

# Energieperspektiven für nächste Jahrhundert

Seit 1987 der Brundtland-Report über die Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung der Welt erschien, ist Nachhaltigkeit zu einem neuen Zielbegriff der Politik geworden. Dieser Begriff umfaßt mehr als Umweltfreundlichkeit, er beinhaltet auch die wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungschancen künftiger Generationen. Da Energie sowohl Engpaßfaktor einer solchen nachhaltigen Entwicklung auf der Versorgungsseite ist wie auch Ursache eines Großteils der bekannten nachteiligen Umwelteffekte, kommt einer umweltfreundlichen und kostengünstigen Energieversorgung große Bedeutung für das Gelingen einer nachhaltigen Entwicklung zu.



Von Gerd Eisenbeiß

**E**in Blick in die Zukunft unserer Energieversorgung braucht ein Zukunftsbild der gesamten Entwicklung der Menschheit. Denn Energieverbrauch ist sowohl Voraussetzung wie auch Folge dieser Entwicklung. Verfügbarkeit von Energie ist entscheidend für unser privates und gesellschaftliches Leben sowie insbesondere für unsere wirtschaftliche Existenz. Auch universell gilt, daß ohne ausreichende Energieversorgung eine humane Entwicklung der noch immer wachsenden Menschheit nicht möglich sein wird. Wenn wir heute Energie-Optionen bewerten wollen, müssen wir daher die Welt verstehen, in der wir und mehr noch unsere Kinder und Enkel im nächsten Jahrhundert leben werden. Was wissen wir über diese Zukunft – oder besser: was glauben wir zu wissen? Können wir überhaupt etwas wissen?

das  
dert



Die letzte Frage hat damit zu tun, daß unsere Entwicklung immer stärker von neuen Ideen, Entdeckungen und Innovationen geprägt wird, die wir immer weniger prognostizieren können. Weiterhin müssen wir unsere Grenzen erkennen, wenn wir uns mit der Weltwirtschaft und ihrer Steuerbarkeit befassen. Mit großer Geschwindigkeit haben wir, die Industrieländer, die Erde vielfach vernetzt – insbesondere mit Handelsbeziehungen, Verkehrs- und Kommunikationsnetzwerken – und die Märkte geöffnet.

Es erscheint möglich, daß dem freien Weltmarkt kein soziales Korrektiv beigegeben werden kann wie bei der nationalen sozialen Marktwirtschaft; und die soeben begrifflich entstandene ökologische Marktwirtschaft dürfte erst recht entscheidende Startprobleme haben. Wenn Kohle, Öl, Erdgas und sogar Sekundärenergieerzeuger wie elektrischer Strom sowie die entsprechenden Umwandlungstechniken weltweit frei gehandelt werden, dann dominieren die wirtschaftlichen Kriterien des Wettbewerbs übermächtig gegenüber kleinräumigen Gestaltungswünschen national organisierter Interessen. Vorstellungen von Alternativsystemen werden dann Träume bleiben, wo sie sich nicht von selbst im Wettbewerb durchsetzen.

Analysiert man die Interessen von Ländergruppen in verschiedenen Entwicklungsstadien, so überrascht nicht, daß die Position der armen Länder gegenüber Umwelt- und Klimaschutz ganz anders ist als die der reichen: Wo Armut, Hunger und Unterentwicklung herrschen, kommt das Überleben vor jedem Umweltschutz, und wenn die Logik einer Selbstgefährdung durch Umweltfolgen noch so eindeutig wäre.

Die schwierige Frage lautet, welche Entwicklung von Problembewußtsein, Handlungsoptionen und tatsächlichen Maßnahmen ein längerfristiges Energieszenario unterstellen soll. Daran schließt sich gleich die Frage an, wie diejenigen, die in Wirtschaft und Politik zu unternehmen oder zu unterlassen haben, ihre Verantwortung vor einer Zukunft wahrnehmen sollen, die sie immer weniger kennen können. Das Ziel jeder Analyse wird unscharf, wenn die Gestaltungsfähigkeit unserer Zukunft immer mehr an einen selbst regelnden Weltmarkt abgetreten wird. Erschwerend kommt hinzu, daß sich die globalen Finanzströme um Größenordnungen von ihrer ursprünglichen Aufgabe der Finanzierung des Handelsaustauschs gelöst haben mit der Gefahr, Instabilität für das Gesamtsystem zu produzieren. Marktwirtschaft ist heute ein autonomes Regelsystem ohne politisch verantwortliche Instanz, weil dem Weltmarkt kein politisch legitimes oder auch nur handlungsfähiges Regierungssystem gegenübersteht. Beispielhaft verdeutlicht dies das Schicksal des UNCED-Prozesses von Rio und seinen Folgekonferenzen zu „nachhaltiger“ Entwicklung und Klimaschutz.

Worauf aber kann man sich gleichwohl verständigen? Da sind zunächst die Elemente der Energie-Nachfrage. Hierbei geht ein das Bevölkerungswachstum, die wirtschaftliche Entwicklung insbesondere in den am stärksten wachsenden Teilen der Welt. Und natürlich ist wichtig, wie die mit Energie verbundenen Bedürfnisse nach Wärme, Licht, Kraft und Mobilität im Wirtschaftssektor und beim Privatverbrauch befriedigt werden.

Daß das Bevölkerungswachstum etwa eine Verdoppelung der Menschheit bringen wird, darüber scheint breiter Konsens zu bestehen, auch wenn die Prognosen in letzter Zeit ein wenig zurückgenommen werden konnten. Aber 10 Milliarden Menschen können nicht leben, wie wir es gewöhnt sind, weil die Ressourcen dafür nicht vorhanden sind – weder auf der Versorgungsseite noch auf der Entsorgungsseite. Und Energie dürfte der spürbarste und wirkungsvollste Engpaßfaktor bei dieser Entwicklung sein, die Armut, Hunger und letztlich noch stärkeren Immigrationsdruck auf die Staaten des Nordens bringen dürfte.

Würde sich der Pro-Kopf-Verbrauch der Menschheit im Zuge von Wachstum an Zahl und Wohlstand bis Ende des nächsten Jahrhunderts auch nur verdoppeln, so betrüge der jährliche Energieverbrauch der Menschen mit etwa 45 Milliarden Tonnen SKE (Steinkohleeinheiten) grob das Vierfache des heutigen Wertes. Würde dies alles ohne massive Entlastung durch Solarenergie geschehen, so mag zwar die Ressourcensituation auf der Versorgungsseite durch neue Funde und wirtschaftliche Erschließung heute noch unwirtschaftlicher Kohle-, Öl- und Gasvorräte lösbar erscheinen, nicht aber die Entsorgung der entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emission von über 10.000 Milliarden Tonnen bis 2100.

Damit ist die energiepolitische Wunschliste konkret: Saubere, klimaneutrale Energiequellen müßten her, die zugleich kostengünstig, sicher und akzeptiert sind. Zur Zeit erfüllen aber weder die solaren noch die nuklearen Technologien alle diese Bedingungen.

Vorerst müssen wir davon ausgehen, daß die wachsende Menschheit sich nach unserem „westlichen“ Grundmodell der Industrialisierung und des freien Handels wirtschaftlich entwickelt und Energie braucht für alle die Bedürfnisse, die auch uns wichtig sind. Wir werden viel erreicht haben für die Schonung der Umwelt, wenn wir der Welt kommerziell und über Hilfsprogramme wenigstens bessere, sparsamere, effizientere und sauberere Energietechnologien erschwinglich anbieten können.

Wenn wir also Wachstum und Entwicklung gerade der heute noch armen Länder unterstellen, müssen wir trotz der beachtlichen Fortschritte beim rationellen Umgang mit Energie und bei den Energiedienstleistungen auch einen Zuwachs beim Energieverbrauch und eine neue Anspannung der kritischen Weltenergiemärkte mit Preisreaktionen annehmen. Nur ein Szenario der Nicht-Entwicklung

der Armen könnte das verhindern; dies wäre aber wohl kaum ein Szenario, in dem wir in Frieden und Wohlstand genießen könnten, was wir anderen vorzuenthalten.

Mittelfristig konkreter ist an eine Entwicklung zu denken, bei der die europäische Öl- und Gasversorgung vorratsbedingt abnimmt, und Ost- und Südost-Asien zu gewaltigen Öl- und Gasimporteuren werden. Eine solche Entwicklung der Versorgungs- und Preissituation kann nicht unbedingt als stetig und langsam angenommen werden; vielmehr ist bei einem Umschlagen von Käufer- zu Verkäuferdominanz eine sehr scharfe Preisreaktion an den Weltenergiemärkten wahrscheinlich.

Dies ist eine Aussage gegen den derzeitigen Meinungstrend, der wesentlich von den globalen Öl- und Gaskonzernen geprägt wird, die Ruhe und Vertrauen an der Energiefront fördern wollen. Es gibt beeindruckende Prospektionserfolge der letzten Jahre, die die lineare Reichweite der gesicherten, wirtschaftlichen Vorräte trotz des Verbrauchs verlängert und nicht verkürzt haben. Aber was sind diese Zahlen gegen hunderte Millionen auto-fahrende Chinesen, Thais und Indonesier mit einer entwickelten Industrie.

Erdgas ist der bei weitem bequemste und umweltfreundlichste Energieträger. Zumindest wenn es nicht durch Lecks in die Atmosphäre gelangt, ist Erdgas auch der klimaschonendste fossile Energieträger. Seit nun Klimaschutz populär ist, gibt es einen wahren Run auf Erdgas. Kraftwerksbetreiber rüsten auf Gas um, neue Kraftwerke entstehen, wo immer möglich, als kombinierte Gas- und Dampfturbinen-Anlagen mit Wirkungsgraden von 58 Prozent und bald mehr, PKW-Hersteller bieten Erdgasautos an. Natürlich ist das zunächst einmal gut für Umwelt und Klima – aber doch nur, wenn man den ökologischen Gaseffekt als Zeitgewinn in der Suche nach neuen kostengünstigen Lösungen betrachtet und

nutzt. Denn Erdgas wird so beschleunigt verbraucht. Unsere Kinder werden auf unbequemere und dreckigere Öle und Kohlen zurückgreifen müssen, solange keine nicht-fossilen Energien einspringen können. Es stellt sich hier eben keine nur wirtschaftliche Frage, sondern ein enormes moralisches Problem der Verantwortung für eine letztlich unausweichliche „nachhaltige“ Entwicklung.

Die Energiefrage muß letztlich als Herausforderung verstanden werden, künftigen Generationen zur Kompensation des verbrauchten Vorrats eine neue Energiequelle zu erschließen. Der beschleunigte Erdgasverbrauch ist nur eine künftigen Generationen wohl besonders dreist erscheinende Steigerung unseres Egoismus – besonders dreist, weil wir hier nicht unwissend in etwas hineingeraten, wie vielleicht noch vor 50 Jahren beim Wiederaufbau unseres Landes, sondern aktiv handeln und die Entwicklung treiben.

Leider kann man nun nicht davon ausgehen, daß die genannten Fakten zu der erforderlichen intensiven Energieforschung führen werden – etwa mittels einer aus dem Verbrauch abgeschöpften Finanzierung. Nein, man muß weltweit eher von einem verminderten Ressourceneinsatz für Energieforschung ausgehen, so daß die große Option Sonnenenergie (im weiteren Sinne alle erneuerbaren Energiequellen) nicht in der gebotenen Schnelligkeit entwickelt wird. Aktuelle Signale der neuen Bundesregierung in Deutschland zu Energiesteuern und höherem Forschungseinsatz sind hoffentlich Vorboten einer Trendwende.

Auch die allmählich in Schwung kommende Deregulierung der Strommärkte wird diese beiden Optionen weiter zurückwerfen; denn die verringerte Investitionssicherheit auf liberalisierten Strommärkten wird gegen kapitalintensive, langlebige Energietechnologien sprechen; Gegner der Kernenergie mögen dies erfreulich finden, Befürworter alternativer Energien werden sich aber wundern, wie die Rückwirkungen auf Wind und Solarkraftwerke aussehen werden.

Zusammenfassend erscheinen folgende Randbedingungen für die Energiefrage im nächsten Jahrhundert zumindest plausibel:

- Die wachsende Menschheit wird trotz großer Fortschritte beim rationellen Umgang mit Energie deutlich mehr Energie brauchen.
- Die Energiepreise werden wahrscheinlich schon mittelfristig in unstetiger Weise verbrauchsbedingt ansteigen.
- Die Entwicklung der nicht-fossilen Optionen als Verbrauchs-Kompensation künftiger Generationen erhält keine Beschleunigung.

Systemanalytische Versuche, Perspektiven zu beschreiben, haben aber noch eine andere, aufklärerische Funktion. Hier ist nicht der pragmatische Analytiker, sondern der mutige Analytiker gefragt, der heute nicht berücksichtigte Randbedingungen der Entwicklung einbezieht und in Szenarien zeigt, was sein sollte und unter welchen Voraussetzungen es Wirklichkeit werden könnte.

Bei diesem Ansatz müssen vor allem die ökologischen Faktoren einbezogen werden, die unser Gesellschaftssystem vernachlässigt, solange es nur ökonomischen Kriterien und Mechanismen folgt; und es müssen die Grundlagen für Langfriststrategien weiterentwickelt werden, selbst wenn sie kurz- und mittelfristig unrentabel und energiewirtschaftlich noch unbedeutend sind.

Natürlich ist ein guter, marktwirtschaftlich sauberer Ansatz der, die vernachlässigten externen Kosten der Energieerzeugung und -bereitstellung zu erfassen und für ihre Internalisierung zu werben. Jedoch ist ein großer Bereich der externen Kosten noch nicht erfaßt und wird vielleicht auch nie erfaßbar sein. Dabei sollten auch die notwendigen Forschungs- und Erschließungskosten neuer Energien als externe Kosten unseres heutigen Verbrauchs betrachtet werden, wie dies bereits beim beschleunigten Erdgasverbrauch angesprochen wurde. Dabei ist mir wichtig, einem häufigen Mißverständnis entgegenzutreten: Die Kosten für Forschung und Entwicklung bei Kern-

energie oder Sonnenenergie sind nicht etwa externe Kosten dieser neuen Technologien, sondern ein Teil der externen Kosten der fossilen Energieträger.

Trotz der analytischen Fortschritte und ihrer immer deutlicheren Anerkennung in der Politik sind allerdings auch ein paar kritische Bemerkungen zu allzu großen Behauptungen und Erwartungen angebracht: Die Umweltgesetzgebung in Europa hat bereits große Schritte zur Internalisierung unternommen – nicht durch aktive Preispolitik, sondern durch Vorschriften und Auflagen. Beispiele sind die Verordnungen zum Bundesimmissionschutz-Gesetz für Feuerungsanlagen oder die Katalysatorpflicht bei Kraftfahrzeugen. Zum anderen sind verborgene externe Kosten nicht nur der Energie zueigen, sondern ebenso den meisten Kapitalgütern, so daß die erstrebte Kostenklarheit für einen fairen Wettbewerb zwischen Energieverbrauch und Sparinvestition nicht immer nur in eine Richtung wirken wird.

Im wesentlichen haben wir vier Optionen für eine Energieversorgung im nächsten Jahrhundert: Rationelle Energieverwendung und intelligente Energiedienstleistungen; effiziente Umwandlungstechnologien für Kohle, Öl und Gas; erneuerbare Energien; nukleare Energien. Die meisten dieser Energien stoßen in ihrer Anwendung auf erhebliche Akzeptanzprobleme in unserem Kulturkreis, dabei sind Kosten und Risiken die Hauptgründe.

Am wenigsten gilt dies für die ersten Optionen der rationellen Energieverwendung und der Verbrennung fossiler Energieträger, soweit hier betriebswirtschaftlich rentable Wege beschritten werden oder im Privat-Bereich Kostenkalkulationen keine Rolle spielen. Hier sind schließlich erhebliche Fortschritte etwa bei

Kraftwerkswirkungsgraden, industriellem Energieverbrauch, Heizungsanlagen und Haushaltsgeräten zu verzeichnen. Diesen Trend können wir wohl ins nächste Jahrhundert fortschreiben.

Bei diesen Perspektiven wird es der neue Aufbruch der Brennstoffzellentechnologie schwer haben, im Kraftwerkssektor zu reüssieren; ihre Chance liegt eher bei kleinen Wärme-Kraft-Kopplungseinheiten oder auch im Verkehr als Stromquelle für Elektrofahrzeuge.

Radikalere Umstellungen mit erheblichen Mehrkosten werden allerdings weiterhin soziale Akzeptanzschwierigkeiten haben; man denke nur an vergleichsweise triviale Ansätze wie die Verlagerung der Kraftfahrzeugsteuer auf die Mineralölsteuer, die an Pendler- und Bund-Länderproblemen scheitert. Auch die energetische Altbausanierung kommt ihrer für unzumutbar gehaltenen Kosten wegen nicht in Gang, obwohl hier das größte Potential für Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung liegt.

Eine der ganz schwierigen Fragen in Bezug auf die Energieperspektiven im 21. Jahrhundert ist es, ob Kernenergie in energiewirtschaftlich relevanter Größenordnung bei uns in Europa oder in anderen Weltgegenden eine Rolle spielen wird. In unseren demokratischen Gesellschaften wird wohl ein Zubau von Kernkraft Ausnahme bleiben. Weltweit gesehen ist die Situation eher offen und entscheidend von Kostengesichtspunkten abhängig. Zur Zeit dürfte Kernkraft weder mit Kohle bei 80 DM pro Tonne noch mit Erdgas konkurrenzfähig sein; Änderungen der Energiepreise könnten das Bild schon in den nächsten Dekaden verändern.

Eine noch nicht als Energiequelle gesicherte Option ist die Kernfusion; noch wissen wir trotz guter Fortschritte in der europäischen Versuchsanlage JET nicht, wie ein Fusionsreaktor mit positiver Energiebilanz physikalisch beschaffen sein wird, wie seine technologischen Probleme zum Beispiel im Wandbereich gelöst werden und wie seine Ökonomie sein

wird. Andererseits sollte diese Frage in einer internationalen Gemeinschaftsanstrengung geklärt werden, denn neben der Sonnenenergie bietet nur die Kernfusion eine nach menschlichen Maßstäben unerschöpfliche Energiequelle. Überlegt man die mögliche Zeitfolge von der nächsten Testreaktor-Generation zum möglichen Markteintritt, so wird unter keinen Umständen vor 2050 die Energiewirtschaft erreicht. Wir brauchen also andere Optionen, um zwischenzeitlich oder auch endgültig bestehen zu können.

Eine der wichtigsten Optionen sind erneuerbare Energien, die sich fast alle außer Erdwärme und Gezeitenkraft aus der Sonnenenergie ableiten. Im nächsten Jahrhundert werden diese Energien eine bedeutende Rolle spielen müssen – aus ökonomischen ebenso wie aus ökologischen Gründen. Doch trotz der großen Fortschritte, die in den letzten beiden Jahrzehnten in Forschung und Erschließung erreicht worden sind, liegen die bisher erreichten Kostenniveaus weithin zu hoch. Ihre Akzeptanz in Wirtschaft und Gesellschaft ist daher faktisch niedrig; darüber darf auch die zumindest in Deutschland hohe öffentliche Wertschätzung – 94 Prozent Zustimmung in jüngeren Umfragen – nicht hinwegtäuschen.

Hier eröffnet die Liberalisierung der Strommärkte durchaus neue Chancen, daß diejenigen, die für wirklich saubere Energie gern mehr bezahlen wollen, sich aus erneuerbaren Energiequellen versorgen lassen. Green pricing-Angebote von EVUs oder eigenständige Anbieter ausschließlich „erneuerbaren“ Stroms stellen zugleich einen interessanten Test dafür dar, wie viele Kunden welche Mehrkosten in Kauf zu nehmen bereit sind.

Die jetzt schon erschließbaren Märkte im Bereich energiebewußten, auch solaren Bauens, der Solarkollektoren, der Wind- und Biomasse-Nutzung, der photovoltaischen Kleinanwendungen, der Erdwärme-Kraftwerke in geeigneten Gebieten oder der thermischen Solarkraftwerke haben noch keine energiewirtschaftlich durchschlagende Bedeutung, weisen aber unverändert ein ausreichendes Kostensenkungspotential auf, um im nächsten Jahrhundert Versorgung und Umwelt wesentlich zu entlasten. Dieses Potential zu erschließen bedarf es intensiver Forschung, breiter Anwendungserprobung und der Entwicklung ausgefeilter Fertigungstechnologien. Blickt man abschließend auf den Sekundär-Energie-Bereich, so spielen sicher unverändert Elektrizität, Kohlenwasserstoffe und warmes Wasser (insbesondere für Fernwärme, auch solar) die Hauptrolle; Wasserstoff ist wahrscheinlich langfristig überflüssig, obwohl der Verbrauchsanteil des Verkehrssektors wächst. Es kommt hinzu, daß nicht-fossil erzeugter Wasserstoff kaum anders als durch Elektrolyse zu gewinnen ist. Damit muß er systematisch teurer sein als elektrischer Strom, den man doch besser unmittelbar nutzt. Es könnte nur dann anders kommen, wenn eine Möglichkeit der Endlagerung von CO<sub>2</sub> gefunden würde, die Rückkehr des CO<sub>2</sub> für praktisch unendliche Zeiträume 100prozentig auszuschließen; die Abtrennung des CO<sub>2</sub> aus dem Brennstoff oder aus Rauchgasen dürfte zumindest technisch lösbar sein. Was so produzierter Wasserstoff kosten würde, ist wohl noch nicht abschätzbar. Ob es für den Verkehrssektor auch größere Biofuel-Beiträge geben wird, ist eher unsicher, da Biomasse abgesehen von Rest- und Abfallstoffen in Konkurrenz zu Nahrungsmitteln produziert werden müßte und zudem Kohlenwasserstoffe günstiger aus der Wärmeerzeugung verdrängen wird.

So sehr der Autor an die Notwendigkeit der Vernunft und ihre Kraft glauben möchte, so wenig gesichert erscheint die Fähigkeit der Politik und schon gar der Welt-Politik, komplexe Veränderungen kontrolliert zu steuern. Wenn die Mensch-

heit Glück hat, werden allmähliche Veränderungen des Weltenergiemarktes zu Reaktionen zwingen; sonst werden es Krisen oder Katastrophen sein, die zur Korrektur treiben. Diese Korrekturen werden aber wiederum kaum maßgeschneidert sein, sondern viele punktuelle Überreaktionen beinhalten.

Daher wird wahrscheinlich eine eher un-stete, hoffentlich wenigstens friedliche Zeit der Turbulenzen auf uns zukommen, die Krisen im Einschwingprozeß zur nachhaltigen Entwicklung nicht ausschließt. Vielleicht gibt es in der Welt des Versicherungs- und Bankkapitals sogar hilfreiche Kräfte für frühzeitigeres Handeln aus wirtschaftlichen Überlegungen als bei Regierungen; manche Anzeichen deuten darauf hin, daß man in diesen Kreisen langfristiger denkt als im produzierenden Gewerbe; zudem beginnen die Versicherungen zu verstehen, daß Risiken des globalen Klimawechsels in großem Umfang Finanzrisiken ihrer Branche werden.

Ob also mit mehr oder weniger Turbulenz, im Energiesektor wird sich Stück für Stück die Nutzung vor allem erneuerbarer Energien durchsetzen – ungeachtet der Tatsache, daß Kohle noch lange zur Verfügung steht, und ungeachtet der Frage, wie die Menschheit weiterhin mit der nuklearen Option umgeht.

---

Dr. Gerd Eisenbeiß ist Programmdirektor Energietechnik des DLR in Köln. ◀

