

Energie im globalen Treibhaus

- Herausforderung auch für die Schule - Teil 2¹

Verfasser: Dr. Stefan Hoppenau, BLK-Modellversuch Energienutzung und Klima, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Bundesstraße 55, 2000 Hamburg 13

3 Energiepolitik oder verbrannte Zukunft?

Die Aussagen und Daten des vorangehenden 2. Kapitels kann Schule nicht mit eigenen Mitteln gewinnen. Einsicht als ein Produkt von Bildung und Erziehung aber setzt oberhalb solch reiner Wissensansammlung voraus, daß der oder die Betroffene in der Lage ist, sich selbständig ein Bild der Zusammenhänge zu machen und eigenständig zu urteilen. Daher kann Klimaschutz nur Inhalt schulischen Lernens sein, wenn Schule die Möglichkeit hat, mit eigenen Mitteln die auf politischer und wissenschaftlicher Ebene formulierten (Reduktions-)Maßnahmen zu begründen und aufzuzeigen, an welchen Stellen (politischer) Entscheidungsbedarf vorliegt. Ziel solch eigenständiger Arbeit mit einfachen Mitteln ist es, eine Einschätzung der wesentlichen Parameter zu ermöglichen und die »Marschrichtung« wirksamer Klimaschutzpolitik aufzuzeigen.

3.1 Atmosphärisches CO₂ - Einfache Szenarien

Wir haben an anderer Stelle gezeigt, daß in diesem Jahrhundert die atmosphärische Konzentration von CO₂ proportional zur genutzten (kommerziell gehandelten) fossilen Energie anstieg [21] (Abb. 10) und daß in dieser vereinfachten Darstellung, auch im Vergleich zum IPCC, die Entwicklung der atmosphärischen CO₂-Konzentration $p\text{CO}_2(t)$ erfolgreich berechnet werden kann; der einzige freie Parameter ist ein Szenarium künftig genutzter fossiler Energie $E_f(t)$.

$$\Delta p\text{CO}_2 = k \cdot \sum_{t_0}^t E_f(\tau)$$

$$k = 0,18 \frac{\text{ppmv}}{\text{TWa}}$$

Abbildung 11 zeigt den künftigen CO₂-Gehalt der Atmosphäre für die vier Szenarien:

- [a] Die CO₂-Emissionen werden 50 Jahre lang auf dem Stand von 1990 eingefroren, danach -2% pro Jahr.
- [b] Die CO₂-Emissionen wachsen noch 50 Jahre lang mit +1% pro Jahr, danach -2% pro Jahr.

Es wird mit elementaren Abschätzungen gezeigt, daß und warum die Industrieländer ihre fossile Energienutzung in wenigen Jahrzehnten auf ein Drittel reduzieren müssen. Ohne Bewußtseins- und Wertewandel werden die Industrieländer diese Aufgabe nicht leisten können. Die quantitative Entwicklung von Szenarien erfordert nur wenig Mathematik.

- [c] Die CO₂-Emissionen wachsen noch 50 Jahre lang mit +2% pro Jahr, danach -2% pro Jahr.
- [d] Die CO₂-Emissionen wachsen noch 100 Jahre lang mit +2% pro Jahr.

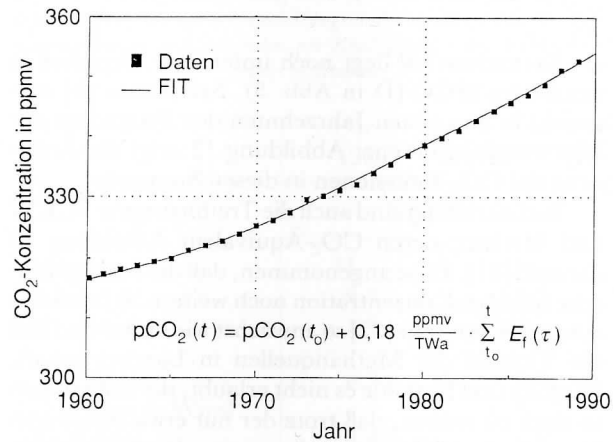


Abb. 10. Der Gehalt von CO₂ in der Atmosphäre, $p\text{CO}_2$ steigt proportional zur fossilen gewonnenen Primärenergie E_f .

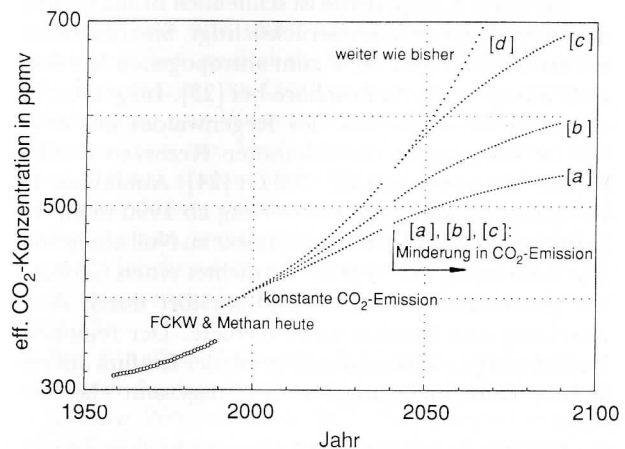


Abb. 11. Szenarien des anthropogenen Treibhauseffekts. Bis 1990: Daten der CO₂-Zunahme, ab 1990: CO₂ & CH₄ & FCKW in CO₂-Äquivalenten.

¹ Nach einem Vortrag auf der 82. Hauptversammlung 1991 in Göttingen. Teil 1 erschien in Heft 8/1992.

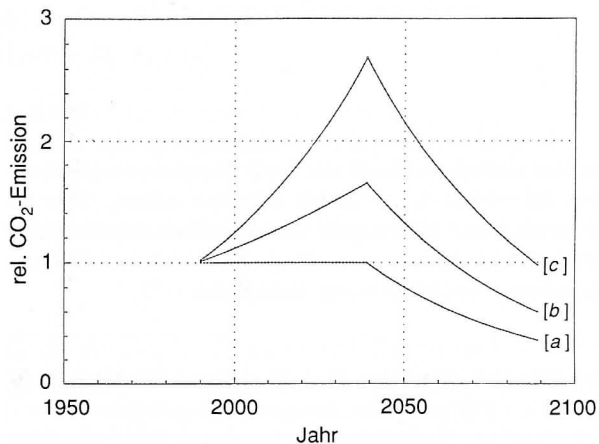


Abb. 12. Relative Änderung der CO₂-Emissionen in den drei Szenarien. [a] reduziert auf ein Drittel der heutigen Emissionen!

Szenarium [d] liegt noch unter dem »business as usual« des IPCC (D in Abb. 5), Szenarium [b] entspricht in den ersten Jahrzehnten den Prognosen der Weltenergiekonferenz. Abbildung 12 zeigt die Änderung der CO₂-Emissionen in diesen Szenarien.

Berücksichtigt sind auch die Treibhausgase FCKW und Methan, deren CO₂-Äquivalent Abbildung 13 darstellt [21]. Es ist angenommen, daß die atmosphärische Methan-Konzentration noch weitere 50 Jahre mit etwa +1% pro Jahr [22] so anwächst wie bisher und daß die Vielzahl der Methanquellen in Landwirtschaft, Bergbau und Deponie es nicht erlaubt, die Emissionen so stark zu senken, daß trotz der nur etwa 10jährigen Verweilzeit des Methans dieses aus der Atmosphäre wieder verschwindet. Die Verweilzeit der FCKW beträgt ein Jahrhundert und mehr; die Umsetzung des verschärften Montrealer Protokolls stabilisiert die Konzentration der FCKW ab dem Jahr 2000.

Als vierte Komponente ist schließlich Brandrodung tropischer Regenwälder berücksichtigt. Sie trägt heute mit etwa 1,2 Gt oder 20% zum anthropogenen Kohlenstoffeintrag in die Atmosphäre bei [23]. Insgesamt ist das Kohlenstoffreservoir des Regenwaldes mit etwa 120 Gt klein gegen die bekannten Reserven fossiler Brennstoffe von mehr als 1200 Gt [24]. Abbildung 11 unterstellt, daß die Waldzerstörung ab 1990 in einem Zeitraum von fünf Jahrzehnten linear zu Null abnimmt. Die Zerstörung der Wälder vernichtet einen Großteil des genetischen Potentials und zerstört durch Auswaschung und Erosion weite Gebiete. Der regionale Einfluß auf das Klima ist sehr groß, der Einfluß auf die globale Klimaänderung ist aber insgesamt eher gering.

Studien wie in Abbildung 11 zeigen:

- Mit der weiteren Verbrennung von Kohle, Gas und Öl steigt die Konzentration des atmosphärischen CO₂ weiter an. Da heute die kommerziellen fossi-

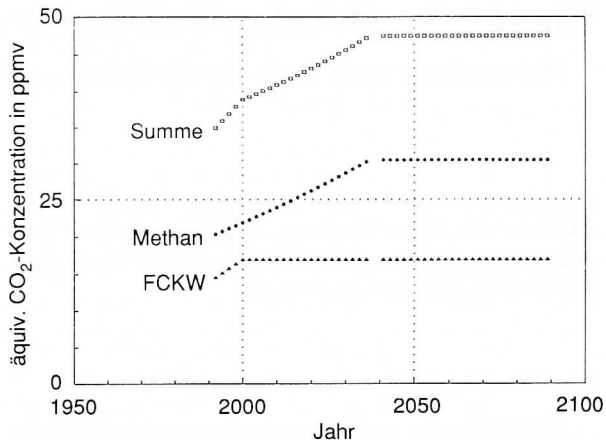


Abb. 13. Beiträge von CH₄ und FCKW zu den CO₂-Äquivalenten in den Szenarien Abb. 11.

len Energieträger über 80% des Weltenergiebedarfs decken, ist eine signifikante Zunahme des atmosphärischen CO₂ in Zukunft mit Sicherheit zu erwarten.

- Daß demnächst das CO₂-Äquivalent der anthropogenen Treibhausgase dem vorindustriellen »normalen« CO₂-Gehalt entsprechen wird, ist nur zu vermeiden, indem die CO₂-Emissionen drastisch eingeschränkt werden.
- CO₂ wird schließlich den Treibhauseffekt dominieren, wenn die Produktion der FCKW eingestellt ist und die Methanquellen so weit geschlossen werden, daß die Senken überwiegen.

3.2 Produktionssteigerung, Emissionssenkung – Globale Randbedingungen

Der Gesichtspunkt »Klimaschutz« erfordert, daß die CO₂-Emissionen (und die anderer Treibhausgase) sofort umfassend gesenkt werden müssen. Immer mehr Menschen verlangen dagegen ebenso eindeutig nach einem Produktionswachstum zur Sicherung ihrer (minimalen) Lebensgrundlage. In diesem Konflikt muß auf der Basis reflektierter Werte in globaler Abstimmung mit politischen Mitteln eine Entscheidung getroffen werden (Abb. 14).

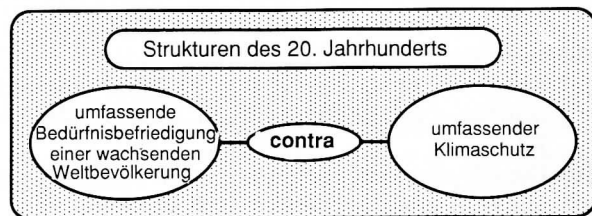


Abb. 14. Klimaschutz erfordert reflektierte Bewertungsmaßstäbe auf der Basis natur- und gesellschaftswissenschaftlicher Erkenntnisse.

3.2.1 Der kleine Wohlstand für viel mehr Menschen – Weltenergiebedarf

Ende der 80er Jahre nutzten 5 Milliarden Menschen 10 Milliarden kW, der jährliche Bedarf an Primärenergie akkumulierte zu 10 TWa. Die 1,2 Milliarde Menschen in den Industrieländern nahmen eine 10fach größere Energiedienstleistung in Anspruch als die Dreiviertel-Mehrheit in den Entwicklungsländern (Abb. 15).

Welche wesentlichen Faktoren werden den künftigen Energiebedarf der Menschheit bestimmen?

- Die Zahl der Menschen wird weiter zunehmen, trotz abnehmender Wachstumsrate wird mit 9 Milliarden Menschen in der Mitte des kommenden Jahrhunderts gerechnet (falls keine globale Katastrophe die Menschheit dezimiert) [20].

- Der pro-Kopf-Energieeinsatz in den Entwicklungsländern muß wie in den letzten Jahren weiter zunehmen. Diese Länder verfügen über genügend eigene Reserven, um diesen Wachstumstrend fortzusetzen.

- Der pro-Kopf-Energieeinsatz in den Industriestaaten kann deutlich gesenkt werden. Für die (alte) Bundesrepublik machte die Enquête-Kommission beim 11. Deutschen Bundestag ein Einsparpotential von etwa 40% aus [1, 4].

Die untere Zeile in Abbildung 15 beschreibt ein Szenarium für den Weltenergiebedarf unter den folgenden Annahmen:

- Die Industrieländer reduzieren den pro-Kopf-Energieeinsatz um gut ein Drittel auf 4 kW, indem sie ihre technischen Einsparpotentiale nutzen.

- Die Bevölkerungszahl der Industrieländer bleibt unverändert, die Zahl der Menschen in den heutigen Entwicklungsländern verdoppelt sich (gemäß UN 1991 [20]).

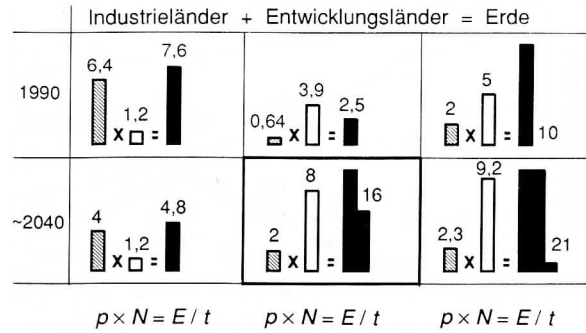
- Der Energieumsatz in den heutigen Entwicklungsländern wächst auf 2 kW pro Kopf an mit einer Rate, die etwas kleiner ist als die von 5% pro Jahr der vergangenen Jahrzehnte; sie erhalten dann Energiedienstleistungen im halben Umfang wie die Menschen der Industrieländer nach Reduktion um gut ein Drittel.

Der Weltenergiebedarf wird sich durch Bevölkerungswachstum und fortgesetzten Zuwachs im pro-Kopf-Aufwand verdoppeln, obwohl die Industrienationen ihren Energiebedarf deutlich senken. Dieses einfache Bild wird durch die Weltenergiekonferenz [26] bestätigt.

3.2.2 Fahrplan gegen die Heißzeit – Vermeiden der CO₂-Verdopplung

Als ein Beispiel, wie die gegenläufigen Anforderungen von Klimaschutz und Produktionswachstum in Einklang gebracht werden können, diskutieren wir die erste Phase von Szenarium [a] in Abbildung 11, welches die CO₂-Emissionen auf dem heutigen Niveau einfriert, bei sich verdoppelndem Weltenergiebedarf.

Perspektiven des Energiebedarfs



p : Pro Kopf Aufwand in kW

N : Anzahl der Menschen in Milliarden

E / t : Energieeinsatz pro Jahr in Milliarden kW

Abb. 15. Der Weltenergiebedarf wird sich aller Voraussicht nach verdoppeln. Die (heutigen) Entwicklungsländer werden durch Bevölkerungswachstum und steigenden pro-Kopf-Einsatz den Weltenergiebedarf bestimmen.

| | 1990 | Mitte 21. Jh. |
|--------------|--------|---------------|
| | in TWa | |
| Weltenergie | 11 | 21 |
| fossil | 9,5 | 9,5 |
| nicht-fossil | 1,5 | 11,5 |
| z. B. Wasser | 0,75 | 1,0 |
| Sonne & Wind | - | 9 |
| Biogas | 0,02 | 0,9 |
| Nuklear | 0,6 | 0,6 |

Tab. 3. Beispiel für globale Energiepolitik im Spannungsfeld von Klimaschutz und Energiebedarf für immer mehr arme Menschen

Insgesamt sind unter diesen beiden Randbedingungen 10 TW zusätzlich durch nichtfossile Energieträger zu leisten. An Quellen stehen in den nächsten Jahrzehnten nur Wasser, Sonne, Wind, Biogas und Kernspaltung zur Verfügung. Auch die Ende 1991 wieder etwas spektakuläre Entwicklung der Fusionsforschung läßt – selbst wenn man es denn letztlich wollte – einen kommerziellen Großeinsatz vor Mitte des 21. Jahrhunderts nicht erwarten. Wir teilen die Leistungen nicht-fossiler Energiequellen wie folgt auf (Tab. 3):

- Der Anteil der Wasserkraft wird um ein Drittel erhöht und entspricht dann knapp der Hälfte des technischen Weltpotentials [27]. Ein weiterer Ausbau muß wohl unter lokalen ökologischen Gesichtspunkten sehr kritisch betrachtet werden.

- Der Beitrag der Kernenergie wird nicht geändert, weil erstens die polarisierten Meinungen zur Kern-

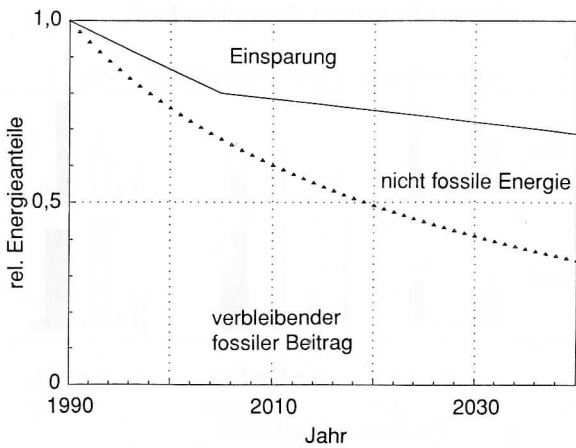


Abb. 16. Erforderliche Minderung des CO_2 -Ausstoßes in den Industrieländern. 30% Einsparung ist technisch möglich, die Aufteilung fossil : nichtfossil erfolgt 1 : 1 gemäß dem Beispiel in Tabelle 3 (aus [27]).

energie nicht die Klimaschutzdiskussion belasten sollten und weil zweitens der globale Beitrag der Kernenergie angesichts des 10-TW-Ziels auf jeden Fall von untergeordneter Bedeutung ist.

- Biogas wird für ländliche Bereiche einen wichtigen Beitrag leisten können, jedoch global eher unbedeutend sein; sein Anteil wird etwas willkürlich so hoch angesetzt, wie der der ausgebauten Wasserenergie.
- Der in der Bilanz verbleibende Posten von 9 TW muß zwangsläufig von den »Sonne & Wind« Systemen gedeckt werden. Da wir hier globale Anforderungen diskutieren, schließt dies die sogenannte »Wasserstoffwirtschaft« mit ein: in äquatorialen Wüstengebieten wird über Photovoltaik Wasserstoff erzeugt, der in die nördlichen Industriestaaten verkauft wird, so wie es heute mit Erdöl Brauch ist.

Über die Aufteilung der nicht-fossilen Anteile kann und muß diskutiert werden. Jenseits dieses Disputes steht fest: *Doppelter globaler Energiebedarf und konstante CO_2 -Emission können nur in Einklang miteinander gebracht werden, wenn die nicht fossilen Energiesysteme in gleichem Umfang Energie liefern, wie es heute die fossilen Energiequellen tun; den regenerativen Quellen kommt hierbei eine herausragende Bedeutung zu.*

Die Maßnahme »Einfrieren der CO_2 -Emissionen über 50 Jahre, anschließend – 2% pro Jahr« strapaziert das Klima immer noch arg. Sollte der globale Energiebedarf künftig geringer sein als hier unterstellt, so müßte der nicht-fossile Energiepfad dennoch im beschriebenen Umfang beschränkt werden, um das Klima weiter zu entlasten (siehe auch 3.4).

In unserem Bild wird künftig eine Mehrheit der Menschen die meiste Energie nutzen; heute beansprucht noch eine Minderheit von 23% der Menschen 75% der Energie. In unserem Bild wird bald die Mehrheit das Klima der Erde bestimmen. Dies hat für die Industriestaaten eine tiefgreifende Konsequenz.

3.3 Von 1 auf $\frac{1}{3}$ in 50 Jahren – Die Pflicht der Industrieländer

Aus den vorherigen Überlegungen folgt, welche Ration an fossiler Energie den Industriestaaten künftig zustehen wird. Wir unterstellen, daß in diesen Ländern

- $\frac{1}{3}$ (auf der Basis 1987) der CO_2 -Emission durch technische Maßnahmen überflüssig wird,
- der verbleibende $\frac{2}{3}$ -Rest zur Hälfte durch nicht-fossile Energiesysteme im Einklang mit der globalen 1:1-Aufteilung gedeckt wird.

Innerhalb von 50 Jahren müssen die Industriestaaten ihren Einsatz fossiler Brennstoffe auf $\frac{1}{3}$ der heutigen Mengen drosseln (Abb. 16).

Selbst wenn die Industrieländer ihr CO_2 -Minderungspotential nicht nutzen wollten, müßten sie ihren CO_2 -Ausstoß gemäß der 1:1-Aufteilung halbieren – was schlechterdings unmöglich ist, ohne die Minderungspotentiale zu nutzen.

Der einzige Weg, der für die Industriestaaten an der harten Forderung solch beispielloser Minderung vorbeiführen würde, ist keine Alternative: Wollten die Industriestaaten auf ihrer jetzigen Energiestruktur beharren, so wäre eine Abkehr von immer intensiveren globalen CO_2 -Emissionen nur möglich, wenn die Entwicklungsländer ihren Mehrbedarf an Energie vollständig aus nicht-fossilen Quellen decken würden – ein in jeder Hinsicht absurder Gedanke.

3.4 Das Szenarium der Enquête-Kommission

Wir haben das Szenarium [a] in Abbildung 11 als Beispiel gewählt, um die wesentliche Zielorientierung von klimaschonender Energiepolitik aufzuzeigen. Die Enquête-Kommission »Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre« beim 11. Deutschen Bundestag hat die Forderung nach klimaschonender Energiepolitik schärfer formuliert und wünscht eine globale Emissionsminderung für CO_2 auf 50% des 1987er Niveaus bis zum Jahr 2050 (Abb. 17) [1, 4], langfristig auf 30%. Unser Szenarium [a] beschreibt dagegen konstante Emission bis 2040 und anschließende Reduktion auf 30% bis 2090. Das Enquête-Szenarium führt im Jahr 2090 zu einer atmosphärischen CO_2 -Konzentration, die um etwa 35 ppm geringer ist. Angesichts der vielen und großen Unwägbarkeiten, die eine so weit reichende Prognose ganz und gar unmöglich machen, ist ein Unterschied von 35 ppm nicht entscheidend³.

³ Genau genommen ist für den Treibhauseffekt nicht die Konzentration in der Atmosphäre maßgebend, sondern (für $p\text{CO}_2 < 1000$ ppm) deren Logarithmus. Das sogenannte CO_2 -forcing ΔF , die Erhöhung der Strahlungsbilanz im Infraroten, läßt sich gut annähern durch die Beziehung $\Delta F = 6,3 \cdot \ln \frac{p\text{CO}_2}{280 \text{ ppm}}$ [28] wobei 280 ppm die CO_2 -Konzentration zu vorindustrieller Zeit angibt. Der Unterschied zwischen unserem Szenarium [a] und dem der Enquête-Kommission beläuft sich nach 100 Jahren auf 0,5 W/m^2 ; zum Vergleich: der bisherige anthropogene Treibhauseffekt beträgt schon 2,2 W/m^2 (mit Wasserdampf-Rückkopplung 6 W/m^2).

3.5 Wer soll das bezahlen? – Die Dimension der Lösung

Wir wollen nun an einem Beispiel verdeutlichen, welche Dimension Klimaschutz im globalen Maßstab besitzt. Wir wählen für unsere Betrachtung das Ziel »globale 9 TW Sonne & Wind in 50 Jahren« (Tab. 3).

Die Industrieländer wurden in den letzten 100 Jahren geprägt vom Auto. Wer 1890 gefordert hätte, Dörfer, Städte und Landschaften umzubauen, um sie dem Mobilitätsbedürfnis unterzuordnen, wer beschrieben hätte, daß Öl aus 400 m Tiefe off shore gefördert wird, daß eine Pipeline auf Stelzen durch Alaska führt und Tanker mit 400 000 m³ Öl im Bauch unsere Häfen anlaufen, der wäre wohl kaum für ernst genommen worden. Heute betreiben die Menschen eine Flotte von 500 Millionen Pkw [30], die etwa alle 10 Jahre erneuert wird. Legt man deutsche Verhältnisse von 50 kW pro Pkw [31] zugrunde, so ist in der Pkw-Flotte eine Spitzenleistung von 25 TW installiert. (Da unsere Autos aber nur 2% der Zeit fahren [32], sind nur 1 TW im Mittel realisiert.) Bei einem Verbrauch von 10l/100 km, einer jährlichen Fahrstrecke von 15 000 km, einem mittleren Benzinpreis von 1 DM/l und einer Grundwartung von 300 DM/Jahr summieren sich die bloßen Betriebskosten der Pkw-Flotte auf etwa 1000 Milliarden DM pro Jahr. Die jährliche Neuanschaffung von 50 Millionen Autos zum (geschätzten) Stückpreis von 25 000 DM kostet nochmals über 1200 Milliarden DM pro Jahr. Die Pkw-Flotte zu betreiben, kostet in jedem Jahr deutlich mehr als 2000 Milliarden DM.

Das Auto ist ein geeignetes Beispiel, um die technische und wirtschaftliche Potenz der Industrieländer zu verdeutlichen. Dieses Bild macht Mut, weil es zeigt: Wir haben die technische und wirtschaftliche Kraft für wirksamen Klimaschutz.

Das Programm »Sonne & Wind« liefert in seiner 50jährigen Ausbauphase auf $P_{\text{end}} = 9$ TW insgesamt $E = 225$ TWh. Wir schätzen die jährlichen Investitionskosten für Windenergie I_w und Sonnenenergie I_s auf der Basis von $3 \frac{\text{DM}}{\text{W}_{\text{peak}}}$ für Windenergie⁴ und $(2,5 \text{ bis } 10) \frac{\text{DM}}{\text{W}_{\text{peak}}}$ für äquatornahe Photovoltaik⁵ zu

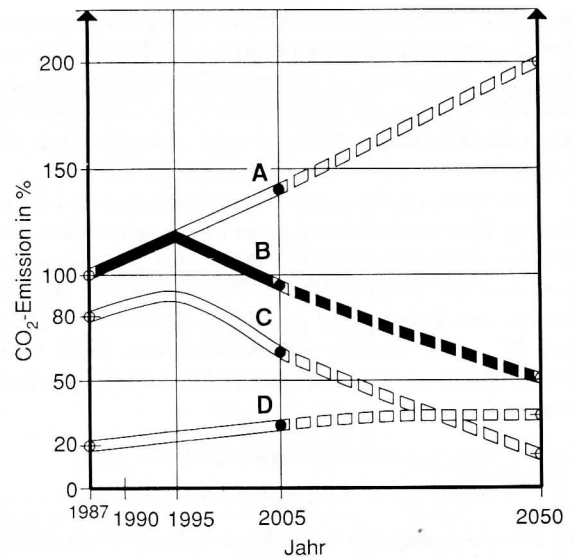
$$I_w = 1000 \text{ Milliarden DM pro Jahr,}$$

$$I_s = 1200 \text{ bis } 5000 \text{ Milliarden DM pro Jahr.}$$

(linearer Ausbau; Sonne : Wind = 2 : 1; Sonne: 2800 h/a, Wind: 2200 h/a; 20 Jahre Lebensdauer)

⁴ Ende 1991 werden Windenergiekonverter mit optimalem Erntefaktor (100 kW-Klasse) zu 3 DM/kW_{peak} angeboten; Die Enquête-Kommission nennt Preise von 0,1 DM/kW [33], die zu einem um 25% höheren I_w führen.

⁵ Dieser Zahlenwert ist prognostisch unter der Annahme einer auf MW bis GW Skala ausgebauten Photovoltaik in der Region des Wendekreises. Einen Überblick über die Entwicklung der Photovoltaikkosten gibt das Studienprogramm der Enquête-Kommission [34]. Für äquatoriale Standorte wird sogar $K = 1 \text{ DM/W}_{\text{peak}}$ ($\approx 3 \text{ DM/W}_a$) angegeben [34a]. Zur Zeit ist Photovoltaik noch etwa eine Größenordnung teurer.



- A Emissionen wachsen weiter wie bisher
- B Globales Reduktionsziel
- C Emissionen der Industrieländer
- D Emissionen der Entwicklungsländer

Abb. 17. Forderung der Enquête-Kommission »Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre« für die Minderung des weltweiten CO₂-Ausstoßes (nach [1]).

Im Vergleich zu fossil bereitgestellter Energie sind die Umweltkosten U_{ex} von Sonnen- und Windenergie (vermutlich) sehr gering. Diese auch als extern bezeichneten Kosten U_{ex} werden heute nicht im Energiepreis berücksichtigt. Um eine Vergleichbarkeit mit der heutigen Preisgestaltung zu erhalten, bestimmen wir die Kosten⁶ K des Sonne & Wind Programms, indem wir fiktive Umweltkosten U_{ex} für 225 TWh gutschreiben, die durch das Sonne & Wind Programm entfallen:

$$K = I_w + I_s - U_{\text{ex}}.$$

Die sehr stark von der Kalkulationsart abhängigen externen Energiekosten U_{ex} schätzen wir grob aus den Umweltkosten der alten Bundesrepublik von 100 Milliarden DM pro Jahr nach WICKE [35] und dem damaligen Primärenergieaufkommen von 0,36 TWh pro Jahr:

$$U_{\text{ex}} = 1200 \text{ Milliarden DM pro Jahr.}$$

Für das Programm »9 TW Sonne & Wind« ergeben sich somit jährliche Kosten von $K = 1000$ bis 5000 Milliarden DM pro Jahr. Es kostet in etwa so viel wie der Betrieb der Automobilflotte.

Von den Kosten K ist fairerweise abzuziehen, was uns die erwirtschaftete Energiedienstleistung wert ist.

⁶ Zu unterscheiden ist zwischen Kosten entsprechend obiger Definition und Finanzierungsbedarf ($I_w + I_s$). Die im Sonne & Wind Programm fiktiven externen Kosten U_{ex} müssen tariffrei finanziert werden, so wie heute die Umweltkosten tariffrei finanziert sind. Alternativ ist ein neues Steuersystem denkbar [36].

Wenn der »Nutzen« eines Systems seinen »Kosten« entspricht, so »rechnet es sich« und der Markt kann das System aufnehmen. In unserer Mehrzahl ist uns das Autofahren heute offenbar seinen Preis wert, während ein mittelalterlicher Mönch wohl ausschließlich die Kosten dieses »nutzlosen Geräts gesehen hätte.

Den Wert, den klimaschonende Energietechnik zukünftig haben wird, kann man heute schwerlich einschätzen. Hinweise auf den Wert, den Energie schon heute besitzt⁷, erhält man aus den Grenzfällen W_{tief} für Energie aus Rohöl (30 \$ pro Barrel \approx 0,03 DM/kWh) und W_{hoch} für Energie aus Kraftwerken (0,10 DM/kWh). Übertragen auf das »9 TW Sonne & Wind« Programm folgt

$$W_{\text{tief}} = 1200 \text{ Milliarden DM pro Jahr,}$$

$$W_{\text{hoch}} = 4000 \text{ Milliarden DM pro Jahr.}$$

Die oben abgeschätzten Kosten $K = 1000$ bis 5000 Milliarden DM pro Jahr liegen in diesem Bereich. *Aus der Basis von dem, was wir heute wissen, ist die Finanzierbarkeit des Programms »9 TW Sonne & Wind in 50 Jahren« nicht auszuschließen!*

Neben den großen Unsicherheiten in diesen Schätzungen kristallisieren sich zwei für klimaschonende Energiepolitik zentrale Fragen heraus:

- Wie groß sind die tatsächlichen Umweltkosten schon heute, die in einem ökologischen Echtpreis dem Energienutzer zusätzlich berechnet werden müssen?⁸
- Welche Verteuerung darf der Energiepreis darüber hinaus zum Erhalt des Lebensraums Erde erfahren?

4 Jetzt handeln – Erste Schritte in die richtige Richtung

Die Industriestaaten müssen bis Mitte des nächsten Jahrhunderts ihren CO₂-Ausstoß um mindestens 70% vermindern. Bevor die ersten Schritte auf dieses Ziel zu getan sind, ist es belanglos, ob letztlich die globale Reduktion auf ein Drittel ausreicht, den Pegel des atmosphärischen CO₂ zu stabilisieren. Wie der Weg von der Ausgangsposition 1991 zu diesem Ziel im Detail verläuft, das wird die Endkonzentration nur um einige zehn ppm beeinflussen. Werden jedoch alle Vorräte an fossilen Energieträgern verbrannt, dann wird die Menschheit den CO₂-Pegel der Atmosphäre um mehr als 1000 ppm anheben [38].

Es kommt nun entscheidend darauf an, daß die ersten Schritte zugüg unternommen werden. Sie müssen

- stabilisierend sein, (fast) unabhängig von dem, was die Menschen künftig dazulernen (Energietechnik, Klimamodelle, Bevölkerungsplanung . . .),
- Korrekturen ermöglichen und Abstecker in die falsche Richtung einkalkulieren,
- (wirtschaftliche) Destabilisierung vermeiden.

Solche ersten Schritte sind:

1. Der Beschluß der Bundesregierung, die CO₂-Emissionen um 25% zu reduzieren, muß umgesetzt werden; alle Industrieländer müssen folgen. (Ist Ihr Abgeordneter informiert? Was unternimmt er? Was tun Sie?)
2. Die Potentiale von rationeller Energienutzung sowie von Photovoltaik und Wasserstofftechnik, die den Abschätzungen in Abschnitt 3.5 zugrunde liegen, müssen ausgelotet werden. Auch sehr teure »Pannen« dürfen die Erprobung ebensowenig in Frage stellen, wie ein Starfighter-Absturz das Konzept der Luftverteidigung und ein funktionsunfähiger Satellit die Raumfahrt.
3. Zusätzlich zur beschlossenen CO₂-Minderung, die als »Sparziel« wenig Dynamik und Attraktivität besitzt, schlagen wir ein dem Apollo-Programm vergleichbares Programm »1 GW Solarstrom bis 1999« vor. Im EG-Raum sind auf Sizilien und in Südspanien geeignete Standorte zu finden. Ein »Solarpfennig« von 1 Pf/kWh analog zum Kohlepfennig eröffnet bis 1999 einen deutschen Finanzierungsanteil von 50 Milliarden DM. Das Geld kommt der hiesigen Wirtschaft zugute und hilft ihr, die vorhandene und künftige dringend erforderliche Dynamik auf neue Ziele auszurichten. Die Finanzierung unabhängig vom Staatshaushalt beeinträchtigt nicht die Forschungspolitik.

Bis der CO₂-Ausstoß in den Industrieländern um 25% gesenkt ist, die FCKW vollständig aus der Produktion genommen sind⁹ und die ersten Erfahrungen mit Solar- und Wasserstofftechnologie auf der Gigawatt-Skala gemacht sind, wird das Endziel einer klimaschonenden globalen Energiepolitik deutlich erkennbar sein. Nachfolgende Schritte können dann auf einer soliden Basis von wissenschaftlicher, technologischer und ökonomischer Kenntnis beschlossen werden. Zur Vorbereitung von Folgemaßnahmen ist erforderlich:

- Eine ökologische Preisgestaltung muß in überschaubarem Rahmen erprobt werden; nicht politische Glaubensbekenntnisse, sondern Effizienzkenntnisse (wieviel wurde gemindert?) bestimmen die Kriterien.
- Klimaschutz muß in eine erneuerte Weltwirtschaftsordnung integriert werden.

⁷ Der Endnutzer zahlt zusätzlich auch für Aufbereitung, Verteilung, Kapitaleinsatz. Beispiel Heizöl: Rohenergiewert 3 Pf/kWh; Verkaufswert 5 Pf/kWh (50 Pf/l).

⁸ Im Beschluß der Bundesregierung zur Minderung der CO₂-Emissionen steht daher auch die Einbeziehung externer Kosten in den Energiepreis an erster Stelle der Maßnahmen [2].

⁹ Die immer drängender werdende Problematik um die FCKW gehört nicht zur Energiepolitik und wurde daher hier ausgeklammert. Dennoch muß die Forderung nach vollständiger Einstellung der FCKW-Produktion hier nachdrücklich erhoben werden.

- Die Dimension der Aufgabe darf nicht verschwiegen werden. Es geht nicht um kleine Korrekturen, sondern mittelfristig ist »eine weltweite Veränderung der Politik erforderlich, bevor sich die Probleme weiter verschlimmern und die Möglichkeiten für wirkungsvolles Handeln immer stärker eingeschränkt werden . . . Es muß eine neue Ära der globalen Zusammenarbeit und der gegenseitigen Verpflichtung beginnen, wie sie in der Geschichte ohne Beispiel ist.« [39]

5 Schutz der Erdatmosphäre – Eine Herausforderung an die Bildung

Der Mensch verändert die Zusammensetzung der Atmosphäre. Das Klima antwortet auf diesen Eingriff mit Verzögerung. Durch Kombination von Modellen, die anthropogene Emissionen, Stoffkreisläufe und Klima beschreiben, entstehen Szenarien der Klimaänderung (Abb. 18). Aus dieser akademischen Menukarte muß eine Strategie zum Klimaschutz ausgewählt werden, die einen Kompromiß zwischen den gegenläufigen Forderungen nach Emissionssenkung zum Klimaschutz und Produktionszuwachs als Lebensgrundlage für immer mehr Menschen darstellt. Aus einer solchen Strategie müssen gesellschaftspolitische und technische Maßnahmen abgeleitet und umgesetzt werden.

Den Bildungs- und Erziehungsinstitutionen kommt eine entscheidende Bedeutung bei der Formulierung und Umsetzung von wirksamen Klimaschutzmaßnahmen zu:

- Die Strategien müssen in bewährten demokratischen Strukturen vereinbart werden. Dazu müssen die Menschen, gerade auch als Wähler, informiert sein, um was es geht und über eine Basis reflektierter Werte verfügen, auf der eine quantifizierte Entscheidung zugunsten von Klimaschutzmaßnahmen erfolgt.
- Die Umsetzung der Maßnahmen erfordert vielfältige Kenntnisse in den Industrieländern, vor allem im Umgang mit Technik bzw. Vermeidung überflüssigen oder sinnlosen Technikeinsatzes. Die Informationen »wie man es macht« müssen fast alle Bereiche unseres öffentlichen und privaten Lebens durchdringen¹⁰, weil wir uns heute in allen Bereichen durch Energieeinsatz klimaschädigend verhalten.
- »Die Grenzen des Wachstums«, die vor 25 Jahren vom Club of Rome der breiten Weltöffentlichkeit zum Bewußtsein gebracht wurden [39], werden nicht, wie damals beschrieben, durch die Begrenzung der Rohstoffmengen bestimmt. Die 5000 Gt Kohlenstoff in fossilen Lagerstätten reichen aus,

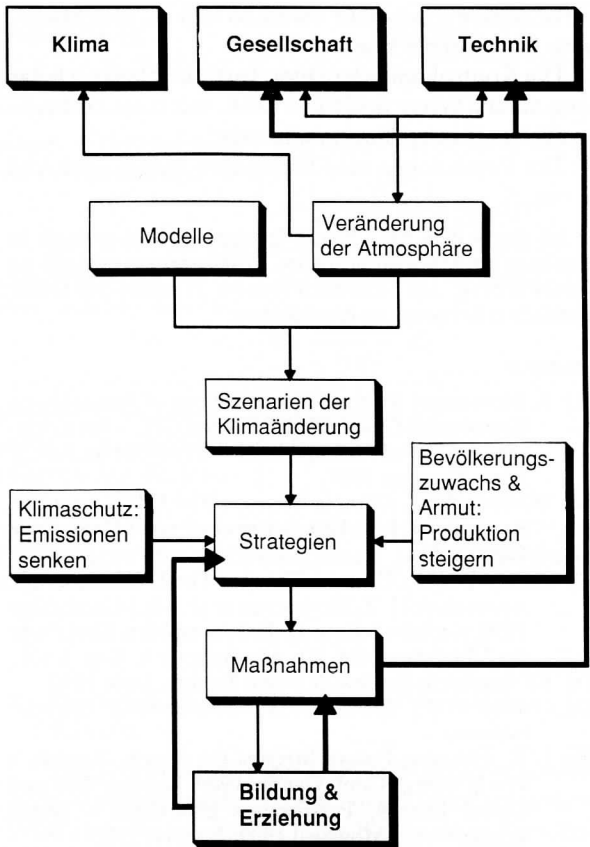


Abb. 18. Bildung & Erziehung müssen wesentliche Beiträge zum Schutz der Erdatmosphäre leisten.

um den CO₂-Pegel auf mehr als das Fünffache anzuheben; dank der Trägheit der CO₂-Senke Ozean spielt es fast keine Rolle, ob diese »Vorräte« in 100, 200 oder 500 Jahren »verbraucht« werden [37]. Es gibt »Rohstoffe« im Übermaß, die Grenzen des Wachstums werden durch das Fassungsvermögen der Deponien bestimmt. Die Deponie Erdatmosphäre ist bald bis zur Grenze des für 8 bis 10 Milliarden Menschen Zutraglichen gefüllt. Bildung & Erziehung müssen diese neue Blickrichtung vermitteln.

Epilog

Mensch Maier, seien Sie doch ehrlich. Glauben Sie im Ernst, daß Sie, 40 Jahre alt, Haus und Grund weit weg von der Küste, also, daß Sie eine Klimaänderung in den nächsten Jahren stören wird? Wissen Sie denn nicht, daß Klimawirkungsforschung eine Landkarte ist, in der man vor weißen Flecken nicht erkennt, wo oben und unten ist? Und wenn schon, so richtig dramatisch wird es andere treffen, anderswo, in einem anderen Jahrhundert. Wir sind doch eine wirtschaftlich

¹⁰ Siehe z. B. »50 Punkte für eine heile Welt« in [40].

starke Nation, und wenn's denn so weit ist, also Maier, dann fällt denen schon was ein.

Die Kontrollampe leuchtet. Instinktiv lenke ich das Auto auf die Wiese und freue mich, mit einer verbogenen Felge davongekommen zu sein.

Die Psychologen und Pädagogen haben noch viel zu tun.

Ich danke dem Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg für Arbeitsatmosphäre, Diskussionen und jegliche Unterstützung, um »klimaschonendes Handeln als Inhalt schulischen Lernens« zu ermöglichen.

Literatur

- [21] S. HOPPEAU: Future Concentrations of Atmospheric Greenhouse-Gases CO₂, CFC and CH₄ - An assessment on the educational level. - Erscheint im Am. J. Phys. Sommer 1992.
- [22] WMO/UNEP, Climate Change, The IPCC Scientific Assessment (J. T. HOUGHTON et al. eds.) Cambridge 1990, Tab. 1.
- [23] WMO/UNEP, Climate Change, The IPCC Scientific Assessment (J. T. HOUGHTON et al. eds.) Cambridge 1990, p. xxxiii, Schutz der Erdatmosphäre, Eine Frage des Überlebens, Bd. III, Abschnitt C, 1. Kap. 1.4.2.
- [24] BP Statistical Review of World Energy, June 1990.
- [25] Globus 8710, Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen.
- [26] J. R. FRITSCH: Future Stresses for Energy Sources - World Energy Conf. Cannes 1989, London 1986 und Global Energy, Perspectives 2000-2020 - World Energy Conf. Montreal 1989, London 1989.
- [27] W. ACHILLES - P. DRUTJONS - K. HENNING - S. HOPPEAU: Schutz der Erdatmosphäre durch globales Den-

ken und lokales Handeln. - MPI f. Meteorologie, Januar 1991.

- [28] WMO/UNEP, Climate Change, The IPCC Scientific Assessment (J. T. HOUGHTON et al. eds.) Cambridge 1990, p. 52.
- [29] Schutz der Erdatmosphäre, Eine Frage des Überlebens, Bd. I, 3. Kap. 2.3.2.
- [30] D. L. BLEVISS - P. WALZER: Energie für Kraftfahrzeuge. - Spekt. d. Wiss. 11/1990 S. 94-104.
- [31] Energie und Klima, Studienprogramm, Bd. 7, S. 581.
- [32] Energie und Klima, Studienprogramm, Bd. 7, S. 704.
- [33] Schutz der Erdatmosphäre, Eine Frage des Überlebens, Bd. III, Abschnitt E, Kap. 4.2.7.
- [34] Energie und Klima, Studienprogramm, Bd. 3.
- [34 a] Energie und Klima, Studienprogramm, Bd. 3, S. 675.
- [35] L. WICKE: Die ökologischen Milliarden. Das kostet die zerstörte Umwelt - so können wir sie retten. - München: Kösel 1986.
- [36] E. U. VON WEIZSÄCKER: Erdpolitik, Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt. - Darmstadt: Wiss. Buchges. 1989.
- [37] E. MAIER-REIMER - K. HASSELMANN: Transport and storage of CO₂ in the ocean - an inorganic ocean-circulation carbon cycle model. - Clim. Dyn. 2 (1987) p. 63-90.
- [38] Global 2000. Der Bericht an den Präsidenten, Council of Environmental Quality (Hg.) 1980; zitiert nach der deutschen Übersetzung bei Zweitausendeins, S. 20-21.
- [39] D. MEADOWS - D. MEADOWS - E. ZAHN - P. MILLING: Die Grenzen des Wachstums - Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, dt. Ausgabe. - Reinbek: rowohlt 1973.
- [40] H. GRASSL - R. KLINGHOLZ: Wir Klimamacher. - Frankfurt: S. Fischer 1990. □