Energiewende – mehr als nur Szenarien?

Hans Ackermann

1. Nachhaltige Entwicklung

In der öffentlichen Diskussion werden existierende und wünschbare Energieversorgungssysteme von verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen mit sehr unterschiedlichen Wertkriterien gemessen und beurteilt. Vertreter von Industrie, Umweltverbänden, Kirchen, Gewerkschaften, Energieversorgern usw. legen ihrer Beurteilung jeweils andere "Wertbäume" zu Grunde, wie schon frühe empirische Untersuchungen belegen /KRWK84/. Mit der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro ist das Konzept des "Sustainable Development" (im Deutschen zumeist mit "nachhaltiger" oder auch "dauerhaft-umweltgerechter Entwicklung" übersetzt) zu einem global anerkannten Leitbild für die soziale, ökologische und ökonomische Entwicklung geworden. Im Umweltgutachten 1994 des "Rates von Sachverständigen für Umweltfragen" beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wird Sustainable Development als *für die internationale Völkergemeinschaft verbindlich gewordene umfassende politische Zielbestimmung* bezeichnet /URSU94/.

Was dieses normative Leitbild im einzelnen bedeuten soll ist allerdings noch zu klären. Dazu bedarf es der Umsetzung in Handlungsgrundsätze, die, was den Umgang des Menschen mit seiner Umwelt anbelangt, in Anlehnung an die Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestages, lauten können /UBA97/:

1. *Die Nutzung einer Ressource darf auf Dauer nicht größer sein als ihre Regenerationsrate oder die Rate der Substitution all ihrer Funktionen.*
2. *Die Freisetzung von Stoffen darf auf Dauer nicht größer sein als die Tragfähigkeit der Umweltmedien oder als deren Assimilationsfähigkeit.*
3. *Gefahren und unvertretbare Risiken für den Menschen und die Umwelt durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden.*
4. *Das Zeitmaß anthropogener Eingriffe in die Umwelt muß in einem ausgewogenen Verhältnis zu der Zeit stehen, die die Umwelt zur selbst stabilisierenden Reaktion benötigt.*

In meinen Referat möchte ich diese Handlungsgrundsätze als Maßstab voraussetzen. Dafür spricht neben den oben genannten Gründen, daß die vielfältigen derzeitigen Aktivitäten zur Lokalen Agenda 21 – so z. B. auch in Marburg – sich mit ihren Leitbildern daran orientieren.

2. Status quo der Energienutzung

Die gegenwärtige Nutzung von Energieträgern widerspricht global, und insbesondere in allen Industriestaaten, dem Prinzip der Nachhaltigkeit. Als Beleg für diese Behauptung muss an dieser Stelle eine Aufzählung einiger charakteristischer Fakten genügen.

- **Ressourcenausbeutung.** Der globale Primärenergieverbrauch (PEV) an fossilen Energieträgern wächst beständig /BMWi99/, und Prognosen für die nächsten Jahrzehnte weisen in dieselbe Richtung /DNK99/. Die statischen Reichdauern der sicher gewinnbaren Reserven werden in der Literatur vielfach berichtet und für Öl, Gas und Uran im Bereich von (55±10) Jahren abgeschätzt /BMWi99,DNK99,SZ99,UBA97/. Für Kohle werden 150-200 Jahre genannt. Am dramatischsten ist die Situation für Öl: über die Hälfte der Reserven ist bereits verbraucht /SZ99/. Für die Ölförderländer Norwegen und Großbritannien werden Reichdauern von 13 bzw. 10 Jahren angegeben, zwei Staaten, von denen Deutschland 38% seiner Rohöleinfuhren (1998) bezieht /BMWi99/. Die Lage ist also prekärer als vielfach wahrgenommen wird. Der Widerspruch zum 1. Handlungsgrundsatz ist eklatant.

- **Luftverschmutzung und Klimagefährdung.** Die Atmosphäre wird für mehrere mit der fossilen und nuklearen Energienutzung verbundenen Emissionen als Deponie missbraucht. Bekannte Schadstoffe sind CO_2, CO, CH_4, NO_x, organische Verbindungen, Krypton-85, Ruß und Feinstäube. Insgesamt verursachen Energieversorgung und Verkehr etwa die Hälfte des anthropogenen Treibhauseffekts. Daran hat CO_2 den Hauptanteil. Wenn auch die Folgen im einzelnen noch strittig sind, so ist der abrupte Konzentrationsanstieg von CO_2 auf jeden Fall beängstigend: Seit Beginn der Industrialisierung ist seine Konzentration um ca. 30% über den Höchstwert der vorausgegangenen 250.000 Jahre angestiegen und sie wird sich bei "business as usual" bis 2050 verdoppeln /Enq95/. Allein die CO_2-Emissionen verletzen drastisch den 2., 3. und 4. Handlungsgrundsatz.

- **Gefahren der Kernenergienutzung.** Die zivile Nutzung der Kernenergie ist mit zahlreichen nuklearspezifischen Gefahrenpotenzialen verbunden, die sich in vier Kategorien einteilen lassen und einzelne oder mehrere der Handlungsgrundsätze 2-4 ganz offensichtlich grob verletzen.

  a) **Radioaktive Verseuchungen längs des nuklearen Brennstoffgangs.** Die wichtigsten Stationen des Brennstoffgangs und deren Verknüpfungen zeigt Abb. 1. Die dabei involvierten Stoffströme und die dadurch verursachten radioaktiven Verseuchungen von Land und Meer sind enorm, wurden jedoch – aus deutscher Sicht – großteils ins Ausland verlagert (Erzgewinnung, chemische Umwandlung, Wiederaufarbeitung). Als grobe Faustregel kann gelten, dass zur Gewinnung einer Jahresbeladung von 30 Tonnen Uran-Brennstoff für einen 1,3 GW_{el}-Leichtwasserreaktor ca. 200.000 Tonnen Erz gewonnen und im Tagebau einige Millionen Tonnen Abraum weggeschafft werden müssen. Auch die Wiederaufarbeitung ist ein

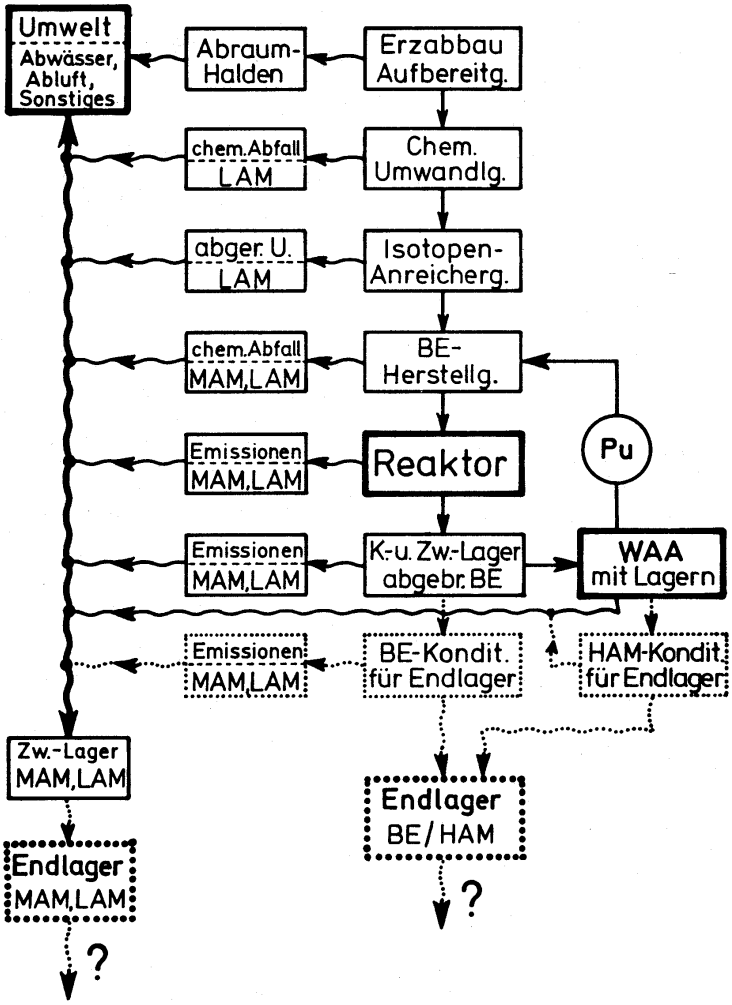

Abb. 1. Skizze der Stationen des atomaren Brennstoffgangs. Gerade Pfeile: Schritte zwischen technischen Prozessen; gewellte Pfeile: Abfallströme; punktierte Pfeile: technische Realisierung ungeklärt; LAM, MAM, HAM: leicht-, mittel-, hochaktiver Müll; abger. U: abgereichertes Uran; Pu: Plutonium; WAA: Wiederaufarbeitungsanlage; K.- u. Zw.-Lager: Kompakt- und Zwischenlager; abgebr. BE: abgebrannte Brennelemente; Kondit.: Konditionierung (in endlagertaugliche Form bringen). Die zur militärischen Nutzung führenden Schritte fehlen in der Abb. (vgl. Text).

Zwischenschritt, bei dem sich das Ausmaß der Stoffströme stark erhöht: Die chemische Vielfalt und die Volumina des radioaktiven Abfalls vergrößern sich hier um mindestens eine Größenordnung. Viele Verseuchungen sind schleichend und in ihrer Langzeitwirkung kaum abzuschätzen. Die größten radioaktiven Emissionen treten beim Uranerzbergbau und bei der Wiederaufarbeitung auf.

b) **Militärische Risiken.** Zivile und militärische Nukleartechnologien zeigen Gemeinsamkeiten und Überschneidungen an mehreren Stellen des Brennstoffgangs von der Erzgewinnung bis zur Abfalllagerung. Besonders sensible Stationen, die zur technisch einfachen Herstellung, Abzweigung und Weiterverbreitung (Proliferation) von waffentauglichem Uran oder Plutonium führen können, sind dabei die Urananreicherung,

die Wiederaufarbeitung und die Brennelementherstellung. Praktisch erwirbt jeder Staat, der ein ziviles Atomenergieprogramm betreibt, die Fähigkeit atomare Sprengsätze zu bauen. Etwa 20 Länder besitzen Zugriff auf die dazu nötigen Technologien /BBKS96/.

Eine weitere militärische Begleitnutzung stellt die Verwendung des bei der Isotopenanreicherung als Abfallprodukt entstehende abgereicherte Uran-238 (DU=depleted Uranium) dar. Es wird aufgrund seiner hohen Dichte konventionellen Geschossen zur Durchschlagserhöhung beigesetzt. Beim Aufprall wird es entzündet, fein verteilt und führt zu radio- und chemotoxischen Verseuchungen. Solche DU-verstärkten Geschosse wurden von USA und NATO 1991 in Golfkrieg gegen den Irak sowie 1999 in Kosovo-Krieg eingesetzt und können zu zahlreichen gesundheitlichen Spätfolgen führen /Ke99,En99,FR00/.

c) **Das offene Ende.** Das Problem der ungeklärten Entsorgung hochaktiven Atommülls (HAM) wächst und wächst. In Deutschland fielen bislang ca. 9.500 Tonnen abgebrannte Brennelemente an, bei einem jährlichem Zuwachs von ca. 550 Tonnen; während 1988 "nur" etwa ein Drittel (3.230 Tonnen) zu bewältigen gewesen wären. Weltweit existiert für HAM kein Endlager /KG98/. Die globale Situation ist in einer Spezialausgabe von Physics Today über "Nuclear Waste" so charakterisiert /Ah97/: *What can be done with radioactive waste? This extremely difficult question has not really been answered anywhere in the world; yet it must be answered. ... in spite of much effort, no country has yet found a "demonstrably acceptable" site for either simple storage or final disposal of spent fuel; further, all waste-generating countries have plans that will not come to fruition for a decade or more.*

Weltweite reale Praxis ist Zwischenlagerung mit zeitlich und technisch offenem Ende, also die Delegation des Problems auf kommende Generationen.

d) **Reaktorunfälle.** Seit den Kernschmelzunfällen von Harrisburg 1979 und Tschernobyl 1986 sind Reaktorkatastrophen von der Hypothezität /Hä74/, ein Begriff mit dem das sogenannte Restrisiko verschleiert wurde, zur brutalen Realität geworden. Beide Unfälle gehören in die Kategorie der "Normalen Katastrophen" /Pe87/, die für hochkomplexe, eng verkoppelten Systeme – wobei das Personal eine der mitverkoppelten Komponenten darstellt – unvermeidbar, also normal, sind. In beiden Fällen entwickelten sich die Unfälle aus einem jeweils belanglos erscheinenden Anlaß heraus und waren gekennzeichnet durch eine Kombination von technischen Mängeln und – unbeabsichtigtem – Fehlverhalten des Personals /We88,Ha97/.

Im Kommissionsbericht an Präsident Carter zum Unfall im AKW Three Mile Island bei Harrisburg findet sich die Situationsbeschreibung eines Zeitpunkts nach dem (fehlerhaften) offenen Hängenbleiben des Ventils *... there were over 100 alarms ringing in the control room, with no system for indicating which way was most important* /Di79/. Dieser Satz

zeigt, in welche ausweglose Situation sich komplexe Großanlagen entwickeln können, ohne daß der helfende Handgriff bekannt wäre. Daraus folgt, dass so lange Kernkraftwerke betrieben werden, die Gefahr von Reaktorkatastrophen gegenwärtig bleibt, und dass nur Abschalten Sicherheit garantieren kann. Fast hätte die Sturmnacht von 27. auf den 28. Dezember 1999 ein weiteres Katastrophenbeispiel beschert. In Blaye, nördlich von Bordeaux, hat das Hochwasser der Gironde die Blöcke 1 und 2 des AKW überschwemmt und sämtliche Notkühlsysteme funktionsunfähig gemacht. Laut Zeitung "Sud Ouest" sei das Atomkraftwerk nur knapp an einem großen Unglück vorbeigeschrammt /VDI00/.

- **Energieimporte als Kostenfalle.** In seinem Buch "Solare Weltwirtschaft" weist H. Scheer auf S. 136ff darauf hin, dass Entwicklungsländer einen ständig wachsenden Anteil der Exporterlöse für die Kosten ihrer Energieträgerimporte aufwenden müssen /Sch99/. Dieser Anteil lag bei vielen Entwicklungsländern 1985 bereits um die 50%. Wahrscheinlich hat er inzwischen bei der Mehrzahl dieser Länder die 50%-Marke überschritten und nähert sich dem 100%-Wert oder geht gar darüber hinaus. Zum Vergleich: die typischen Werte für EU-Länder lagen im Bereich von etwa 15-20% (1985). Dadurch haben die Entwicklungsländer, so folgert Scheer zurecht, ... *schlicht keine wirtschaftlichen Entwicklungsmöglichkeiten, solange sie von Primärenergieeinfuhren abhängig sind. Die Energieeinfuhren fressen die wirtschaftlichen Erträge, die aus dem Energieeinsatz erwachsen sollen, oft von vornherein auf.* Eine nachhaltige ökonomische Entwicklung ist diesen Ländern in der gegenwärtigen, von fossilen Energieträgern dominierten, Weltwirtschaft verwehrt.

3. Energiewende

Wenn dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung Rechnung getragen werden soll, muss also aus der Atomenergienutzung ausgestiegen, der Verbrauch fossiler Energien durch rationelle Nutzung (REN) kontinuierlich zurückgefahren und schließlich ganz durch regenerative Energieträger (REG) substituiert werden. Unter dem Begriff Energiewende wird in der energiepolitischen Diskussion i. a. die gewollte und gesteuerte Durchführung dieser Maßnahmen verstanden.

Eine irgendwie geartete Wende der globalen Energiewirtschaft wird auf jeden Fall kommen, allein schon aufgrund der zur Neige gehenden fossilen Ressourcen. Die entscheidende Frage ist, ob die dann verschärft auftretenden Energiekonflikte friedlich lösbar sind /BBKS96/, oder ob *das wahrscheinlich größte Gemetzel seit Menschengedenken* droht /Sch99,S.105/. Der Golfkrieg hat der Welt einen Vorgeschmack auf die Art der Auseinandersetzungen bei Ressourcenkonflikten gegeben.

Die zu lösende Aufgabe ist allerdings gewaltig, vergleicht man die Ausgangslage mit dem angestrebten Ziel. Die Verhältnisse sind in allen Staaten verschieden und wir wollen die Diskussion auf Deutschland, ergänzt durch einen Ausblick auf Europa, beschränken. 1998 betrug der PEV 14.320 PJ oder 488,6 Mio t SKE, wovon 86% auf fossile, 12% auf nukleare und nur 2% auf regenerative

Energieträger, hier wiederum zu etwa 2/3 durch Biomasse beigesteuert, entfallen. An der Stromerzeugung belief sich der REG-Anteil 1998 auf 5% (4% Wasser-, 1% Windkraft), hat jedoch durch den unerwartet starken Zubau von Windenergieanlagen 1999 inzwischen fast 6% erreicht /BMWi99,Hi00/.

Die Diskussion unterschiedlicher Szenarien oder gar Prognosen wird seit Jahrzehnten geführt. Bereits 1980 wurde die enorme Bandbreite denkbarer PEV-Szenarien für die (alte) BRD offen gelegt. So prognostizierte z. B. die Zweite Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung bis zum Jahr 2000 einen PEV-Anstieg auf 600 Mio. t SKE, wovon fast 30% durch die extrem ansteigende Kernenergienutzung gedeckt werden sollte. Im Gegensatz dazu legte das Öko-Institut ein "Prognose-Szenario" vor, bei dem im Jahr 2000 noch 300 Mio. t SKE eingesetzt werden und auf die Kernenergie schon einige Jahre zuvor ganz verzichtet wird /SRSU81/.

Ähnlich groß ist die Spannweite der berühmt gewordenen vier Pfade der Enquete-Kommission "Zukünftige Kernenergiepolitik", ebenfalls 1980. Der "harte" Pfad 1 landete 2030 bei 800 Mio. t SKE und beinhaltete die Installation von 165 GW_{el} Kernenergie, wovon ca. die Hälfte auf Brutreaktoren entfallen sollte. Der "sanfte" Pfad 4 hingegen versorgt die (alte) BRD im Jahr 2030 mit einem PEV-Betrag von 310 Mio. t SKE, verzichtete seit 2000 auf die Kernenergie und deckte ca. 1/3 des PEV-Bedarfs regenerativ /SRSU81/. Der Wert solcher Szenarien besteht vor allem darin, aufzuzeigen, was denkbar ist und welche Maßnahmen in Richtung auf ein von der Gesellschaft gewolltes Ziel nötig wären.

Neue Szenarien gehen noch weit über das Öko-Institut-Szenario und den Pfad 4 der Enquete-Kommission hinaus, was die Substitution konventioneller Energieträger durch REG anbelangt /LLNW97/. Angesichts der sich anbahnenden Vollendung des EU-Energiebinnenmarkts /DNK99/ erscheinen auch Szenarien für Europa angebracht. Zwei solche wurden von einer Gruppe aus fünf Forschungsinstituten aus Frankreich, Belgien, Dänemark und Deutschland erstellt /LTI98/. Diese beiden Szenarien betrachten die Zeitspanne bis 2050 und gehen von unterschiedlichen Voraussetzungen aus: Das "Fair-Market Scenario" verlangt die Berücksichtigung externer Kosten bei den Energiepreisen, wogegen das "Sustainable Scenario" von einem Wertewandel in der Gesellschaft ausgeht, der zu Normen und Regulierungen für Nutzung und Bereitstellung von Energie führt. Beidemal wird allmählich auf die Kernenergie verzichtet und bis 2050 eine ca. 90%-ige Reduktion der CO_2-Emissionen gegenüber dem Stand von 1990 erreicht.

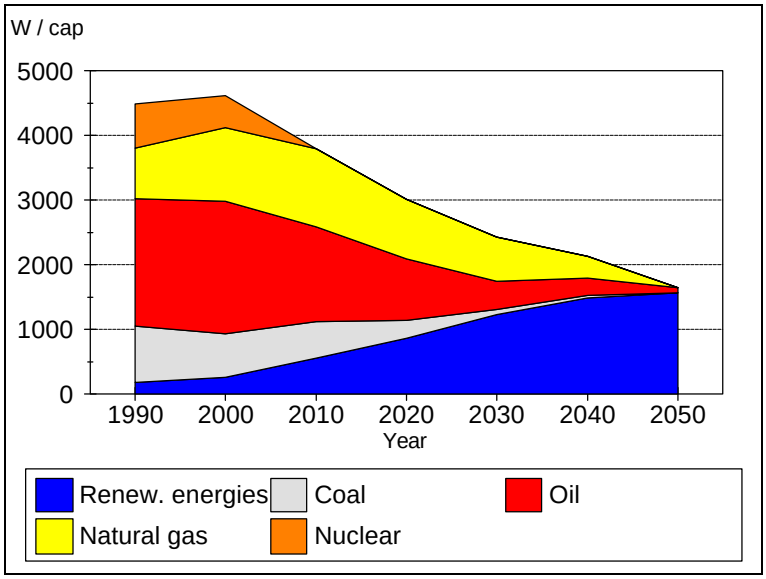

Abb. 2. Auslaufen der fossilen und nuklearen Energienutzung sowie Anstieg des Beitrags der regenerativen Energieträger im Sustainable Scenario für Europa bis zum Jahr 2050. Die Ordinate gibt den gemittelten Energieverbrauch pro Jahr und Kopf an /LTI98/.

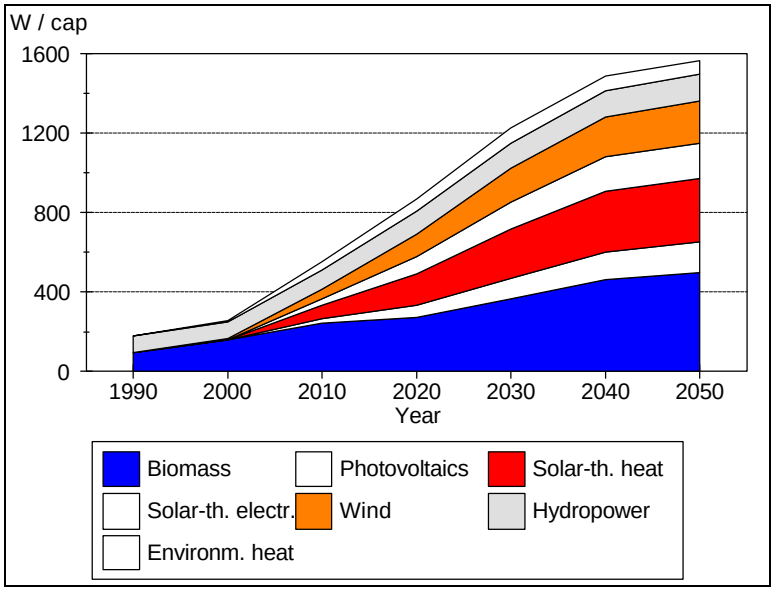

Abb. 3. Anstieg der Beiträge der sieben wichtigsten regenerativen Energieträger im Sustainable Scenario für Europa bis zum Jahr 2050 /LTI98/.

Für den Fall des "Sustainable Scenario" zeigt Abb. 2 das Auslaufen der Kernenergie bis 2010, aber auch der fossilen Energieträger (bis auf einen minimalen Öl-Restanteil von 5%) bis 2050. Dazu bedarf es sowohl einer drastischen Senkung des PEV von 4,5 kW/Kopf auf 1,7 kW/Kopf, als auch eines steilen Anstiegs der REG. Dieser ist in Abb. 3, nach sieben REG-Anteilen aufgeschlüsselt, dargestellt. Der größte Beitrag wird von der Biomasse erwartet, gefolgt von Solarwärme, Windenergie, solarthermischen Kraftwerken, Photovoltaik, Wasserkraft und Umgebungswärme. Begleitend zur zeitlichen Entwicklung von PEV, REG und Schadstoffemissionen werden in den Szenarien auch die nach Energieträgern getrennten Kosten für Investitionen und Anlagenbetrieb sowie die Beschäftigungseffekte berechnet. Insgesamt zeigt sich, dass dergestalt "gewendete" Energiesysteme Energie wahrscheinlich nicht teurer bereitstellten als konventionelle und darüber hinaus positive Beschäftigungseffekte zu erwarten wären.

4. Indikatoren

Sichere Prognosen der Entwicklung der Energieversorgung auf nationaler oder internationaler Ebene sind nicht möglich. Dies wird durch zahlreiche Fehlprognosen angesehener Institutionen aus den vergangenen Jahren belegt. Es gibt jedoch Indikatoren, dass der Ausstieg aus der Kernenergienutzung und die beginnende Energiewende hin zu REG und REN eingeläutet wurden.

Die nachfolgende Präsentation von Indikatoren zur Energiewende beschränkt sich, von wenigen Ausnahmen abgesehen, auf Deutschland. Die Aufzählung ist weder vollständig, noch gibt es ein objektives Kriterium für die getroffene Auswahl.

- **Ausstieg aus der Kernenergienutzung.** Ein Blick auf die tabellarischen Statusberichte der International Atomic Energy Agency (IAEA) zeigt den weltweiten Rückgang des Vertrauens in die Kernenergienutzung. Wurde die Gesamtzahl der in Betrieb und Bau befindlichen AKW 1989 noch mit 531 angegeben, so sank diese Zahl 1994 auf 496 und 1999 weiter auf 469 /IAEA89,IAEA94,IAEA99/. Seit 1986 ist weltweit nirgends außer im fernen Osten (Japan, Korea, Taiwan, China) noch ein AKW bestellt worden /TS98/. Von den laut IAEA-Statistik angeblich in Bau befindlichen AKW liegt, abgesehen von einem in Frankreich, keines in einem der westlichen Industriestaaten /IAEA99/. Dort werden also Investitionen in neue AKW nicht mehr als sinnvoll angesehen.

  In Deutschland selbst ist der *Ausstieg aus der Atomenergie* Bestandteil des rot-grünen Regierungsprogramms gemäß Abschnitt IV.3.2 des Koalitionsvertrags vom 20.10.1998 /FR98/. Zwar werden die vereinbarten zeitlichen Vorgaben nicht eingehalten und an real wirksamen Schritten ist bisher noch nichts umgesetzt worden, dennoch ist der Paradigmenwechsel im Regierungsprogramm bemerkenswert: Wurde die Kernenergie jahrzehntelang mit Milliardenaufwand als Zukunftstechnologie gefördert, so lautet jetzt der Leitgedanke *"Wegen ihrer großen Sicherheitsrisiken mit der Gefahr unübersehbarer Schäden ist die Atomkraft nicht zu verantworten.*

Deshalb wird die neue Bundesregierung alles unternehmen, die Nutzung der Atomkraft so schnell wie möglich zu beenden."

- **Fortschritte beim Einsatz erneuerbarer Energien und bei der rationellen Nutzung.**

a) **Erneuerbare Energien.** Am beeindruckendsten ist der Ausbau der Windenergienutzung. Die gesamte in Deutschland installierte Leistung hat sich in den Jahren 1997/98/99 von 2082 über 2875 bis 4443 MW gesteigert. Die in der BRD aufgestellten Windräder können in einem normalen Windjahr inzwischen 8,5 TWh/a elektrische Energie erzeugen und damit knapp 2% des bundesweiten Strombedarfs decken /Hi00/. Diese günstige Entwicklung wurde ganz wesentlich durch das Stromeinspeisungsgesetz vom 7.12.1990 (mit mehrfachen Änderungen) ermöglicht.

Der überaus starke Anstieg der Windkraft-Nutzung hat selbst Energieexperten überrascht. So vertrat etwa B. Stoy, Direktor der RWE-Anwendungstechnik und Mitglied diverser nationaler und internationaler Organisationen, die Ansicht, dass die Windenergie zu den *"exotischen" Energieträgern* gehöre, und *ihr Anteil in fernen Zeiten theoretisch die Ein-Promille-Grenze überschreiten könnte*. Als Gründe nannte er die *geringe Energiedichte* und die *extreme Abhängigkeit von Windstärke* und zog als Fazit, dass *die großtechnische Nutzung dieser Energiequelle in unserem Land indiskutabel bleibt* /St82/. Mit diesem Zitat möchte ich auf zwei, auch sonst oft anzutreffende, Irrtümer aufmerksam machen: (1) Das gegen REG vorgebrachte Argument der geringen Energiedichte entspringt dem Denken in zentralisierten Versorgungsstrukturen, wo von großen Zentren ausgehend in die Fläche verteilt wird. Bei dezentralen Versorgungssystemen geht das Argument ins Leere (vgl. dazu die Diskussion bei /Sch99/, S. 162ff). Physikalisch macht die Argumentation mit Energiedichten ohnehin wenig Sinn, wenn nicht die Nutzungstechnologien präzise definiert werden. (2) Die weit verbreitete Skepsis gegenüber der Leistungsfähigkeit von REG ist i. a. schlecht begründet und stützt sich auf Vorurteile, die durch unsere Gewöhnung an das fossil-nukleare Versorgungssystem entstanden sind.

Als Messlatten zur Beurteilung der bislang erreichten REG-Kapazitäten können Abschätzungen der technischen Erzeugungspotenziale für REG herangezogen werden /KW93,BMWi94,NL95,QH99/. Für die Windenergie-nutzung erstrecken sich die Potenzial-Abschätzungen, je nach Bewertung der Restriktionen und der Möglichkeiten der Offshore-Installationen, über eine sehr große Bandbreite um einen Wert in der Größenordnung von 200 TWh/a herum (Zum Vergleich: Stromendverbrauch 1997 in Deutschland 461 TWh/a /BMWi99/). Auf jeden Fall ist aber bereits heute eine Ausschöpfung des technischen Potentials in der Gegend von einigen Prozent realisiert worden.

Gemessen an der Windenergieernte sind die Fortschritte bei der Solarenergienutzung noch deutlich bescheidener. Hier hat bislang ein wirtschaftlicher Anreiz in dem Ausmaß gefehlt, wie ihn das Stromeinspeisungsgesetz für die Windkraft geboten hat. Dennoch weist der Absatz von Solarwärme-Anlagen seit 1989 durchschnittliche

Wachstumsraten von ca. 30%/a auf. Im Jahr 1998 wurden etwa 0,4 km^2 verglaste Kollektorfläche, entsprechend ca. 50.000 Solarwärme-Anlagen, installiert. Die bis heute installierte Gesamtfläche beläuft sich auf ca 2,4 km^2. Zusammen mit den unabgedeckten Schwimmbadabsorber-Anlagen dürften ca. 3 km^2 erreicht worden sein /DFS00/. Diese Zahl ist zu vergleichen mit dem technischen Flächenpotenzial in der Größenordnung von ca. 1.500-4.000 km^2, das Dächer, Fassaden, Böschungen, Lärmschutzwände und evtl. auch gewisse Freiflächen zur Belegung mit Kollektoren und/oder Fotovoltaikmodulen zur Verfügung stellen /KW93,NL95/. Die Nutzung von Freiflächen ist aus Gründen des Landschaftsschutzes strittig und ist mit ein Grund für die Bandbreite des angegebenen Flächenpotenzials. Auf jeden Fall aber zeigt der Vergleich mit den Flächen der installierten Anlagen, dass das technische Flächenpotenzial erst zu wenigen Promille für die Solarwärmegewinnung ausgeschöpft wurde.

Die Solarstromerzeugung durch Fotovoltaik befindet sich noch stärker im Rückstand. Bis Ende 1999 waren ca 65 MW Leistung installiert, womit sich der Ausbaustand dieser Technologie noch im Subpromillebereich im Verhältnis zum zugehörigen technischen Potenzial befindet. Jedoch kann nunmehr ein starker Aufschwung erwartet werden mit Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, welches anfängliche Einspeisevergütungen von 99 Pf/kWh vorsieht.

b) **Rationelle Energienutzung.** Die Vielfalt der REN-Anwendungen ist unüberschaubar groß. Ein Füllhorn von fünfzig ausführlich beschriebenen Möglichkeiten ist in dem Buch "Faktor vier" /WLL97/ spannend nachzulesen. An dieser Stelle sollen zwei Beispiele als Energiewende-Indikatoren genügen.

Der PEV in Deutschland ist von 1990-1998 um 4% gesunken, bei temperaturbereinigter Betrachtung sogar um 5%. Nach vorläufigen Bilanzen setzt sich dieser Trend auch 1999 fort. Noch bedeutsamer ist die Tatsache, dass die gesamtwirtschaftliche Energieintensität, also der Quotient aus PEV und Bruttoinlandsprodukt, von 1991-1998 um insgesamt 12%, oder durchschnittlich um jährlich 1,6%, abgesunken ist /BMWi99/. Ein ermutigender Anfang auf dem Weg zur *Vervierfachung der Ressourcenproduktivität* /WLL97/ ist also gemacht.

Als zweites Indikatorbeispiel sollen die beeindruckenden Fortschritte in der Entwicklung und Realisierung von Gebäuden mit Passivhaus(PH)-Standard erwähnt werden. Das Beispiel ist deshalb von zentraler Bedeutung, da die Bereitstellung von Raumwärme nicht nur ein Grundbedürfnis aller Menschen betrifft, sondern in Deutschland auch einen der größten Verbrauchssektoren überhaupt darstellt. Passivhäuser sind die konsequente Weiterentwicklung von Niedrigenergiehäusern. Sie können auch als "1-Liter-Häuser" bezeichnet werden, da ihr Heizenergiebedarf von 0-30 kWh/m^2a einen Heizölbedarf in der Größenordnung von 1ℓ $Öl/m^2a$ entspricht /VDI99,BINE99/. Seit der Erstellung der ersten Passivwohnhäuser 1991 in Darmstadt-Kranichstein sind nicht nur zahlreiche weitere Häuser erstellt worden, sondern der PH-Standard hat auch im

Geschosswohnungsbau und im Bau eines Verwaltungsgebäudes der Firma Wagner & Co, Solartechnik in Cölbe/Marburg /SWSB00,sol00/ seine Weiterentwicklung gefunden. Um den Fortschritt auf diesem Sektor voll würdigen zu können, sollte man sich den Heizwärmebedarf des Altbaubestands von ca. 220-270 kWh/m^{2}a und denjenigen gemäß Wärmeschutzverordnung 1995 von 90-120 kWh/m^{2}a vor Augen halten: die Einsparungen belaufen sich bei PH-Standard i. Vgl. dazu auf 90% und darüber.

Eine weitere Steigerung der Entwicklung deutet sich in den sogenannten Plusenergiehäusern an /Ja00/. Diese sind bezüglich der Dämmung nach PH-Standard gebaut, können jedoch durch reiche Ausstattung mit Kollektoren und Solarzellen in der Bilanz mehr Energie einfangen, als die Bewohner im Haus für Heizung und Warmwasser verbrauchen. In Freiburg wurden die ersten Häuser dieser Art bereits fertiggestellt.

c) **Politik und Gesellschaft.** Eine erfolgreiche Wende zur nachhaltigen Energieversorgung setzt einen gesellschaftlichen Wertewandel hin zu dem in Abschnitt 1 formulierten Leitbild und den daraus abgeleiteten Handlungsgrundsätzen voraus. Darauf baut das in Abschnitt 3 (vg. Abb. 2 und 3) skizzierte "Sustainable Scenario" explizit auf. Als Indikatoren für einen möglichen Wertewandel können Regierungs- und Parteiprogramme, Gesetze, Verordnungen, Initiativen von Verbänden und Organisationen, usf. dienen.

Die schon oben erwähnte Koalitionsvereinbarung der derzeitigen Regierungsparteien fordert Vorrang für erneuerbare Energien und Energieeinsparung sowie den Ausstieg aus der Atomkraftnutzung /FR98/. Da diese Punkte auch schon Inhalte der Wahlprogramme waren, spiegelt sich der mehrheitliche Wählerwille in diesen Forderungen wider. Wie steht es mit der Umsetzung dieser Vereinbarungen?

In Sachen Atomausstieg ist bislang noch nichts Nennenswertes geschehen. Die politische Diskussion hat sich in unergiebigen Konsensgesprächen über entschädigungsfreie Laufzeitbegrenzungen festgefahren. Zur Ergreifung anderer wirksamer, aber vielleicht weniger spektakulärer, Maßnahmen konnte sich die Bundesregierung erstaunlicherweise noch nicht entschließen. Als solche Maßnahmen werden diskutiert: Erhebung einer Ökosteuer auf Kernbrennstoffe, die Erhöhung der Haftpflicht-deckungssumme pro AKW von 500 Mio. DM auf mindestens den zehnfachen Betrag, die Überführung der steuerfreien Entsorgungs-rückstellungen von 75 Mrd. DM in einen unabhängigen Entsorgungsfonds nach schweizerischem oder schwedischen Vorbild und schließlich die Erzwingung notwendiger Sicherheitsnachrüstungen (z. B. bereits langjährig bestehende Auflagen für das AKW Biblis A).

Auf den Sektoren REG und REN sind jedoch Umsetzungen in gesetzgeberische Maßnahmen erfolgt, die deutlich in Richtung Energiewende weisen. Dazu gehört die Einführung der Ökosteuer am 1.4.99. Zwar sind die Lenkungseffekte aufgrund der geringen Zuschläge bei Kraftstoffen und der vielen Ausnahmeregelungen bei der Stromsteuer – die

vielfach gerade die Großverbraucher begünstigen – noch gering, jedoch ist die Umsetzung einer lange diskutierten Idee ein richtungsweisenden Signal.

Ein energiepolitisches Ereignis von ganz herausragender Bedeutung stellt die Novellierung des Stromeinspeisungsgesetzes dar, das nunmehr den Namen "Gesetz zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (Erneuerbare–Energien–Gesetz – EEG)" trägt und voraussichtlich am 1.4.2000 in Kraft tritt. Es regelt Einspeisung und Vergütung von Strom aus Wasserkraft, Deponie- und Klärgas (Anlagengrößen ≤ 5 MW), Biomasse (≤ 20 MW), sowie aus Windkraft, Solarstrahlung, Geothermie und Grubengas. Das EEG stellt für den wirtschaftlichen Betrieb regenerativer Stromerzeugungsanlagen i. Vgl. zum bisherigen Stromeinspeisungsgesetz insbesondere deshalb einen enormen Schritt nach vorn dar, als es bei Windkraftstrom die sogenannten 5%-Deckelungen beseitigt, insgesamt einen sinnvollen Belastungsausgleich zwischen den Netzbetreibern einführt und kostenorientierte Einspeisevergütungen vorschreibt. Hiervon profitiert vor allem die Solarstromerzeugung durch die Anhebung der Mindestvergütung von derzeit 16,13 Pfg/kWh auf 99 Pfg/kWh, die dann für später installierte Anlagen ab 2002 jährlich um 5% gesenkt wird. Falls eine Kombination mit dem, bisher schlecht angenommenen, "100.000 Dächer-Solarstrom-Programm" erlaubt wird, kann eine Kostendeckung weitgehend erreicht werden; wirkliche Gewinne sind allerdings noch nicht möglich /Fa00/.

Erwähnenswert ist ferner das mit 200 Mio. DM/a ausgestattete Marktanreizprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie vom 20.8.99, das die Förderung der Nutzung von REG zum Ziel hat. Bis 2003 sind Fördergelder in Höhe von 1 Mrd. DM vorgesehen. Schwerpunkte der Förderung sind u. a. Solarkollektoren, Biomassenutzung, mit regenerativ erzeugtem Strom betriebene Wärmepumpen und Wärmeschutzmaßnahmen /BAZ99/. Dieses Programm ist, wie eine Vielzahl von Förderprogrammen auf Länder- und kommunalen Ebenen, ein "Anreiz" für Schritte in Richtung Energiewende. Mehr ist es allerdings angesichts seiner geringen Finanzausstattung auch nicht. Dies zeigt beispielsweise der Vergleich mit den staatlichen Finanzhilfen von Bund und Ländern zur Förderung der deutschen Steinkohle überdeutlich. Diese betrugen 1998 9,25 Mrd. DM und werden 2005 noch 5,5 Mrd. DM betragen /DNK99/. Hier zeigt sich, wie ungleich die Kräfte trotz aller Absichtserklärungen noch verteilt sind.

5. Fazit

Auch wenn die oben herangezogenen Indikatoren unvollständig sind und ihre Auswahl einer gewissen Willkür unterliegt, so dürfte doch unstrittig sein, dass in Deutschland der Pfad zur Energiewende bewußt und gewollt betreten wurde. Allerdings sind erst wenige zaghafte Schritte auf einem langen, mühsamen Weg getan. Nötig wäre aber eine kraftvolle, allgemeine Aufbruchsstimmung. Noch fließen höhere Förder- und Investitionssummen zugunsten konventioneller als für erneuerbare Energiesysteme. Die Auseinandersetzungen um die Erschließung des neuen Braunkohletagebau-Reviers Garzweiler II oder das Feilschen um AKW-Laufzeiten zeigen, dass noch immer herkömmliche Denkmuster über die Struktur

einer möglichen Energieversorgung vorherrschen, und die ökologischen Risiken vielfach verkannt oder verdrängt werden.

Vordergründig betrachtet erscheint unser bisheriges von fossilen und – in geringerem Umfang – von nuklearen Energieträgern geprägtes Versorgungssystem, mit hoher Vergeudung von etwa zwei Dritteln der eingesetzten Primärenergie auf dem Weg zur Nutzung /GH99/, als der einfachere und billigere Weg. Bei Berücksichtigung aller externen Kosten, die durch Umweltschäden, Ressourcenerschöpfung, Subventionen und Versorgungskonflikte verursacht werden, lassen sich die wahren, teuren Kosten erahnen /Ho88,Hu91/.

Auch REG und REN bekommt man nicht geschenkt. Neue Techniken und Umgangsweisen müssen in gewaltigem Umfang erarbeitet und eingeübt werden. Dieser Herausforderung müssen sich Wirtschaft, Wissenschaft, Staat und Gesellschaft stellen. In seiner Stellungnahme zur Energieforschung hat der Wissenschaftsrat zehn Thesen und Empfehlungen zur Energieforschung unter folgenden Überschriften aufgestellt: *Energieversorgung sichern; Umweltbelastungen reduzieren; Energie wirtschaftlich und nachhaltig bereitstellen; Energie haushälterisch nutzen; Energieoptionen öffnen; Staatliche Forschungsförderung stärken; Industrielle Forschung muß stärker kooperieren; Forschung und ihre Förderung bündeln; Sozial- und geisteswissenschaftliche Forschung integrieren; Nachwuchs fördern* /WR99/. Durch meine Tätigkeit als Hochschullehrer kann ich seit Jahren miterleben, dass viele Studierende und junge Wissenschaftler/innen ihr Lernen und Können im Sinne dieser Thesen mit großem Engagement einbringen. Vielleicht ist darin der sicherste Indikator für eine beginnende Energiewende unter dem Leitbild der Nachhaltigkeit zu sehen.

Danksagung

Dr. Helmuth-M. Groscurth danke ich für die freundliche Zurverfügungstellung der Abbildungen 2 und 3. Dr. Hans-P. Frank und Dr. Klaus Vajen haben mich durch hilfreiche Anmerkungen zum Manuskript unterstützt.

Literatur:

Ah97	J. Ahearne: Radioactive Waste, Physics Today, June 1997, S. 22
BAZ99	Bundesanzeiger Nr. 162 vom 31.8.1999, S. 15137
BBKS96	W. Bender, S. Brückmann, M. Kalinowski, J. Scheffran; Energiekonflikte W&F Dossier 22, Beilage zur Zs. Wissenschaft und Frieden, Juni 1996
BINE99	BINE Informationsdienst: Erfahrungen mit Niedrigenergiehäusern, profi info 1/99, Fachinformationszentrum Karlsruhe/Bonn 1999
BMWi94	BMWi-Gesprächszirkel zum Thema "Energieeinsparungen und erneuerbare Energien". BMWi-Dokumentation Nr. 361, Bonn 1994
BMWi99	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energiedaten '98/99, Bonn 1999
DFS00	Deutscher Fachverband Solarenergie e. V., internet: www.dfs.solarfirmen.de und persönliche Mitteilung, Freiburg, März 2000
Di79	D. Dickson: End nuclear complacency – 3 Mile Island Report, Nature 282(1979)120
DNK99	Deutsches Nationales Komitee des Weltenergierates: Energie für Deutschland, Düsseldorf 1999
En99	V. Engl: Der verschwiegene Atommüllkrieg – Tschernobyl in Jugoslawien, Friedensforum 4/1999, S. 29
Enq95	Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages: Mehr Zukunft für die Erde, Economica-Verlag, Bonn 1995
Fa00	W. von Fabeck: Wirtschaftlichkeitsberechnung von Solarstromanlagen, Solarbrief (Solarenergie-Förderverein e.V., Aachen, http://www.sfv.de) 1/2000, S. 11
FR98	Dokumentation der Frankfurter Rundschau, 22.10.1998: Koalitionsvereinbarung zwischen SPD und Bündnis 90/Die Grünen
FR00	Frankfurter Rundschau, 22.3.2000
GH99	B. Geiger, H. Heß: Energiewirtschaftliche Daten, in: Jahrbuch 99, VDI Gesellschaft Energietechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf 1999, S. 267
Ha97	L. Hahn: Fakten und Legenden, in: Tschernobyl und kein Ende (W. Liebert, F. Schmithals Hrsg.) agenda Verlag, Münster 1997, S. 17
Hä74	W. Häfele: Hypotheticality and the New Challenges: The Pathfinder Role of Nuclear Energy, Minerva, **X** Nr. 3, Juli 1974
Hi00	C. Hinsch: Gesamtleistung stieg gegenüber dem Vorjahr um 50 Prozent an, Neue Energie 2/2000 S. 12
Ho88	O. Hohmeyer: Soziale Kosten des Energieverbrauchs, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 1988
Hu91	H. M. Hubbard: The Real Cost of Energy, Scientific American, April 1991, S. 18
IAEA89	IAEA Bulletin 4/1989, S. 75
IAEA94	IAEA Bulletin 1/1994, S. 54
IAEA99	IAEA Bulletin 3/1999, S. 60

Ja00 B. Janzig: Wohnhäuser als Kraftwerke, Neue Energie 1/2000, S. 28

Ke99 H. van der Keur: Die militärische Verwendung von abgereichertem Uran (DU), FriedensForum 4/1999, S. 25

KG98 J. I. Kim, K. Gompper: Nukleare Entsorgung – eine Übersicht über nationale und internationale Aktivitäten, Nachrichten. Forschungszentrum Karlsruhe, Jahrg. 30, 2/1998, S. 57

KRWK84 Keeney, Renn, von Winterfeld, Kotte: Die Wertbaumanalyse, High Tech Verlag, München 1984

KW93 M. Kaltschmitt, A. Wiese (Hrsg.): Erneuerbare Energieträger in Deutschland – Potentiale und Kosten, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 1993

LLNW97 O. Langniß, J. Luther, J. Nitsch, E. Wiemken: Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung – Ein solares Langfristszenario für Deutschland, Deutsches Zentrum für Luft- u. Raumfahrt und Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme, Stuttgart/Freiburg 1997

LTI98 The LTI-Research Group, c/o H.-M. Groscurth (Ed.): Long-Term Integration of Renewable Energy Sources into the European Energy System, Physica-Verlag, Heidelberg/New York 1998

NL95 J. Nitsch, O. Langniß: Strategien eines wirksamen Ausbaus regenerativer Energiequellen bis zum Jahr 2010,Tagungsbericht, 20 Jahre DGS, Köln 13.10.1995, DGS-Sonnenenergie Verlags-GmbH, München 1995, S. 15

Pe87 C. Perrow: Normale Katastrophen – Die unvermeidlichen Risiken der Großtechnik, Campus Verlag, Frankfurt/New York 1987

QH99 V. Quaschning, R. Hanitsch: Klimaschutz beim Wort genommen, Sonnenenergie & Wärmetechnik 5/1999, S. 12

Sch99 Hermann Scheer: Solare Weltwirtschaft, Verlag Antje Kunstmann, München 1999

sol00 internet: http://www.solarbau.de, Projekte, Freiburg/ Berlin/ Karlsruhe, März 2000

SRSU81 Sondergutachten, Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart/Mainz 1981

St82 B. Stoy: Direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie, in: Weltproblem Energie (Ed. W. Böhm, M. Simonis), Staatl. Inst. Lehrerfort- u. Weiterbildung., Studienmaterialien, Bd. 50, Speyer 1982

SWSB00 A. Spieler, R. Wagner, K. Schweitzer, S. Beisel, K. Tent, K. Vajen: Passiv-Verwaltungsgebäude – Erste Betriebserfahrungen mit dem Wagner-Passiv-Solarhaus, Tagungsband der 4. Passivhaus Tagung 10.-11. März 2000, Kassel, S. 435

SZ99 J. Schindler, W. Zittel: Wirtschaftliche Umbrüche durch nahende Erschöpfbarkeit fossiler Ressourcen, Solarzeitalter 2/1999, S. 12

TS98 K. Traube, H. Scheer: Kernspaltung, Kernfusion, Sonnenenergie – Stadien eines Lernprozesses, Solarzeitalter 2/1998 S. 22

UBA97 Umweltbundesamt: Nachhaltiges Deutschland, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1997

URSU94	Umweltgutachten 1994 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen, Deutscher Bundestag, Drucksache 12/6995, Bonn 1994
VDI00	VDI Nachrichten, 14.1.2000
VDI99	VDI Nachrichten, 3.12.1999
We88	G. Weiglein: Three Mile Island – 9 Jahre nach dem Unfall, Physik in unserer Zeit, 19. Jahrg., Nr. 5, 1988, S. 146
WLL97	E. U. von Weizsäcker, A. B. Lovins, L. H. Lovins: Faktor vier, Doppelter Wohlstand – halbierter Verbrauch, Droemer-Knaur-Verlag, München, 1997
WR99	Wissenschaftsrat: Stellungnahme zur Energieforschung, Hilgers & Marx, Köln 1999, S. 9