

Ein globales Nachhaltigkeitsszenario

1. Fossile Energien – Motor der heutigen Weltwirtschaft und Hauptverursacher des Klimawandels.

Seit Beginn der Industrialisierung wächst der Energieverbrauch deutlich rascher als die Anzahl der Menschen. Während die Weltbevölkerung seit 1870 bis heute um das Vierfache auf 6 Milliarden Menschen stieg, wuchs der weltweite Energieverbrauch und damit der Verbrauch fossiler Ressourcen an Kohle, Mineralöl und Erdgas um das Sechzigfache auf derzeit 425 EJ/a (EJ = Exajoule). Der Durchschnittsmensch verbraucht also heute 15mal mehr Energie als vor 130 Jahren (**Bild 1**), die Bürger der Industriestaaten noch wesentlich mehr. Historische Einschnitte, wie die beiden Weltkriege, die Ölpreiskrisen oder der gravierende Rückgang der Industrieproduktion in den Staaten der früheren Sowjetunion haben diesen Wachstumstrend nur kurzzeitig unterbrochen. Das eigentlich rasante Wachstum des Energieverbrauchs ist erst ab etwa 1950 eingetreten und allein zwischen 1970 und 2000 hat sich der Weltenergieverbrauch verdoppelt. Auch in absehbarer Zukunft wird sich an diesem Wachstumstrend nichts grundsätzliches ändern.

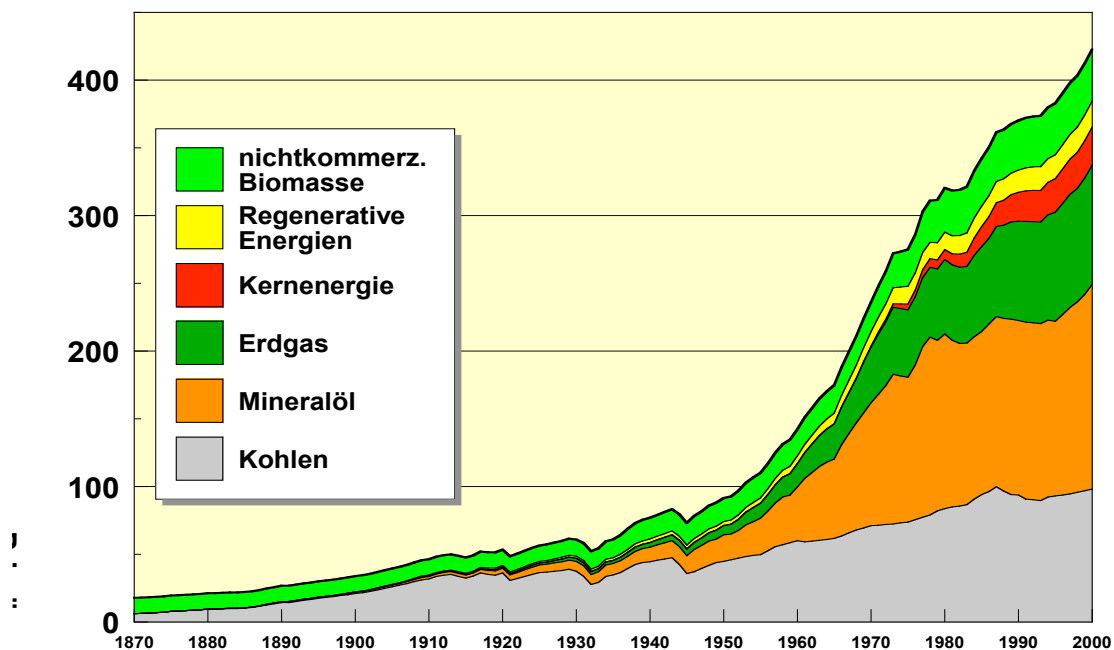


Bild 1: Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs zwischen 1870 und 2001 und seiner Deckung nach Energiequellen einschließlich der nichtkommerziellen Nutzung von Biomasse (Brennholz); IEA-Statistiken u.a., BMU 2004

Zur Zeit stellt der traditionelle Einsatz von Biomasse in Form der nichtkommerziellen Brennholznutzung in zahlreichen wenig entwickelten Ländern 9 % des weltweiten Primärenergieverbrauchs bereit. Die übrigen erneuerbaren Energien, allen voran die Wasserkraft, haben zusammen einen Anteil von 4,5 %. Kernenergie trägt mit 6,7 % zur Deckung des Bedarfs bei. Somit basieren rund 80 % der Weltenergieversorgung auf fossilen Energieträgern, bei der kommerziellen Nutzung sogar 88 %. Sowohl die weltweite als auch die deutsche Ener-

gieversorgung stützen sich also überwiegend auf die endlichen fossilen Energieträger Kohle, Mineralöl und Erdgas. Es ist somit klar, dass selbst bei einem sehr raschen Umsteuern in der Energieversorgung fossile Energien noch Jahrzehnte benötigt werden und dies möglicherweise sogar in größerem Ausmaß als heute.

Es wird voraussichtlich nicht zuerst die Erschöpfung der fossilen Energieressourcen sein, die ein Umdenken über unseren Umgang mit Energie erzwingen wird. Vielmehr ist es die bereits heute vielfach erschöpfte Aufnahmefähigkeit unserer Umwelt für die Abfallprodukte der Energienutzung, insbesondere des Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂), die ein entschlossenes Handeln hin zu einer nachhaltigen Energiewirtschaft notwendig macht. Der Anstieg dieser energiebedingten globalen Kohlendioxidemissionen im Gefolge des wachsenden Weltenergieverbrauchs (**Bild 2**), die jetzt 23,5 Gt. CO₂/a erreicht haben, hat dazu geführt, dass seit Beginn der Industrialisierung insgesamt zusätzliche 1000 Gt. CO₂ in die Atmosphäre emittiert wurden, davon allein 80 % in den letzten 50 Jahren. Da das Wachstum vornehmlich in den Industrieländern stattfand, sind diese für rund 90 % der bis heute durch den Energieeinsatz entstandenen CO₂-Emissionen verantwortlich. Derzeit emittieren sie zwei Drittel der globalen CO₂-Emissionen. Deutschland hat 2000 rund 860 Mt. Kohlendioxid emittiert, das sind knapp 4 % der weltweiten Emissionen. Jeder Bewohner Deutschlands ist damit für den Ausstoß von über 10 t/Jahr Kohlendioxid verantwortlich. Ein US-Amerikaner bläst sogar pro Jahr 22 t, also gut die doppelte Menge in die Luft, ein Chinese dagegen nur 2,7 t und ein Inder sogar nur 0,7 t. Die große Verantwortung der Industrieländer für den Treibhauseffekt wird hierdurch besonders deutlich.

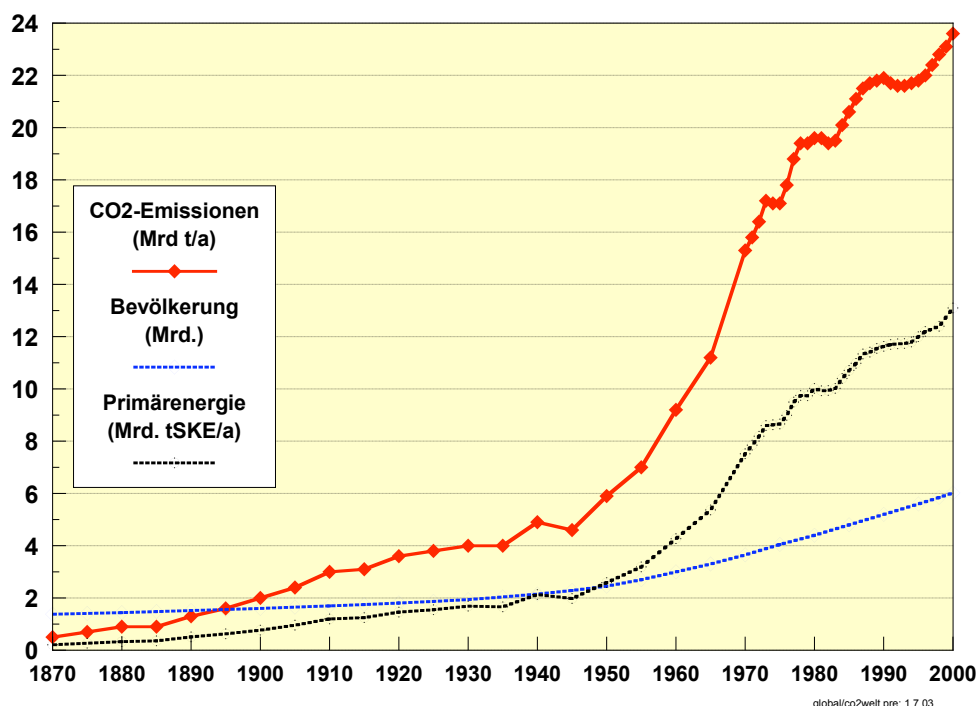


Bild 2: Entwicklung der globalen energiebedingten CO₂-Emissionen seit 1870 und ihrer Hauptursachen: Bevölkerungszuwachs und Verbrennung von Kohle, Mineralöl und Erdgas (1 Mrd. t SKE (Steinkohleeinheiten) entspricht 29,3 EJ)

Die globale Klimaerwärmung infolge der Verbrennung fossiler Energieträger, des Raubbaus an Wäldern und einer industriell betriebenen Landwirtschaft (Emission des klimawirksamen Lachgases) gilt heute als gesichert. Um den bereits eingetretenen Temperaturanstieg in noch tolerablen Grenzen zu halten (unter 2° C), ist eine Reduktion der energiebedingten

CO₂-Emissionen weltweit um mehr als die Hälfte bis zum Jahr 2100 unerlässlich. Berücksichtigt man die weiter wachsende Bevölkerung, so darf jeder der dann voraussichtlich 10 Milliarden Erdenbürger durchschnittlich nur noch wenig mehr als eine Tonne CO₂ emittieren. Daraus abgeleitet ergibt sich für Deutschland das längerfristige Ziel, eine Senkung der nationalen CO₂-Emissionen um etwa 75 % (bezogen auf 2000) bis zum Jahr 2050 zu erreichen.

2. Kernenergie - Risiken größer als der Nutzen

Da mit der Kernspaltung Strom weitgehend CO₂-frei bereitgestellt werden kann, wird Kernenergie - und in ihrem Gefolge oft auch die Kernfusion - häufig als unverzichtbar zur Erreichung der angestrebten CO₂-Reduktionsziele bezeichnet. Diese These ist jedoch bei genauer Betrachtung nicht haltbar: Nur eine lang anhaltende Vermeidung sehr großer Mengen Kohlendioxid macht unter Klimaschutzgesichtspunkten Sinn. Dazu müsste der Beitrag der Kernenergie zur globalen Energieversorgung um mehr als eine Größenordnung gesteigert und über Jahrhunderte aufrechterhalten werden. Abgesehen von der Zunahme des Risikos mit jedem neuen Kernkraftwerk (und dann auch in Ländern, deren Sicherheitsstandards und politische Stabilität nicht so hoch sind wie diejenigen in Europa) kann dies die Kernenergie schon aus Ressourcengründen nicht leisten. Preiswertes Uran für Leichtwasserreaktoren reicht bereits beim heutigen Nutzungsstand gerade 40 Jahre. Für die großen und über einen sehr langen Zeitraum erforderlichen Mengen an Kernenergiestrom wäre bald der Einstieg in eine Wiederaufbereitungs- und Brüterwirtschaft erforderlich, die nicht nur teurer ist als die heutigen Reaktoren sondern auch wesentlich risikoreicher.

Aber auch jetzt schon kommt die Kernenergie mit wesentlichen Leitlinien einer nachhaltigen Energieversorgung in Konflikt:

- ◆ In Kernreaktoren können Kernschmelzunfälle mit unvermeidbar hohen Gefahren für die menschliche Gesundheit nicht ausgeschlossen werden. In den betroffenen Gebieten entstehen extreme Folgeschäden.
- ◆ Auf allen Stufen der Brennstoffbereitstellung, -nutzung und -entsorgung entstehen radioaktive Stoffe, die teilweise emittiert werden, größtenteils aber unter hohem technischen und logistischen Aufwand für lange Zeiten von der Umwelt abgeschirmt und überwacht werden müssen. Wie dies geschehen soll, ist zudem bis heute völlig offen.
- ◆ Ein vollkommener Schutz gegen den Missbrauch von Plutonium als Abfallprodukt der Kernspaltung erscheint unmöglich, insbesondere, wenn es in den für eine Brüterwirtschaft erforderlichen Mengen im internationalen Rahmen gehandhabt werden müsste. Eine missbräuchliche waffentechnische Verwendung durch einzelne Staaten oder supranationale Gruppen wäre eine ständige Bedrohung für die Menschheit.
- ◆ Ein völliger Schutz von Kernenergieanlagen gegen äußere Gewaltanwendungen und Sabotage ist nicht möglich oder würde im Einzelfall zu äußerst hohen Kosten und der Einschränkung sozialer Freiräume führen.
- ◆ Eine Begrenzung der Kernenergienutzung auf „hochentwickelte“ Länder zur Verringerung obiger Risiken behindert die friedliche weltweite Kooperation und ist politisch nicht durchführbar.

Bei vollständiger und gründlicher Abwägung dieser Gegebenheiten ist der Nutzen einer kohlenstofffreien Stromerzeugung aus Kernenergie gering im Vergleich zu den Risiken und Gefahren, die inhärent mit der weiteren Nutzung und gar einer Ausweitung der Kernenergie verbunden sind. Glücklicherweise gibt es geeignetere „nichtfossile“ Energiequellen in Form der erneuerbaren Energien, deren große technische Potenziale ausreichen, den Weltenergiebedarf um ein Mehrfaches zu decken.

3. Energieverschwender und Energiehabeichtse - ein brisanter Zustand.

Ein schwerwiegendes Nachhaltigkeitsdefizit besteht in dem sehr starken Gefälle des Energieverbrauchs zwischen Industrie- und Entwicklungsländern, das sich in den letzten Jahren eher vergrößert als verringert hat. Derzeit verbrauchen 24 % der Weltbevölkerung in den Industrieländern 65 % der konventionellen Energieträger und 75 % der Elektrizität. Dagegen müssen sich 32 % der Weltbevölkerung in der ärmsten Gruppe der Entwicklungsländer mit 1 % des Wohlstands und 4 % der Energie begnügen.

Das Problem einer weltweit gerechteren Verteilung von Energie ist auch hinsichtlich finanzieller oder ökologischer Folgelasten von großer Bedeutung. Modellrechnungen zeigen, dass die voraussichtlich am stärksten von den Folgen möglicher Klimaänderungen betroffenen Regionen nach heutigen Erkenntnissen vorwiegend solche sein werden, die am wenigsten zu ihrer Verursachung beigetragen haben oder die diesen Folgen am wenigsten mit technischen und finanziellen Mitteln entgegenwirken können. Diese Tatsache verschärft die sich abzeichnenden sozialen und wirtschaftlichen Konflikte.

Ein auch nur tendenzieller Ausgleich der gravierenden Unterschiede im Energieeinsatz, der wegen der Forderung nach sozialer Nachhaltigkeit unbedingt notwendig ist, führt in Verbindung mit dem Anwachsen der Weltbevölkerung auf 9 bis 10 Mrd. Menschen in 2050 unvermeidlich zu einem weiteren Wachstum der globalen Energienachfrage. Da Art und Höhe der Energieversorgung in den Industrieländern aufgrund des hier erreichten großen Wohlstandes den ärmeren Ländern der Welt als vorbildlich gilt, bewegt sich derzeit die Entwicklung in diesen Ländern in die gleiche ressourcenverzehrende Richtung, wie wir sie lange Zeit eingeschlagen haben, und vergrößern somit die schon bestehenden Nachhaltigkeitsdefizite weiter. Nur wenn wir daher unsere Energieversorgung grundlegend umgestalten, besteht also überhaupt eine Chance, den vorprogrammierten globalen Energieverbrauchszuwachs in Grenzen zu halten und gleichzeitig die aus Klimaschutzgründen problematischen fossilen Energieträger zurückzudrängen.

4. Wege zu einer nachhaltigen Energiewirtschaft

Die heutige Energieversorgung ist durch vier wesentliche Nachhaltigkeitsdefizite gekennzeichnet: (1) der sich bereits abzeichnenden Gefährdung des globalen Klimas, (2) den zu erwartenden Verknappungs- und Verteuerungstendenzen im fossilen Bereich, (3) den nicht vermeidbaren Risiken einer verstärkten und länger andauernden Nutzung der Kernenergie und (4) den volkswirtschaftlichen und gesellschaftlichen Gefährdungen, die durch den extrem unausgewogenen Zugang zu Energie entstehen. Aus den vorliegenden Erkenntnissen können prinzipielle Schlüsse gezogen werden: Die zukünftige Energieversorgung darf sich nicht weiterhin beinahe ausschließlich auf fossile und auf nukleare Energieträger stützen. Vielmehr muss ein System etabliert werden, das den Leitlinien einer nachhaltigen Energieversorgung möglichst nahe kommt. Für eine Umgestaltung der Energieversorgung in diese Richtung gibt es drei zentrale Strategieelemente, die in der Nachhaltigkeitsdiskussion mit „Effizienz“, „Konsistenz“ und „Suffizienz“ bezeichnet werden, [BMU 2004.].

Keine dieser drei Strategien kann für sich allein in Anspruch nehmen, der Erfolg versprechendste Weg zu sein. Vielmehr ergänzen sie sich und führen erst in einer engen Wechselwirkung zum angestrebten Ziel. Ein deutlich verminderter Energieverbrauch ist eine wesentliche Voraussetzung, damit erneuerbare Energien rasch genug nennenswerte Anteile des Energiebedarfs ökonomisch vertretbar decken können und ohne gleichzeitig energiebewusster zu leben, kann sich kein Erfolg durch den Einsatz effizienter Technologien einstellen. Auf der anderen Seite wird es mit jeder eingesparten Einheit Energie schwieriger, weitere Energie einzusparen. Eine Null-Energie-Gesellschaft ist nicht vorstellbar, nachhaltig nutzbare Energieströme, also erneuerbare Energien, sind daher notwendig. Eine deutlich effi-

zientere Energienutzung aller Energieträger und die Substitution endlicher Energieressourcen durch Energien aus natürlichen Energieströmen sind zwei Seiten einer Medaille.

Parallel dazu sollte auch ein Bewusstseins- und Wertewandel stattfinden, der zu einem mehr „qualitativen“ Wachstum der Bedürfnisbefriedigung führt und die Sensibilität für die Umwelt schärft. Eine derartige Veränderung wird aber, wenn überhaupt, nur über längere Zeiträume größere Teile der Bevölkerung erfassen. Vor allem die fortschreitende Globalisierung aller Aktivitäten, also auch des Konsumverhaltens, und die starke Ausrichtung auf sehr kurzfristige wirtschaftliche Erfolge statt auf vorsorgeorientierte, längerfristig angelegte Reformmaßnahmen stehen solchen Tendenzen im Wege. Es sind noch eine Vielzahl von „sozialen Innovationen“ notwendig, damit ein bewussterer Umgang mit den natürlichen Ressourcen zur Selbstverständlichkeit wird.

- **Effizienz:** *Gewünschte Energiedienstleistungen sind ein angenehmes Raumklima, warmes Wasser, ein beleuchteter Raum, funktionsfähige Maschinen und Geräte oder die Möglichkeit der Fortbewegung von A nach B. Von der Primärenergie zur Dienstleistung durchlaufen die Energieträger mit Verlusten behaftete Wandlungsschritte. Diese Verluste können nach heutiger Erkenntnis mit intelligenter Technik und gutem Energiemanagement noch erheblich reduziert werden. Neben einer wesentlich rationelleren Energieumwandlung bzw. -verwendung in allen Aggregaten und Geräten gehört auch der Ersatz von hochwertigen durch weniger „wertvolle“ Energieträger (z. B. der Ersatz von Stromheizung durch Nutzwärme und „Kälte“ aus der Kraft-Wärme-Kopplung) und die Vermeidung von Energieeinsatz (z. B. Ersatz bzw. starke Verminderung von Raumheizung durch sehr gute Wärmedämmung) dazu.*
- **Konsistenz:** *Wegen des Verbrauchs fossiler und nuklearer Energierohstoffe und der Ablagerung der Abfallprodukte in die Umwelt ist das derzeitige Energiesystem „offen“. Auf längere Sicht nachhaltig sind jedoch nur „geschlossene“ Energiesysteme, die Energie weitgehend ohne Rohstoffverbrauch bereitstellen oder die es erlauben, die entsprechenden Materialien im Kreislauf zurückzuführen. Energiesysteme, welche die natürlichen durch Sonnenenergie, Gravitation und Erdwärme angetriebenen Energiekreisläufe „anzapfen“ und daraus zeitweise geringe Bruchteile entnehmen, kommen diesem Ideal sehr nahe. Die in den Anlagen gebundenen Materialien können wie bei anderen Gütern und Anlagen in großem Umfang wieder verwertet werden, da sie nicht kontaminiert sind; Energieträger werden nicht „verbraucht“.*
- **Suffizienz:** *Die Höhe des Energieeinsatzes hängt auch von Lebensstilen und Konsumgewohnheiten ab. Ändern sich menschliche Aktivitäten und Bedürfnisse, etwa im Freizeitverhalten, so kann dies erheblichen Einfluss auf den resultierenden Energieverbrauch haben. Die Skala des eigenverantwortlichen Handelns ist dabei sehr groß, sie kann von bewusstem Verzicht auf energieintensive Produkte oder übertriebene Mobilität bis zur klugen Auswahl von Nahrungsmitteln oder Verkehrsmitteln reichen. Aus der Erkenntnis, dass die eingefahrenen Gewohnheiten nach „immer weiter, immer schneller, immer mehr“ auf Dauer nicht mit Nachhaltigkeitsbestrebungen vereinbar sind, kann speziell in den Industrieländern ein Wertewandel, der sich stattdessen ein „lieber besser leben als mehr haben“ zum Ziel setzt, großen Einfluss auf die Höhe des zukünftigen Energieverbrauchs haben.*

Eine idealtypische Entwicklung der globalen Energieversorgung, die alle vier genannten Nachhaltigkeitsdefizite gleichzeitig angeht, sollte bis zur Mitte des Jahrhunderts entsprechend (**Bild 3**) verlaufen. Ausgangspunkt ist ein konstant bleibender mittlerer Pro-Kopf-

Verbrauch in Höhe von 70 GJ/a (2000), was bei deutlich steigender Energieproduktivität ein weiteres erhebliches Wachstum von Dienstleistungen und Gütern erlaubt. Die modernen Industriestaaten (OECD) halbieren ihren Energieeinsatz als Beitrag zur Milderung der krassen Ungleichverteilung des weltweiten Energieverbrauchs. Dies erlaubt eine gute Verdopplung des Pro-Kopf-Verbrauchs der Entwicklungsländer und sichert ihnen, entsprechend ihrer wachsenden Bevölkerungszahl, im Jahr 2050 einen Anteil von 75 % am Primärenergieverbrauch von dann 635 EJ/a – dem 1,5-fachen von heute (Bild 3, links). Die Beseitigung bzw. Verringerung der anderen drei Nachhaltigkeitsdefizite verlangt eine Halbierung des fossilen Energieeinsatzes bis 2050, eine Aufgabe der Kernenergienutzung und eine Umstellung der weitgehend umweltschädlichen „traditionellen“ Biomassenutzung (Brennholzbeschaffung) auf eine umweltverträgliche „moderne“ Biomassenutzung. Der Einsatz moderner Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien müsste demnach bis 2050 um das 24-fache auf rund 470 EJ/a wachsen; sie würden so knapp 75 % des Gesamtbedarfs decken.

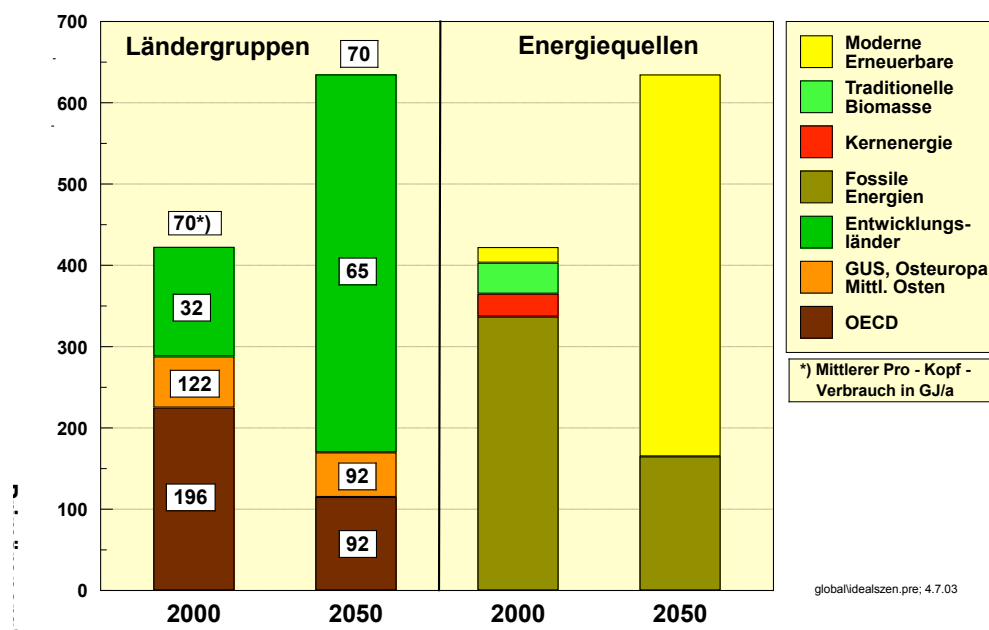


Bild 3: Idealszenario einer nachhaltigen globalen Energieversorgung für das Jahr 2050 hinsichtlich der Verminderung bzw. Beseitigung der vier wesentlichen Nachhaltigkeitsdefizite (Bevölkerungswachstum von 6 Mrd. in 2000 auf 9 Mrd. Menschen in 2050); Nitsch 2003

Aus potenzieller Sicht kann ein derartiger Beitrag erbracht werden, da das technische Potenzial der erneuerbaren Energien selbst bei strengen Restriktionen in der Größenordnung des Sechsfachen des derzeitigen weltweiten Energieverbrauchs liegt (vgl. Bild 5). Aus struktureller Sicht ist die Herausforderung gewaltig, da die rechtzeitige Mobilisierung dieser Technologien etwa alle 10 Jahre eine Verdopplung ihres derzeitigen Beitrags verlangt (bzw. ein durchschnittliches globales Wachstum über 50 Jahre von 6,4 % je Jahr) und gleichzeitig die Energieversorgungs- und -nutzungsstrukturen in allen Ländergruppen deutlich effizienter gestaltet werden müssen.

Die erläuterten Teilstrategien werden in aktuellen Szenarioanalysen der globalen Energieversorgung in unterschiedlicher Gewichtung und Intensität miteinander verknüpft (Bild 4). Wesentlicher Antrieb für das Wachstum des Energieverbrauchs ist neben der Bevölkerungszunahme das Wachstum des Weltbruttosozialprodukts. In den meisten Untersuchungen wird im Jahr 2050 vom Drei- bis Vierfachen des heutigen Wertes ausgegangen. Die in den Szenarien sehr unterschiedliche Höhe des zukünftigen Energieverbrauchs ist somit stark vom weiteren Anstieg der Energieproduktivität (d.h. der pro Einheit Bruttosozialprodukt eingesetz-

ten Energiemenge) abhängig. In den Wachstumsszenarien entspricht die jährliche Steigerungsrate der Energieproduktivität dem langjährigen Vergangenheitstrend von etwa 1 %/a, in den Szenarien mit deutlich niedrigerem Energieverbrauch steigt sie dagegen auf 1,5 %/a bis zu 2,2 %/a an. Die zentrale Bedeutung der erneuerbaren Energien zeigt sich daran, dass sie in nahezu allen Untersuchungen im Jahr 2050 den größten Beitrag zur Energiebedarfsdeckung mit Anteilen zwischen 22 % (WEC B) und 73 % (SEE) und Absolutwerten zwischen 185 EJ/a (WEC B) und 614 EJ/a (WBGU) bereitstellen. Der in obigem „Idealszenario SEE“ ermittelte Beitrag in Höhe von 470 EJ/a stellt also keineswegs die Obergrenze des für möglich gehaltenen Einsatzes erneuerbarer Energien im Jahr 2050 dar.

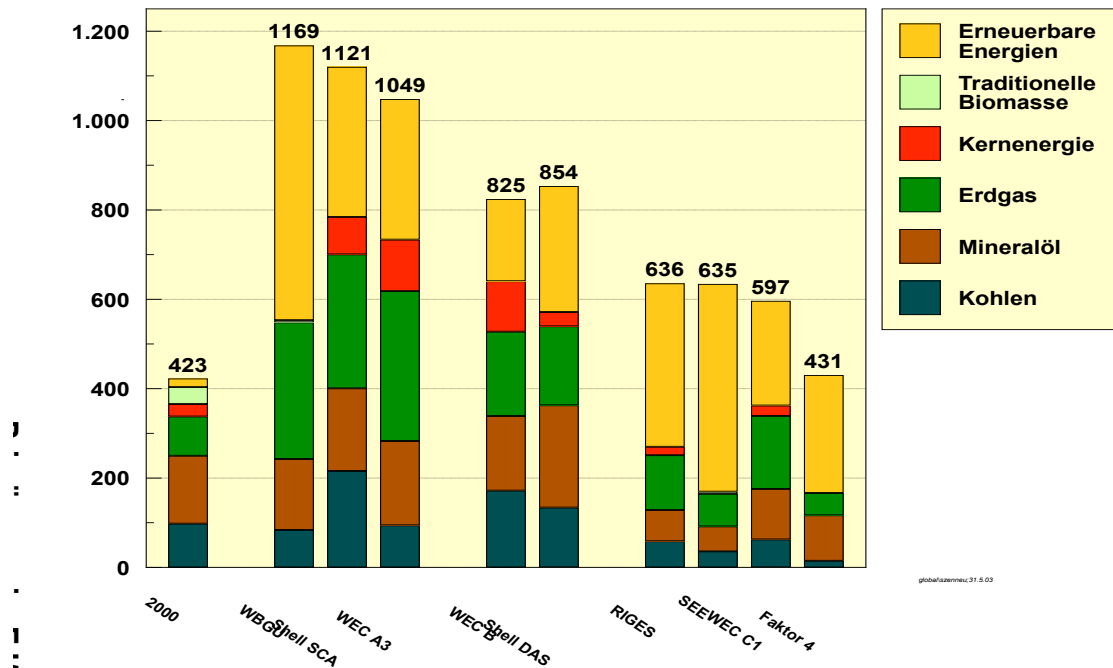


Bild 4: Aktuelle Szenarien des globalen Primärenergieverbrauchs für das Jahr 2050 bei einem Bevölkerungswachstum bis 2050 auf 9 bis 10 Mrd. im Vergleich zum Verbrauch des Jahres 2000; (WBGU = exemplarischer Entwicklungspfad (2003); Shell: SCA = Spirit of the Coming Age, DAS = Dynamics as Usual (2001); WEC: A3 = Wachstum, B = Business as Usual; C1 = ökologische Priorität (1998); RIGES = Renewable intensive scenario (1993); Faktor 4 = Effizienzrevolution (1999); SEE = Solar Energy Economy (Idealszenario nach Bild 3). Quellen: WBGU 2003; WEC 1998; Shell 2001; Johansson 1993; Lovins/Hennicke 1999; Nitsch 2003.

Aus Bild 4 ist auch ersichtlich, dass hohen Beiträge erneuerbarer Energien nur dann eine Gewähr für eine Erfüllung aller Nachhaltigkeitskriterien sind, wenn gleichzeitig die Energieproduktivität deutlich über das bisher übliche Maß hinaus gesteigert wird, also von Hocheffizienzszenarien ausgegangen wird (die vier Szenarien rechts in Bild 4). Steigt dagegen die Energienachfrage bis 2050 auf das Doppelte des heutigen Wertes und darüber, werden trotz hoher Beiträge erneuerbarer Energien zusätzlich alle endlichen Energieressourcen auf das Äußerste strapaziert. Auch das Klimaschutzkriterium wird deutlich verfehlt, es sei denn eine aktive Abtrennung und Speicherung von CO₂ ist Bestandteil der Szenariostrategie. So müssen beispielsweise im WBGU - Szenario im Zeitraum 2010 - 2100 rund 200 Gt. Kohlenstoff extrahiert und in geeigneten Lagerstätten deponiert werden, wenn man unter dem Grenzwert der „zulässigen“ CO₂-Konzentration bleiben will. Der Höhepunkt liegt im Jahr 2050 bei einer Extrahierungsrate von 4,5 Gt./a Kohlenstoff um bis 2100 auf Null zurückzugehen. Auch die Shell-Szenarien setzen eine CO₂-Abtrennung und Deponierung in ähnlicher Größenordnung voraus.

5. Erneuerbare Energien - Garanten für eine zukunftsfähige Energieversorgung

Auf unserer Erde sorgt ein außerordentlich großes Angebot an unerschöpflichen Energieströmen dafür, dass ein Vielfaches unseres Energiebedarfs ohne Rückgriff auf endliche Energieressourcen prinzipiell gedeckt werden kann. Zur Verfügung stehen die auf die Kontinente eingestrahlte Solarenergie, die kinetische Energie des Windes, der Meereswellen und der Meeresströmungen, die jährlich nachwachsende Biomasse, die potenzielle Energie des Wassers, die geothermische Energie und die Wärmeenergie der Meere. Diese Energieströme entsprechen etwa dem 3000-fachen des derzeitigen jährlichen Weltenergieverbrauchs. Aus diesem physikalischen Potenzial erneuerbarer Energien (**Bild 5**; große Würfel im Hintergrund) lassen sich die **technischen Nutzungspotenziale** ableiten, welche die möglichen Energieerträge in einer für den Endverbraucher nutzbaren Form – also Nutzwärme verschiedener Temperatur, Elektrizität und Brenn- oder Treibstoffe, z.B. Wasserstoff – bereitstellen.

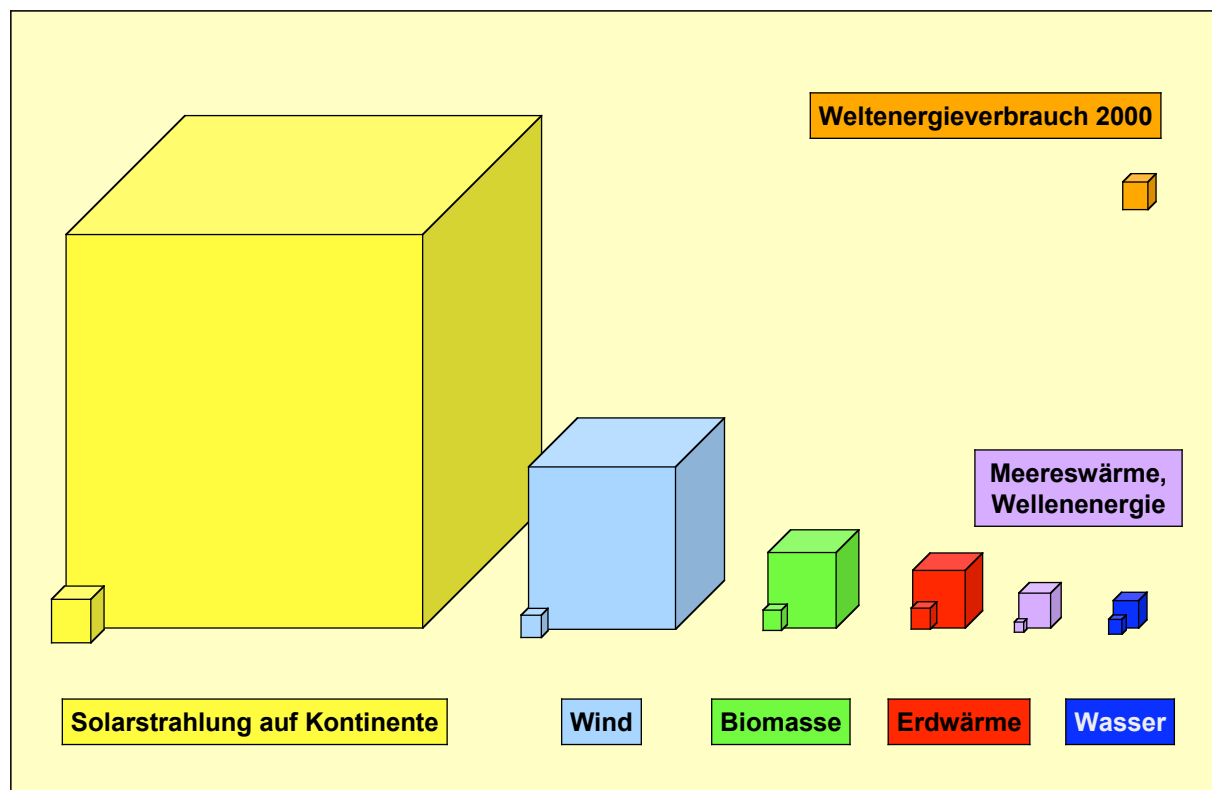


Bild 5: Physikalisches Angebot natürlicher Energieströme (große Würfel im Hintergrund) und technisch nutzbare Energieträger (Strom, Nutzwärme, Brenn- und Kraftstoffe; kleine Würfel im Vordergrund) und Vergleich mit dem derzeitigen Weltenergieverbrauch (Würfel oben rechts).

Bei der Ermittlung dieser Potenziale sind verschiedene Kriterien zu beachten:

- ◆ **Grenzen für Wirkungsgrade, Anlagengrößen und technische Entwicklungspotenziale** der derzeit vorhandenen oder in absehbarer Zeit verfügbaren Nutzungstechniken,
- ◆ **Strukturelle Restriktionen** wie Nutzungseinschränkungen infolge Ortsgebundenheit (z. B. Erdwärme), begrenzter Transportradius (z.B. Biomasse), Verfügbarkeit von Flächen

oder Konkurrenznutzung (z.B. Kollektoren, Solarzellen, Energiepflanzenanbau), nicht vorhandene Infrastruktur (z.B. fehlende Wärmenetze), begrenzte Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Energiedarbietung (z.B. Strom aus fluktuierenden Quellen, wie Wind oder Solarstrahlung)

- ◆ **Ökologische und naturschützerische Restriktionen** hinsichtlich Flächenbeanspruchung (z.B. Biomasse; Freiflächen für Solaranlagen), Beeinträchtigung von Fließgewässern (z.B. Wasserkraft) und Landschaftsbildern (z.B. Windenergie) sowie eingeschränkte Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse (z.B. Reststoffe aus Forst- und Landwirtschaft; Energiepflanzenanbau).

Technische Potenziale erneuerbarer Energien sind somit keine für alle Zeiten unverrückbare Größe. Sie liefern einen abgesicherten Orientierungsrahmen für das technisch Machbare innerhalb eines längerfristigen Betrachtungszeitraums und zeigen, welche Bedeutung die einzelnen Energiequellen und Nutzungstechnologien für die betrachteten Länder oder Regionen haben können. Unter Beachtung dieser hier sehr restriktiv gehandhabten Kriterien sind von den natürlichen Energieströmen nur wenige Promille (Solarstrahlung, Wind) bis Prozente (Biomasse, Erdwärme) energetisch - d.h. in Form von Sekundärenergieträgern – nutzbar (Würfel im Vordergrund). Lediglich bei der bereits konzentrierten Wasserkraft ist eine technische Nutzung im Bereich von 10 % unterstellt. Das global insgesamt technisch nutzbare Potenzial der erneuerbaren Energien liegt selbst bei diesen strengen Restriktionen in der Größenordnung des **Sechsfachen** des derzeitigen weltweiten Verbrauchs an Endenergie. Etwa 65 % davon stellt die Strahlungsenergie der Sonne.

Erneuerbare Energien können also auch einen noch steigenden Energiebedarf der Menschheit prinzipiell vollständig und auf Dauer decken. Beiträge erneuerbarer Energiequellen im Bereich von 50 % und mehr am Weltenergieverbrauch werden dementsprechend in verschiedenen Zukunftsentwürfen bereits bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts für möglich gehalten. Tatsächlich decken erneuerbare Energien derzeit 5 % des Weltenergieverbrauchs, wenn man die ökologisch problematische Brennholznutzung in weniger entwickelten Ländern außer Betracht lässt. Dies entspricht etwa dem weltweiten Beitrag der Kernenergie. Beim globalen Stromverbrauch stammen zurzeit 19 % aus erneuerbaren Energien. Ohne ihre derzeitige Hauptstütze, der Wasserkraft, sind es lediglich 0,2 % Anteil am gesamten Weltverbrauch und 1,5 % am Stromverbrauch.

Eine besonderes Kennzeichen erneuerbarer Energien stellt die Vielfalt der einsetzbaren Energiequellen und –technologien und der enorme darstellbare Leistungsbereich von wenigen Watt bis zu Hunderten von MW Einheitsleistung dar. Sie können sowohl an jegliche Art der erforderlichen Energiedienstleistung angepasst werden als auch in enger Verzahnung mit modernen Energietechniken zur Nutzung fossiler Energien die erforderliche Versorgungssicherheit zu jeder Zeit und an jedem Ort gewährleisten. Kennzeichen für eine derartige Energieversorgung sind zum einen die zunehmende Vernetzung auf dezentraler Ebene (Kraftwerke kleiner Leistung, Nahwärmeversorgungen) in der sich erneuerbare Energien hervorragend einbinden lassen. Zum andern sind es großräumige interkontinentale Netzverbände, die das regional sehr unterschiedliche Angebot erneuerbarer Energien optimal miteinander verknüpfen können. Über die jeweilige landesspezifische „dezentrale“ Nutzung von erneuerbaren Energien hinaus werden zukünftig an Orten eines sehr reichhaltigen (und damit auch kostengünstigen) Angebots erneuerbarer Energien große Nutzungszentren entstehen, die Regionen großer Energienachfrage mittels Hochspannungsleitungen oder (Wasserstoff-) Pipelines mit Energieträgern versorgen. So können alle „Reservoirs“ erneuerbarer Energien kostengünstig „angezapft“ und genutzt werden. Diese Zentren können gleichzeitig zu Keimzellen wirtschaftlicher Entwicklung und damit von zunehmenden Wohlstand und ei-

ner Stabilisierung sozialer Strukturen werden. Da die meisten dieser Zentren eher in heute wenig entwickelten Regionen liegen dürften (z. B. Nordafrika), geht mit einer relevanten Mobilisierung erneuerbarer Energien inhärent eine positive Entwicklung der betreffenden Länder einher.

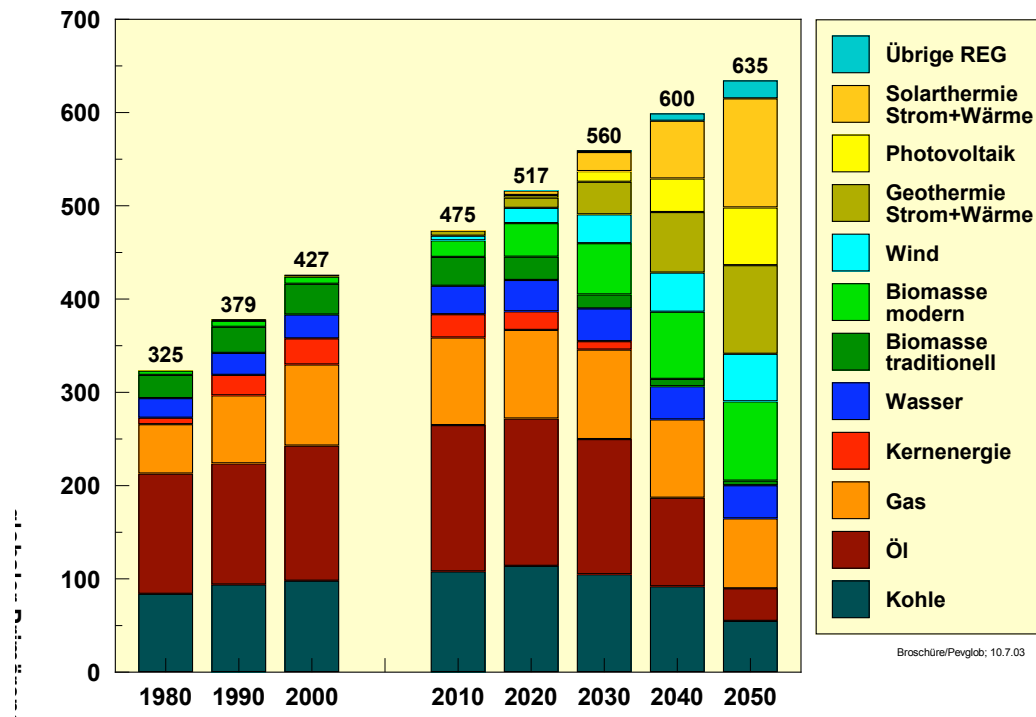


Bild 6: Primärenergieverbrauch im globalen Idealszenario „SEE“. Verstärkte Energieeffizienz und eine ausgewogene Mobilisierung aller erneuerbarer Energiequellen führt zu einer Halbierung des Beitrags fossiler Primärenergien bis zum Jahr 2050.

Damit ist der Hintergrund des oben bereits genannten Idealszenarios „Solar Energy Economy“ (SEE) skizziert. Die daraus resultierende vielfältige Primärenergiestruktur illustriert **Bild 6**. Am 73 %-igen Deckungsanteil erneuerbarer Energien (465 EJ/a) im Jahr 2050 sind alle Energiequellen maßgebend beteiligt. Die Anteile einzelner Technologien reichen von 6 % (Wasserkraft) bis zu 15 % (Biomasse, Geothermie, Solarthermische Kraftwerke)¹. Entsprechend den Potenzialen liefern die Strahlungsenergie nutzenden Technologien (Fotovoltaik, Solarthermische Kraftwerke und Kollektoren) den größten Beitrag mit zusammen knapp 30 %. Fossile Primärenergien wachsen noch bis 2020 auf etwa 370 EJ/a (Kohle 115 EJ/a, Öl 160 EJ/a, Erdgas 95 EJ/a), sinken nach 2030 wieder auf das heutige Niveau und stellen im Jahr 2050 noch einen Anteil von 27 % am gesamten Primärenergieverbrauch.

¹ Zur besseren Vergleichbarkeit mit dem Primärenergiebeitrag fossiler und nuklearen Energien und untereinander (Biomasse, Geothermie) sind hier alle erneuerbaren Energien primärenergieseitig mit ihrem thermischen Äquivalent dargestellt (Substitutionsprinzip).

6. Die größte Herausforderung - Umstellung der globalen Stromerzeugung

Die heutige Struktur der globalen Stromerzeugung zeigt **Bild 7**. Kohle deckt nahezu 40%, Wasserkraft, Kernenergie und Erdgas decken nahezu gleiche Anteile um 17%, in deutlichem Abstand folgt Mineralöl mit 8%. Die übrigen erneuerbaren Energien sind mit knapp 250 TWh/a (1,6%) noch relativ unbedeutend. Davon sind 60% Biomasse, gefolgt von Erdwärme und der stark wachsenden Windenergie. Insgesamt liefern erneuerbare Energien mit 18,7% derzeit 2 880 TWh/a Strom, also mehr als die Kernenergie. Als Endenergieverbrauch an Strom werden insgesamt 12 690 TWh/a ausgewiesen, 82,5% der gesamten Erzeugung, der Rest sind Eigenverbrauch im Bereich der Energiewandlung und der energieverarbeitenden Industrie sowie Verluste bei Transport und Verteilung. Damit stellt Strom rund 16% der gesamten globalen Endenergie dar, (Deutschland 19%).

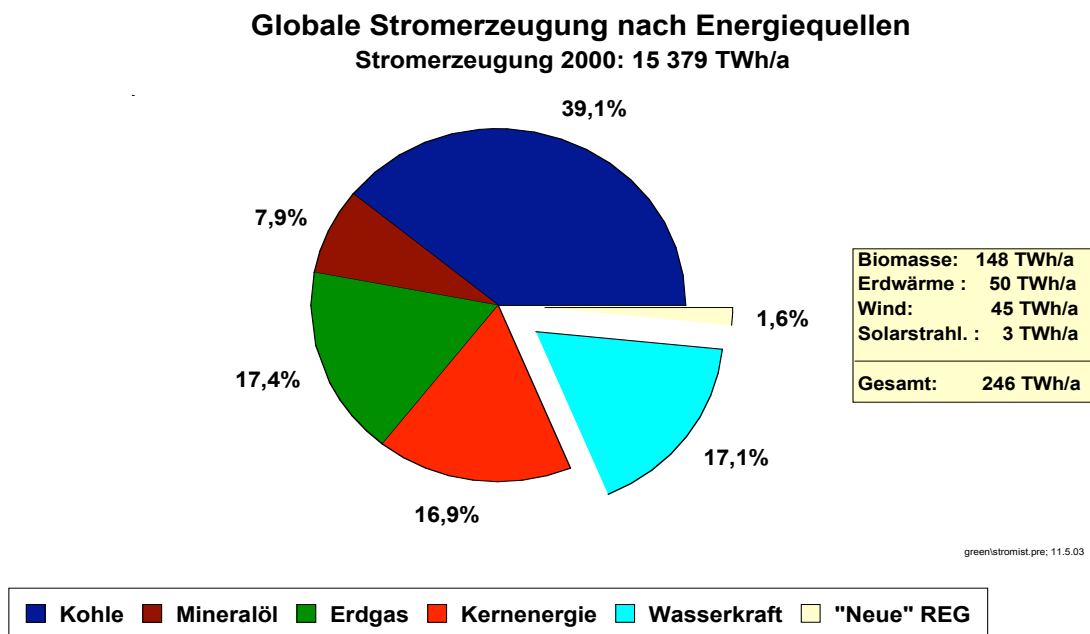


Bild 7: Struktur der globalen Stromerzeugung im Jahr 2000.

Der globale Stromverbrauch steigt nach wie vor deutlich. Zwischen 1973 und 2000 ist er um das rund 2,5-fache gestiegen und beträgt derzeit (2000) 15 380 TWh/a. In ihrem neuesten Referenzszenario geht die Internationale Energieagentur (IEA) sogar von einer Beschleunigung dieses Wachstums bis 2030 aus (**Bild 8**). Dieses Wachstum soll nach Vorstellungen der IEA insbesondere durch den Neubau von Kohle- und Gaskraftwerken gedeckt werden. Bis 2030 soll sich die globale Stromerzeugung nochmals auf 31 525 TWh/a verdoppeln. Eine Fortsetzung dieses Wachstumstrends bis zur Jahrhundertmitte würde den Stromverbrauch auf über 40 000 TWh/a ansteigen lassen und damit das 2,6-fache des heutigen Umfangs betragen. Um diese Nachfrage zu decken, müssten alle verfügbaren Energiequellen in enormen Ausmaß in Anspruch genommen werden. Im Szenario SEE flacht dagegen der Wachstumstrend allmählich ab. Unterstellt wird – in Anlehnung an entsprechende Szenarien für Deutschland (DLR 2004] - dass insbesondere alle OECD Länder Strom zukünftig wesentlich effizienter nutzen und damit ihr absoluter Verbrauch an Strom im Zeitverlauf sinkt. Der angenommene Wachstumsschub in den Entwicklungsländern entsprechend Bild 3 führt trotzdem zu einem Anstieg bis 2030 auf nahezu 25 000 TWh/a und bis 2050 auf rund 30 000 TWh/a. Die heutigen Entwicklungsländer würden, zusammen mit China, dann mit 20 000 TWh/a deutlich mehr Strom verbrauchen als die heutigen Industrieländer (**Bild 9**).

Zukünftiger Stromverbrauch; Vergleich SEE und IEA 2002

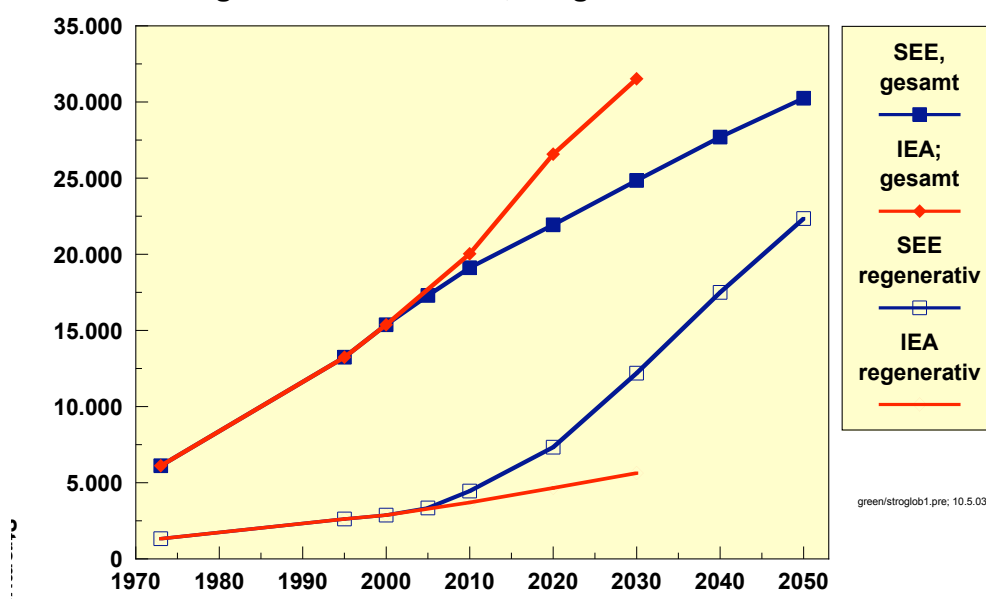


Bild 8: Wachstum des bisherigen globalen Stromverbrauchs und des Beitrags der erneuerbaren Energien im IEA- und SEE- Szenario bis 2030 bzw. 2050

Ein weiterer deutlicher Unterschied zeigt sich im Wachstum der erneuerbaren Energien, (Bild 8). Diese konnten weltweit seit 1973 bis heute nicht vollständig mit dem Gesamtwachstum mithalten, wodurch sich ihr Anteil von 21,7% (1973) auf heute 18,7% (2000) reduzierte. Im IEA Referenzszenario beschleunigt sich deren Wachstum nur geringfügig, so dass ihre Anteile bis 2030 sogar weiter auf dann 17,9 % sinken (Tabellen 1, IEA und 1a, IEA in Anhang). Im Szenario SEE beschleunigt sich das Wachstum der erneuerbaren Energien dagegen beträchtlich und reflektiert damit die angestrebten Ziele der global deutlich zu reduzierenden Treibhausgasemissionen. Der Trend zurückgehender Anteile wird umgekehrt, in 2010 beträgt der Anteil erneuerbarer Energien bereits 23%, in 2030 liegt er nahezu bei 50% und bis 2050 erreicht er 74% Anteil (Tabellen 1 SEE und 1a SEE in Anhang). Der Anteil erneuerbarer Energien ist damit höher als in vergleichbaren Szenarien für Deutschland zu demselben Zeitpunkt, da es weltweit deutlich größere und kostengünstigere Potenziale erneuerbarer Energien (insbesondere Solarstrahlung und Wind) gibt als das in Deutschland der Fall ist.

Wegen des weiteren Wachstums der Stromnachfrage wachsen auch im Szenario SEE die absoluten Beiträge fossiler Energien zur Stromerzeugung noch von derzeit 9 900 TWh/a auf 12 800 TWh/a im Jahr 2020. Danach sinken sie aber bis 2050 auf 7 900 TWh/a, entsprechend reduziert sich der Ausstoß an Kohlendioxid. Der Beitrag der Kernenergie sinkt nach 2020 ebenfalls und verschwindet bis 2040 (**Bild 10**). Alle erneuerbaren Energien müssen dementsprechend beträchtlich wachsen, wenn sie das Gesamtwachstum des Stromverbrauchs überkompensieren sollen. Bedeutendste Energiequelle wird die Windenergie, die im Jahr 2040 den Beitrag der Wasserkraft übertrifft und bis 2050 auf 5 800 TWh/a wächst. Aber auch alle anderen erneuerbaren Energiequellen sind unverzichtbar und liefern in 2050 Beiträge zwischen 1 500 TWh/a (Biomasse) bis ca. 3 300 TWh/a (Photovoltaik bzw. solarthermische Kraftwerke). Bereits bis 2010 müssen erneuerbare Energien in diesem Szenario ihre Stromerzeugung um 1 580 TWh/a (55% des heutigen Wertes) erhöhen. Den Zuwachs teilen sich Wasserkraft mit 725, Wind mit 510, Biomasse mit 175, Geothermie mit 110 und Solarstrahlung mit 60 TWh/a.

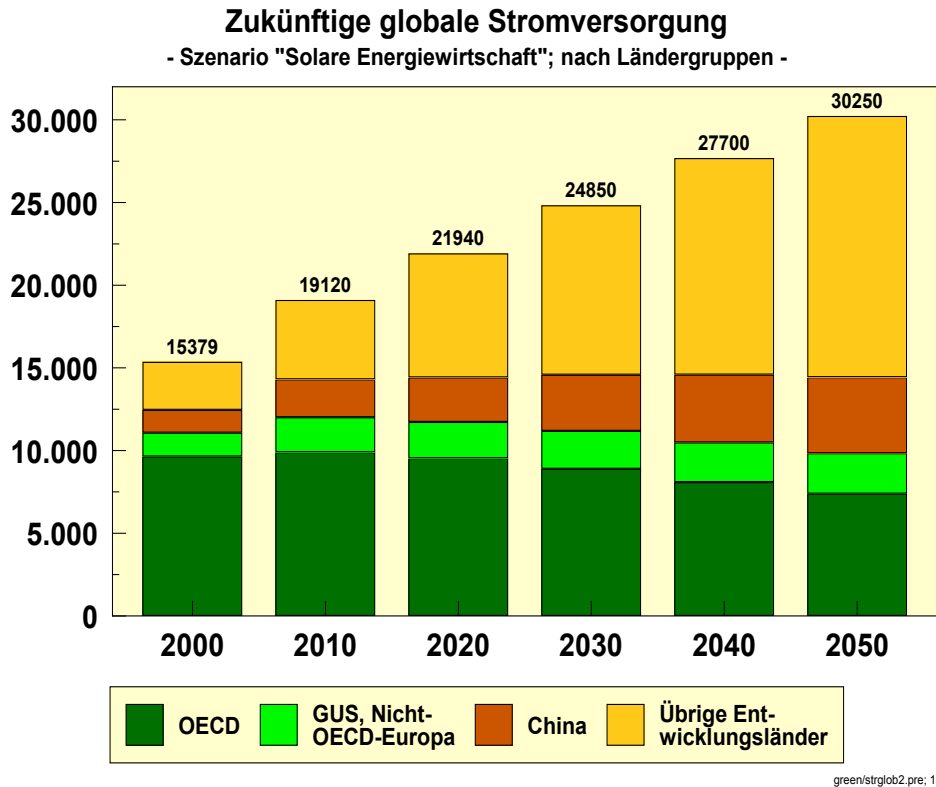


Bild 9: Entwicklung der Stromerzeugung nach Ländergruppen im Szenario SEE bis zum Jahr 2050. Nur durch weitaus effizientere Stromnutzung in den OECD-Ländern kann das Wachstum des Stromverbrauchs in Grenzen gehalten werden.

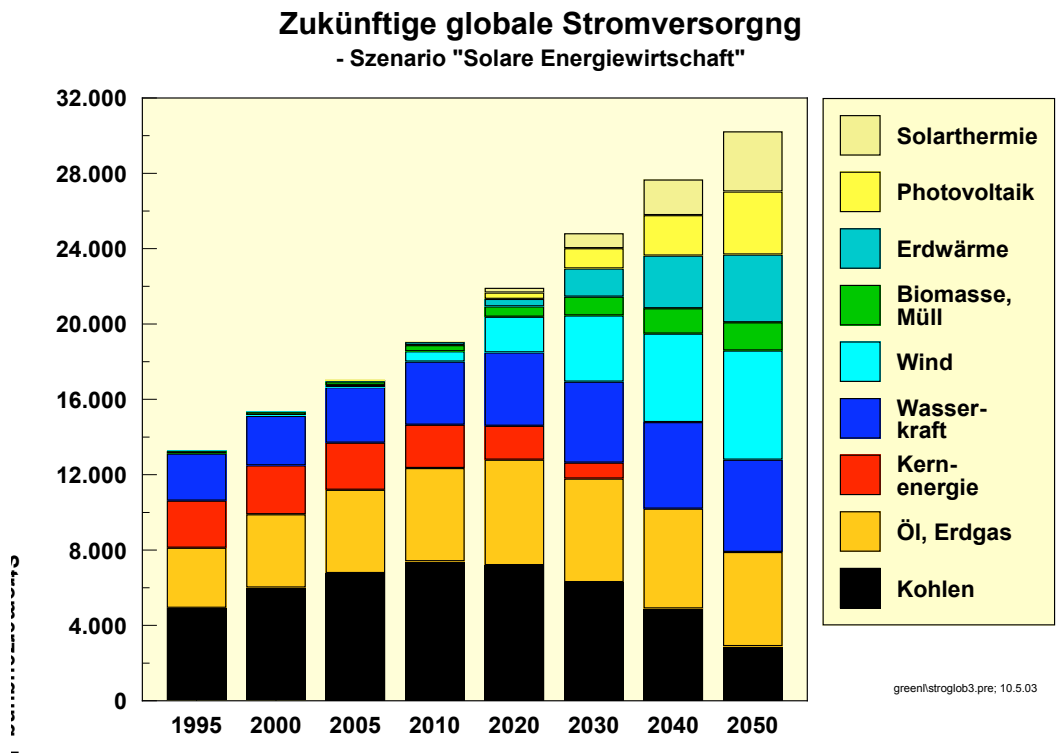


Bild 10: Entwicklung der zukünftigen globalen Stromerzeugung

Die dazu erforderlichen durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten reichen von ca. 8%/a bei der Biomasse bis 28%/a bei Windkraft und Solarkraftwerken. Derartige Wachstumsraten sind zwar in einzelnen Ländern erreicht und sogar überschritten worden (z.B. Windkraft in Deutschland), sie sind aber weltweit bisher noch nicht in Sicht.

Das hier vorgestellte Szenario einer deutlichen Ausweitung erneuerbarer Energien stellt selbstverständlich nur ein Beispiel für eine zukünftige Energieversorgung dar. Andere Lösungsstrategien, welche versuchen, die Nachhaltigkeitskriterien zu erfüllen, erfordern vom Umfang her eher noch anspruchsvollere Anstrengungen (z. B. die bei geringeren Effizienzbemühungen erforderliche CO₂-Rückhaltung aus fossilen Energien und dessen Speicherung). Der erforderliche Umbau der globalen Energieversorgung innerhalb eines halben Jahrhunderts kann in jedem Fall nur dann mit Aussicht auf Erfolg in Gang gesetzt werden, wenn eine große Mehrheit der globalen Staatengemeinschaft sich zu einem gemeinsamen raschen und wirksamen Handeln aufrafft. Eine konkrete und rasche Umsetzung etwa der Johannesburger Erklärung, der bei der Bonner Weltkonferenz für Erneuerbare Energien verabschiedeten Aktionen und eine effektive Weiterführung des Kyoto - Prozesses über die Zielsetzungen des Jahres 2010 hinaus sind als Einstieg in die hier vorgeschlagene Entwicklung daher von allerhöchster Dringlichkeit. Ohne derartige Schritte werden sich die geschilderten Nachhaltigkeitsdefizite der globalen Energieversorgung in den nächsten Jahrzehnten rasant vergrößern und dann kaum mehr von der Weltgemeinschaft beherrschbar sein.

Literatur :

BMU 2004: Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft. Broschüre des BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 5. Auflage, Berlin Mai 2004.

DLR 2004: J. Nitsch, W. Krewitt, M. Fishedick, G. Reinhard, u.a.: „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. DLR Stuttgart, WI Wuppertal, IFEU Heidelberg, April 2004

IEA 2003: "Renewables – Information 2003". International Energy Agency 2003.

IPCC 2002: Climate Change 2001; Report 2; T. Morita, J. Robinson (Lead authors): Greenhouse gas emissions mitigation scenarios and implications. Intergovernmental Panel of Climate Change 2002. (Siehe auch: Special Report on Emission Scenarios. Working Group III: Mitigation of Climate Change, April 1999.)

Johansson et.al 1993: T. B. Johansson, H. Kelly et al.: Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity. Island Press, Washington DC, 1993

Lovins/Hennicke 1999: P. Hennicke, A. Lovins. Voller Energie – Die globale Faktor Vier-Strategie für Klimaschutz und Atomausstieg. Campus Verlag, 1999

Nitsch 2003: J. Nitsch: Faktensammlung Nationale und globale Szenarien für : „Solar Generation“ – Fahrplan für eine saubere Energieversorgung. Greenpeace e.V. , Stuttgart, März 2003

Shell 1995: „Energie im 21. Jahrhundert.“ Studie der Shell-AG Hamburg, aktuelle Wirtschaftsanalysen 5, Heft 25 (1995)

Shell 2001: Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios to 2050. Global Business Environment Shell International 2001

WBGU 2003: Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), Springer, Berlin, Heidelberg 2003.

WEC 1998: „Energie für Deutschland - Fakten, Perspektiven und Positionen im globalen Kontext.“ Dt. Nat. Komitee DNK des Weltenergiesrates. Düsseldorf 1998

Anhang : Tabellen zur Stromerzeugung in den Szenarien „IEA Referenz“ und „SEE“

Tabelle 1: Globale Stromerzeugung 2000 bis 2050, (TWh/a) Szenario "Solar Energy Economy (SEE)"									
Jahr	1973	1995	2000	2010	2020	2030	2040	2050	
Gesamt Stromerzeugung	6121	13245	15379	19120	21940	24850	27700	30250	
-Kohlen	2338	4933	6013	7410	7200	6300	4900	2900	
-Erdgas/Öl/übrig.Gase	2253	3190	3891	4953	5600	5500	5300	5000	
Summe fossil	4591	8123	9904	12363	12800	11800	10200	7900	
Nuklear	202	2500	2597	2300	1800	850	0	0	
Summe Regenerativ	1328	2622	2878	4457	7340	12200	17500	22350	
-Laufwasser	1280	2449	2629	3355	3900	4300	4600	4900	
-Wind (einschl. Offshore)	0	10	40	550	1900	3520	4700	5800	
- Biomasse/ Müll	33	120	156	330	550	1000	1350	1500	
-Photovoltaik	0	1	2	37	337	1080	2150	3350	
-Geothermie	14	40	49	160	400	1500	2800	3600	
-Solartherm. Kraftwerke, Übrige	1	2	2	25	253	800	1900	3200	
- Summe REG ohne Wasserkraft	48	173	249	1102	3440	7900	12900	17450	
Anteil REG (%)	21,7	19,8	18,7	23,3	33,5	49,1	63,2	73,9	
KW-Eigenverbrauch, Netzverlust Pumpstrom **)	1200	2380	2689	3250	3620	3950	4200	4400	
Anteil an Erzeugung (%)	19,6	18,0	17,5	17,0	16,5	15,9	15,2	14,5	
Endenergie Strom (TWh/a)	4921	10865	12690	15870	18320	20900	23500	25850	
nach Sektoren									
Private Haushalte + Übrige (Gewerbe, Handel, Landw., Öffentl). Verkehr			7012	8720	9690	10960	12500	14040	
Industrie			323	400	480	590	700	810	
			5355	6750	8150	9350	10300	11000	
Endenergie Strom (PJ/a)			45684	57132	65952	75240	84600	93060	
nach Sektoren									
Private Haushalte + Übrige (Gewerbe, Handel, Landw., Öffentl). Verkehr			25243	31392	34884	39456	45000	50544	
Industrie			1163	1440	1728	2124	2520	2916	
			19278	24300	29340	33660	37080	39600	
nach Nutzungsarten									
Kraft/Licht/ l.u.K. stationär			33100	41980	49055	56563	64314	71532	
Verkehr			1163	1440	1728	2124	2520	2916	
Wärme, gesamt ***)			11421	13712	15169	16553	17766	18612	
- davon Prozesswärme und WW									
- davon Raumwärme									
**) nach Abgrenzung Energiebilanz (u.a. wird Stromerzeugung und -verbrauch des Bergbaus und Saldo aus Stromimport und -export hier bilanziert).									
***) geschätzter Wert mit 25% Anteil (2000) an Gesamtstromverbrauch, abnehmend auf 20% in 2050.									
nachrichtlich: PEV für Strombereitstellung (PJ/a)									
Gesamt Stromerzeugung			137790	594288	667891	790701	911901	99719	
-Kohlen			61848	70200	64800	54000	40091	22696	
-Erdgas/Öl/übrig.Gase			35019	42454	45818	42581	38939	34615	
Summe fossil			96867	112654	106189	96581	79030	57311	
Nuklear			28288	25053	19607	9259	0	0	
Summe Regenerativ			12635	21721	36564	73230	12160	42408	
-Laufwasser			9464	12078	14040	15480	16560	17640	
-Wind (einschl. Offshore)			144	1980	6840	12672	16920	20880	
- Biomasse/ Müll			1248	2640	3960	6545	8100	8308	
-Photovoltaik			7	133	1213	3888	7740	12060	
-Geothermie			1764	4800	9600	31765	56000	72000	
-Solartherm. Kraftwerke, Übrige			7	90	911	2880	6840	11520	

Strom-W.pre; 29.4.03

Tabelle 1a:		Globale Stromerzeugung 2000 bis 2050, (Prozente)							
		Szenario "Solar Energy Economy (SEE)"							
Jahr	1973	1995	2000	2010	2020	2030	2040	2050	
Gesamt Stromerzeugung	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
-Kohlen	38,2	37,2	39,1	38,8	32,8	25,4	17,7	9,6	
-Erdgas/Öl/übrig.Gase	36,8	24,1	25,3	25,9	25,5	22,1	19,1	16,5	
Summe fossil	75,0	61,3	64,4	64,7	58,3	47,5	36,8	26,1	
Nuklear	3,3	18,9	16,9	12,0	8,2	3,4	0,0	0,0	
Summe Regenerativ	21,7	19,8	18,7	23,3	33,5	49,1	63,2	73,9	
-Laufwasser(+ Zulauf zu Speiche	20,9	18,5	17,1	17,5	17,8	17,3	16,6	16,2	
-Wind (einschl. Offshore)	0,0	0,1	0,3	2,9	8,7	14,2	17,0	19,2	
- Biomasse	0,5	0,9	1,0	1,7	2,5	4,0	4,9	5,0	
-Photovoltaik	0,0	0,0	0,0	0,2	1,5	4,3	7,8	11,1	
-Geothermie	0,2	0,3	0,3	0,8	1,8	6,0	10,1	11,9	
-Solartherm. Kraftwerke	0,0	0,0	0,0	0,1	1,2	3,2	6,9	10,6	
- Summe REG ohne Wasserkraft	0,8	1,3	1,6	5,8	15,7	31,8	46,6	57,7	
KW-Eigenverbrauch, Netzverluste Pumpstrom **)	19,6	18,0	17,5	17,0	16,5	15,9	15,2	14,5	
Endenergie Strom	80,4	82,0	82,5	83,0	83,5	84,1	84,8	85,5	
Endenergie = 100	100	100	100	100	100	100	100	100	
nach Sektoren									
Private Haushalte + Übrige (Gewerbe, Handel, Landw., Öffentl.)	0,0	0,0	55,3	54,9	52,9	52,4	53,2	54,3	
Verkehr	0,0	0,0	2,5	2,5	2,6	2,8	3,0	3,1	
Industrie	0,0	0,0	42,2	42,5	44,5	44,7	43,8	42,6	
nach Nutzungsarten									
Kraft/Licht/l. u.K. stationär			72,5	73,5	74,4	75,2	76,0	76,9	
Verkehr			2,5	2,5	2,6	2,8	3,0	3,1	
Wärme, gesamt			25,0	24,0	23,0	22,0	21,0	20,0	
- davon Prozesswärme und WW									
- davon Raumwärme									

Strom-W.pre; 29.4.03

Tabelle 1:		Globale Stromerzeugung 2000 bis 2030, (TWh/a)					
		IEA-Referenzszenario "World" (Outlook 2002)					
Jahr	1973	1995	2000	2010	2020	2030	
Gesamt Stromerzeugung	6121	13245	15379	20036	25578	31524	
-Kohlen	2338	4933	6013	7143	9075	11591	
-Erdgas/Öl/übrig.Gase	2253	3190	3891	6295	9082	11596	
Summe fossil	4591	8123	9904	13438	18157	23187	
Nuklear	202	2500	2597	2889	2758	2697	
Summe Regenerativ	1328	2622	2878	3709	4663	5640	
-Laufwasser	1280	2449	2629	3189	3800	4259	
-Wind (einschl. Offshore)	0	10	40	147	307	539	
- Biomasse/ Müll	33	120	156	276	399	568	
-Photovoltaik	0	1	2	6	15	50	
-Geothermie	14	40	49	85	126	174	
-Solartherm. Kraftwerke, Übrige	1	2	2	6	16	50	
- Summe REG ohne Wasserkraft	48	173	249	520	863	1381	
Anteil REG (%)	21,7	19,8	18,7	18,5	18,2	17,9	
KW-Eigenverbrauch, Netzverlust Pumpstrom **)	1200	2380	2689	3500	4505	5531	
Anteil an Erzeugung (%)	19,6	18,0	17,5	17,5	17,6	17,5	
Endenergie Strom (TWh/a)	4921	10865	12690	16536	21073	25993	
nach Sektoren							
Private Haushalte + Übrige (Gewerbe, Handel, Landw., Öffent).			7012	9350	12100	15177	
Verkehr			323	429	495	594	
Industrie			5355	6757	8478	10222	
Endenergie Strom (PJ/a)			45684	59530	75863	93575	
nach Sektoren							
Private Haushalte + Übrige (Gewerbe, Handel, Landw., Öffent).			25243	33660	43560	54637	
Verkehr			1163	1544	1782	2138	
Industrie			19278	24325	30521	36799	
nach Nutzungsarten							
Kraft/Licht/ I.u.K. stationär			33100	43698	56632	70850	
Verkehr			1163	1544	1782	2138	
Wärme, gesamt ***)			11421	14287	17448	20586	
- davon Prozesswärme und WW							
- davon Raumwärme							
**) nach Abgrenzung Energiebilanz (u.a. wird Stromerzeugung und -verbrauch des Bergbaus und Saldo aus Stromimport und -export hier bilanziert).							
***) geschätzter Wert mit 25% Anteil (2000) an Gesamtstromverbrauch, abnehmend auf 20% in 2050.							
nachrichtlich: PEV für Strombereitstellung (PJ/a)							
Gesamt Stromerzeugung			137790	699072	206812	43540	
-Kohlen			61848	67671	81675	99351	
-Erdgas/Öl/übrig.Gase			35019	53957	74307	89775	
Summe fossil			96867	121628	55982	89127	
Nuklear			28288	31469	30042	29377	
Summe Regenerativ			12635	16811	20794	25035	
-Laufwasser			9464	11480	13680	15332	
-Wind (einschl. Offshore)			144	529	1105	1940	
- Biomasse/ Müll			1248	2208	2873	3718	
-Photovoltaik			7	22	54	180	
-Geothermie			1764	2550	3024	3685	
-Solartherm. Kraftwerke, Übrige			7	22	58	180	

Tabelle 1a:		Globale Stromerzeugung 2000 bis 2030, (Prozente)				
		IEA-Referenzszenario "World" (Outlook 2002)				
Jahr	1973	1995	2000	2010	2020	2030
Gesamt Stromerzeugung	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
-Kohlen	38,2	37,2	39,1	35,7	35,5	36,8
-Erdgas/Öl/übrig.Gase	36,8	24,1	25,3	31,4	35,5	36,8
Summe fossil	75,0	61,3	64,4	67,1	71,0	73,6
Nuklear	3,3	18,9	16,9	14,4	10,8	8,6
Summe Regenerativ	21,7	19,8	18,7	18,5	18,2	17,9
-Laufwasser(+ Zulauf zu Speicher)	20,9	18,5	17,1	15,9	14,9	13,5
-Wind (einschl. Offshore)	0,0	0,1	0,3	0,7	1,2	1,7
- Biomasse	0,5	0,9	1,0	1,4	1,6	1,8
-Photovoltaik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
-Geothermie	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
-Solartherm. Kraftwerke	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
- Summe REG ohne Wasserkraft	0,8	1,3	1,6	2,6	3,4	4,4
KW-Eigenverbrauch, Netzverluste Pumpstrom **)	19,6	18,0	17,5	17,5	17,6	17,5
Endenergie Strom	80,4	82,0	82,5	82,5	82,4	82,5
Endenergie = 100	100	100	100	100	100	100
nach Sektoren						
Private Haushalte + Übrige (Gewerbe, Handel, Landw., Öffentl.)	0,0	0,0	55,3	56,5	57,4	58,4
Verkehr	0,0	0,0	2,5	2,6	2,3	2,3
Industrie	0,0	0,0	42,2	40,9	40,2	39,3
nach Nutzungsarten						
Kraft/Licht/l. u.K. stationär			72,5	73,4	74,7	75,7
Verkehr			2,5	2,6	2,3	2,3
Wärme, gesamt			25,0	24,0	23,0	22,0
- davon Prozesswärme und WW						
- davon Raumwärme						

Strom-W. pre; 29.4.03