renewable Sources of Energy. Weissbuch der EU-Kommission, Brüssel, 1998.
- 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
- Klaiß, Staiß 1992: H. Klaiß, F. Staiß: Solarthermische Kraftwerke für den Mittelmeerraum. Springer Verlag, Heidelberg, 1992
- Klimaschutz 1999: Klimaschutzbund Hamburg e.V., G. Knies, Hamburg 1999
- Nitsch 1998: J. Nitsch: Probleme der Langfristkostenschätzung – Beispiel Regenerative Energien. Manuskript, Workshop des Umweltauswahlkommissionen, Fulda, 8. –9.10.1999
- Shell 1995: Energie im 21. Jahrhundert. Studie der Shell-AG, Hamburg, aktuelle Wirtschaftsanalysen 5, Heft 25, 1995
- Trieb 1998: F. Trieb u.a.: Markteinführung solarthermischer Kraftwerke – Chancen für die Arbeitsmarkt- und Klimapolitik. Energiewirtschaftl. Tagesfragen 48 (1998), Heft 6.
- 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 Umweltauswahlkommissionen, Stuttgart, Berlin, Nov. 1999.
- 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 IASA – World Energy Council Report, Luxemburg, 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.