

# Energie im globalen Treibhaus

## - Herausforderung auch für die Schule - Teil 1<sup>1</sup>

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

*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.*

### Prolog

An einem klaren, lauen Sommerabend fahre ich an der Südseite des Mt. Ventoux hinunter. Wo einst Petrarca den Hirtenpfaden folgte, schlängelt eine Serpentinstraße mein Auto zu Tal. In der Nähe von Gordes will ich in einem kleinen Landgasthaus übernachten, morgen früh weiter nach Arles fahren. Unerwartet leuchtet eine Kontrollampe auf, eine, die ich noch nie beachtet habe. Sie signalisiert »Bremsflüssigkeit ausgehen«. Die nächste Haarnadelkurve kommt näher, ich komme ihr näher mit 50 km/h. Soll ich mir die gute Laune verderben lassen, vielleicht ist ja die Kontrollanzeige defekt – noch nie hat sie jemand im Ernstfall getestet. Ich weiß, was zu tun ist, instinktiv.

<sup>1</sup> Nach einem Vortrag auf der 82. Hauptversammlung 1991 in Göttingen. Teil 1 erscheint in Heft 1/1993.

### 1 Einleitung

»Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre« ist als eine zentrale Zukunftsaufgabe erkannt. In Deutschland stellte die gleichnamige Enquête-Kommission beim 11. Deutschen Bundestag eine umfassende Bestandsaufnahme des Wissens über menschliche Klimabeeinflussung, Bedrohung der Wälder und Abbau der Ozonschicht zusammen [1] und formulierte Handlungsempfehlungen, die der Bundestag übernahm. Die Bundesregierung beschloß im November 1990, die CO<sub>2</sub>-Emission bis zum Jahr 2005 um 25% bezogen auf 1987 zu senken [2]. Die FCKW-Produktion wird in Deutschland bis Ende 1995 eingestellt werden. Der 12. Deutsche Bundestag setzte im Sommer 1991 zum »Schutz der Erdatmosphäre« erneut eine Enquête-Kommission ein.

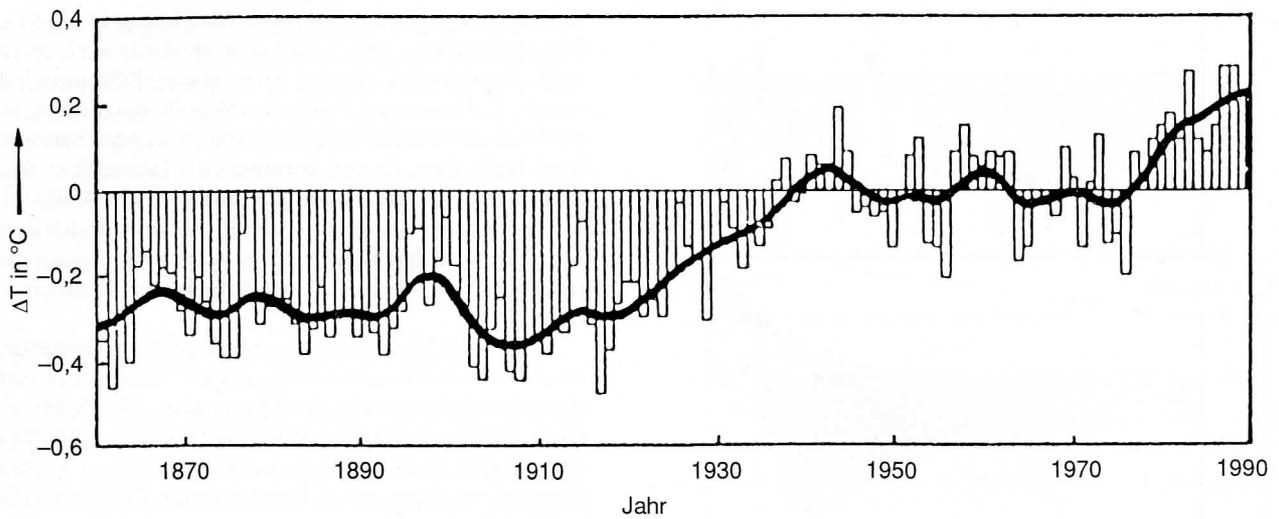


Abb. 1. Änderung der globalen Mitteltemperatur (bodennah) [10].

An dieser Stelle hat K. HEINLOTH bereits die physikalischen Grundlagen des Treibhauseffekts dargestellt und das Wissen über zu erwartende Klimaveränderungen aufgrund bisheriger und künftiger Emissionen von Treibhausgasen durch den Menschen zusammengefaßt [3]. An diese Arbeit anknüpfend will dieser Artikel aufzeigen, wie Schule auf dem Gebiet der Lehrerbildung und der Sekundarstufe II Strategien zum Klimaschutz aufzeigen kann.

Klimaschutz wird hier auf die CO<sub>2</sub>-Problematik reduziert, da

- CO<sub>2</sub> mit einem bisherigen Beitrag von über 50% heute von allen Treibhausgasen den größten Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt besitzt<sup>2</sup>,
- die Chancen gut sind, daß die 1990 in London verschärften Montrealer Beschlüsse auch umgesetzt werden und am Ende des Jahrzehnts der überwiegende Teil der ebenfalls klimawirksamen FCKW vom Markt genommen wird, wodurch sich der relative Beitrag des CO<sub>2</sub> dann noch erhöht.

Auf die Umsetzung des hier Beschriebenen im Unterricht, eine inhaltliche Reduktion und pädagogische Erweiterung für die Sekundarstufe I und schließlich auf alle Fragen der Erziehung zu klimaschonendem Handeln kann dieser Aufsatz nicht eingehen.

Zur Entwicklung und Erprobung entsprechender Konzepte führen Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein gemeinsam einen BLK-Modellversuch durch. Grundlegende pädagogische Überlegungen und Anforderungen an die Sektoren des Bildungswesens formulierte eine Studie des BMBW 1990 [5].

Die bisher an dieser Stelle vorgeschlagenen Modellexperimente [6-8] sollen gesondert kommentiert werden.

## 2 Die Basis der Probleme

### 2.1 Trotz Trend noch nichts zu sehen? - Variabilität des Klimas

Die Klimatologen sind sich heute einig, daß es auf der Erde in den letzten 100 Jahren um 0,5 °C bis 0,7 °C wärmer geworden ist (Abb. 1). Stürme - in unseren Breiten wie in den Tropen - scheinen an Intensität zuzunehmen, die Niederschläge über den Landmassen der Nordhemisphäre verschieben sich seit 3 bis 4 Jahrzehnten nach Norden, der Meeresspiegel stieg in diesem Jahrhundert im globalen Mittel etwa um 15 cm. Es ist verführerisch, den Schluß zu ziehen: Das Klima ändert sich, weil es wärmer wird, denn der Mensch ändert das Klima.

Die erste These ist zweifelsfrei richtig, denn das Klima ist »von Natur aus« nicht statisch, sondern Ergebnis von Prozessen, die auf Zeitskalen von Tagen (Schneedecke, Standdauer von Hoch- und Tiefdruckgebieten) bis zu hunderten von Jahrillionen (Kontinentaldrift, Abtrieb von Sedimenten in den Subduktionszonen und CO<sub>2</sub>-Emission in Vulkanen) stattfinden [9]. Fast auf jeder Zeitskala zeigt daher die Klimagröße »Lufttemperatur« eine Fluktuation, typischerweise im Bereich von ein bis wenigen Grad (Abb. 2). Leider ist heute noch unbekannt, welchen Anteil die natürliche Variabilität an der globalen Erwärmung in diesem Jahrhundert hat. Daher ist auch nicht auszuschließen, daß die natürliche Entwicklung zu einer leichten Abkühlung geführt hätte und der Mensch schon stärker in das Klimageschehen einge-

<sup>2</sup> Wasserdampf absorbiert ebenfalls sehr intensiv Wärmestrahlung und verursacht den größten Teil des natürlichen Treibhauseffekts. Ihn rechnet man gewöhnlich nicht zu den Treibhausgasen, zumal seine Konzentration stark schwankt. Die zunehmende Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre ändert den Gehalt an Wasserdampf in der Luft; Klimamodelle berücksichtigen dies.

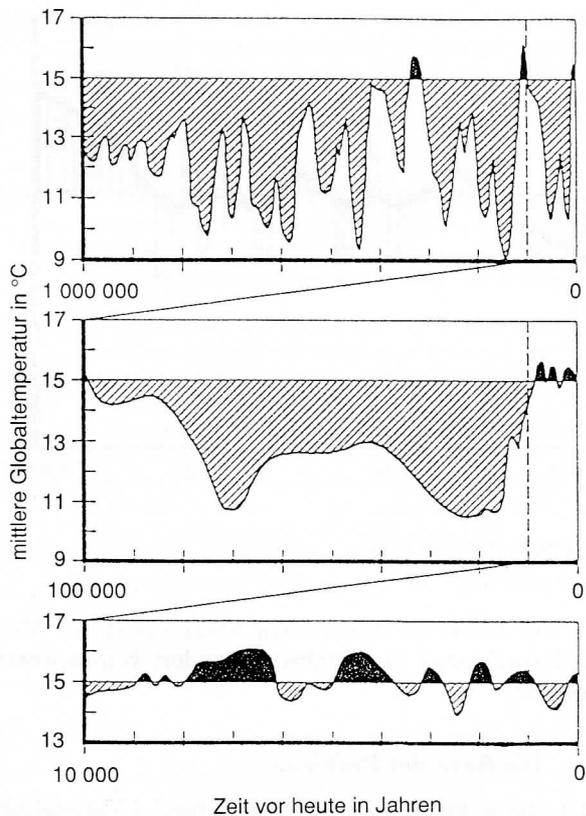


Abb. 2. Variabilität des Klimas [11].

griffen hat, als es der Trend in Abbildung 1 erkennen läßt. Wir wissen dies heute u. a. deshalb noch nicht, weil die aktuellen Ozean-Atmosphäre-Klimamodelle wegen des enormen Rechenaufwands noch nicht auf die letzten 100 bis 200 Jahre angesetzt werden konnten. Man hofft aber, in den kommenden Jahren hier Antwort zu finden. Die räumliche und zeitliche Variabilität des Klimas verbietet schließlich die Einschätzung »das Klima ändert sich«, »früher war es kälter/wärmer/trockener/feuchter, ...« aus subjektiver Erinnerung (Abb. 3).

Eine vom Menschen angetriebene Klimaänderung birgt in ihrer Geschwindigkeit und ihrer Amplitude doppelte Gefahren für das Ökosystem. Die Ablösung einer Eiszeit durch eine Warmzeit dauerte typischerweise einige tausend Jahre, währenddessen es global kontinuierlich um einige Grad wärmer wurde. An diesen Gradienten von regional maximal  $1^{\circ}\text{C}$  pro Jahrhundert ist das Ökosystem angepaßt. In der Reichweite des menschlichen Einflusses liegen nun aber  $5^{\circ}\text{C}$  in einem Jahrhundert und mehr.

Wir erleben heute die Erde mit einer Mitteltemperatur von z. Zt.  $15^{\circ}\text{C}$  in einer ausgesprochenen Warmzeit. Die letzten eine Million Jahre kennen nur aus dem Eem vor 120 000 Jahren eine um  $1,2^{\circ}\text{C}$  höhere Temperatur. Das war die Zeit der englischen Löwen und norddeutschen Waldelefanten. Wenn wir Menschen nun binnen 100 Jahren das »Treibhaus Erde« auf vielleicht  $20^{\circ}\text{C}$  aufheizen, dann setzen wir das Ökosystem

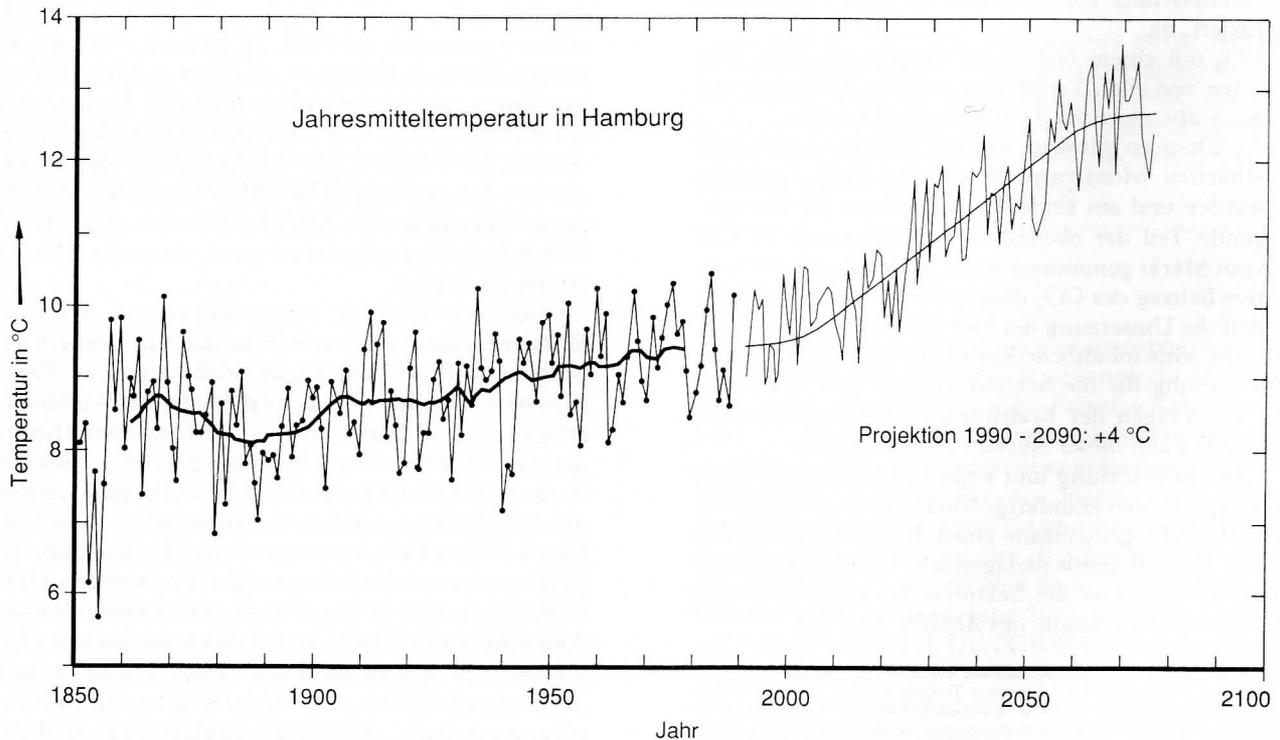


Abb. 3. Jahresmitteltemperatur in Hamburg an der St. Pauli Landungsbrücke, ergänzt um eine Projektion einer Erwärmung um  $4^{\circ}\text{C}$  nach [12].

Bedingungen aus, für die es nicht gerüstet ist, da sie seiner Entwicklung nicht zugrunde lagen. Aber letztlich ist nicht die Endtemperatur das zentrale Problem, sondern die »schockartige« Änderung, schockartig, bezogen auf biologische Zeitskalen.

Die Daten geben (heute) noch nicht preis, wie stark wir Menschen das Klima schon beeinflusst haben. Klimamodelle auf der Basis bekannter und wohl getesteter Theorien sind die einzige Möglichkeit zu verstehen, was wir tun.

## 2.2 Wir verstehen, was wir tun! – Klimamodelle

Die Erde erhält von der Sonne Energie als elektromagnetische Strahlung, deren Wellenlängen einem Bereich von etwa 0,3 bis 3  $\mu\text{m}$  überdecken. Das Auge macht den intensivsten Teil des Spektrums sichtbar. Im globalen Tag-Nacht-Mittel empfängt die Erde 236  $\text{W}/\text{m}^2$ , die sie, da sie sich weder dramatisch abkühlt noch erwärmt, auch wieder abstrahlt. Dies geschieht im Wellenlängenbereich von 4 bis 100  $\mu\text{m}$ . Einige Bestandteile der Lufthülle ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) absorbieren aber hier intensiv. Die absorbierte Energie wird isotrop emittiert, also auch in Richtung Erdboden. So treffen auf den Boden zusätzlich 147  $\text{W}/\text{m}^2$ . Dank der natürlichen infraroten »Zusatzheizung« ist die Temperatur in Bodennähe um 33  $^\circ\text{C}$  höher als die 253 K einer atmosphärenlosen Erde (gleicher Albedo); – der natürliche Treibhauseffekt ermöglichte erst irdisches Leben. Durch uns Menschen steigt nun der Gehalt der Atmosphäre an sogenannten Treibhausgasen, in der Reihenfolge ihrer Bedeutung für den anthropogenen Treibhauseffekt  $\text{CO}_2$ , FCKW,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$  (Abb. 4). Der hierdurch forcierte Treibhauseffekt verstärkt den Transport von Wasserdampf in die Troposphäre, der dann die infrarote Zusatzheizung dominiert. Durch den anthropogenen Treibhauseffekt wird heute jeder Quadratmeter der Erdoberfläche mit 6  $\text{W}/\text{m}^2$  stärker bestrahlt als noch um die Jahrhundertwende.

Ein Ende der Treibhausgasemissionen ist vorerst nicht in Sicht. Klimamodelle sollen beschreiben, wie das Klimasystem auf einen forcierten Treibhauseffekt reagieren wird.

Atmosphäre und Ozean sind zwei gleichwertige Klimasubsysteme. In Äquatornähe empfängt die Erde einen Überschuss an Sonnenenergie von etwa 60  $\text{W}/\text{m}^2$ , verliert aber an den Polen etwa 100  $\text{W}/\text{m}^2$  mehr Infrarotstrahlung als das Licht einstrahlt. Die Bilanz wird ausgeglichen durch Ozean und Atmosphäre, die etwa gleichviel Energie polwärts transportieren. (Über den 30. Breitengrad Nord fließen in jedem System etwa  $2 \cdot 10^{15}$  W). Ändern sich Energieangebot, Niederschläge und Winde an der Ozeanoberfläche, so wird es Jahrzehnte dauern, bis der Ozean die zugehörige Oberflächentemperatur einstellt. Der Ozean ist ein

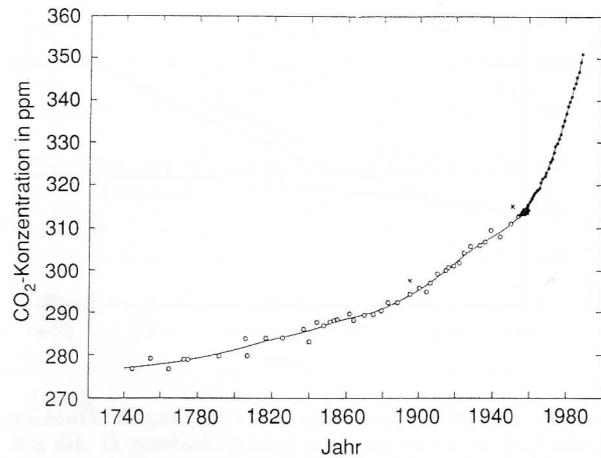


Abb. 4. Veränderung der Atmosphäre: Anstieg des  $\text{CO}_2$ -Gehalts [13].

Verzögerungsglied zwischen erhöhtem Strahlungsangebot durch den forcierten Treibhauseffekt und nachfolgender Erwärmung. Man berechnet heute eine Verzögerung von zunächst 4 Jahrzehnten. Eine neue Gleichgewichtssituation kann sich aber erst einstellen, wenn sich der Ozean nach Jahrhunderten einmal vollständig umgewälzt hat.

Daher sind für den Temperaturtrend in diesem Jahrhundert wohl nur die Emissionen bis in die 50er Jahre, das aber sind in etwa nur 50% aller bis heute getätigten Emissionen, verantwortlich. Selbst wenn ab heute keine Treibhausgasemissionen mehr emittiert würden, wird der Temperaturanstieg noch bis weit in das nächste Jahrhundert fort dauern; sollte der Trend von 0,5  $^\circ\text{C}$  bis 0,7  $^\circ\text{C}$  in Abbildung 1 ganz auf menschliche Treibhausgasemissionen gründen, so müssen wir mit einer heute schon fest und unabänderlich verursachten Erwärmung um insgesamt 1  $^\circ\text{C}$  bis 1,4  $^\circ\text{C}$  rechnen; – die Erwärmung auf das Niveau der Eem-Warmzeit ist dann erreicht.

Ein sofortiges globales Stop der Treibhausgas-Emissionen ist völlig illusorisch, so daß die Zukunft den Eem-Rekord übertreffen wird. Da eine sichere Prognose über das Ausmaß künftiger Emissionen unmöglich ist, werden verschiedene, technisch und gesellschaftspolitisch real alternative Szenarien betrachtet. Abbildung 5 zeigt die Szenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), die dieses zur Vorbereitung der zweiten Weltklimakonferenz in Genf 1990 entwickelte. Die Szenarien geben die Wirkung aller in der Atmosphäre akkumulierten Treibhausgasen als Äquivalent von ausschließlich  $\text{CO}_2$  an. Szenario A unterstellt, daß die Zuwachsraten der Treibhausgasen unverändert bleiben und das Montrealer Protokoll über die FCKW nur schwach umgesetzt wird. Es gibt genügend fossile Brennstoffe, um diesen Weg zu verfolgen (Szenario A wird als »business as usual« bezeichnet). Szenario D ist das extreme Gegenteil von A: alle

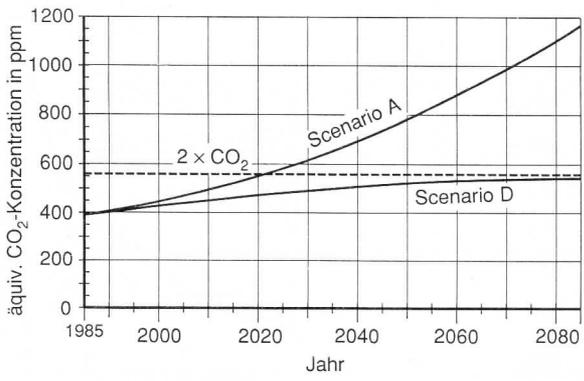


Abb. 5. Die IPCC-Szenarien für die Entwicklung des Treibhaus-effekts [15]. A: Weiter wie bisher, keine Maßnahmen; D: Alle technisch möglichen Maßnahmen werden ergriffen.

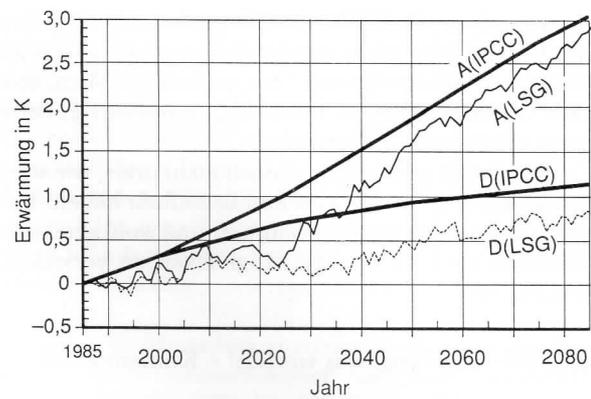


Abb. 6. Temperaturanstieg gemäß IPCC für die Szenarien A und D (1990) und im Hamburger Ozean-Atmosphäre-Klimamodell [16].

Maßnahmen werden genutzt, um die Emissionen zu senken; z. B. wird global der Einsatz fossiler Brennstoffe drastisch eingeschränkt. Auch Szenario D ist mögliche Zukunftsperspektive. Hier wird die Verdoppelung der vorindustriellen CO<sub>2</sub>-Konzentration gerade vermieden, während das business as usual jene bis zum Jahr 2100 vervierfacht.

Mit Spannung wurde am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg das Ergebnis der ersten Rechnung mit einem gekoppelten Ozean-Atmosphäre-

Klimamodell erwartet, das mit den IPCC Szenarien gefüttert wurde. Galt es doch abzuklären, inwieweit die IPCC-Aussagen, noch auf bedeutend undifferenzierteren Modellen basierend, in einem gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modell relativiert werden würden.

Es bestätigten sich die zentralen Aussagen der älteren Klimamodelle und selbst die IPCC-Temperaturkurven passen erstaunlich gut mit den neuen Ergebnissen zusammen (Abb. 6 u. 7). Ob das »Gezappel« der Modellrechnung jetzt schon in realistischer Weise die

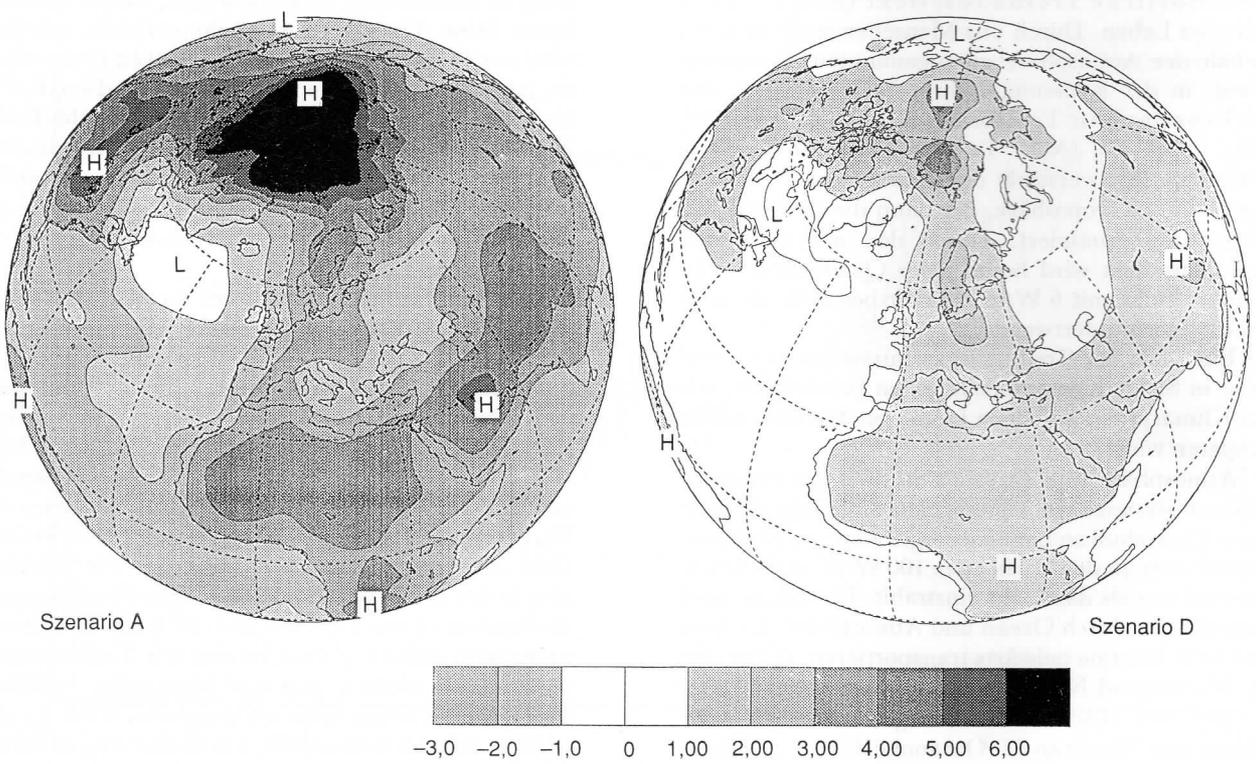


Abb. 7. Regionale Aufteilung der Klimaänderung in den IPCC-Szenarien A und D im Hamburger Ozean-Atmosphäre-Klimamodell [16]. Temperaturänderung (bodennah) in °C 1985 bis 2085 (H: Erwärmung, L: Abkühlung).

Region	BSP* pro Kopf bezogen auf BRD 1990	Bevölkerung** in Milliarden (1987)	Anteil an globalem BSP	Anteil an Weltbevölkerung	Bevölkerungszuwachs pro Jahr
Afrika	3%	0,59	15%	77%	~2% ( $t_{1/2} \sim 35$ a)
Süd-Amerika <sup>1</sup>	10%	0,42			
Asien <sup>2</sup>	3%	2,85			
Nord-Amerika	106%	0,27	85%	23%	+/-0
Europa <sup>3</sup>	58%	0,49			
Japan/Australien	107%	0,14			
UDSSR	27%	0,28			
Erde	20%	5	100%	100%	1,7%

\* BSP: Bruttosozialprodukt (Quelle: Fischer-Weltalmanach 1991)

\*\* Quelle: UN Demographical Yearbook 1988

<sup>1</sup> mit Mittelamerika    <sup>2</sup> mit Naher Osten    <sup>3</sup> West- und Osteuropa

Tab. 1. Immer mehr arme Menschen

natürliche Klimavariabilität wiedergibt, wird zur Zeit noch analysiert. Die verzögerte Erwärmung im business-as-usual-Szenarium für die Zeit bis 2040 könnte eine Ursache in numerischer Stabilität oder Wahl der Anfangsbedingungen haben oder ein echter Klimateffekt sein. Die langen Rechenzeiten (pro Szenarium  $\frac{1}{4}$  Jahr CRAY 2S) behindern eine schnelle Aufklärung.

Heute gilt als gesicherte Kenntnis:

- Einzelne Regionen der Erde sind von unterschiedlicher Erwärmung betroffen; in Polrichtung nimmt die Erwärmung zu.
- Der Ozean verzögert das Temperatursignal gegen die CO<sub>2</sub>-Anregung um etwa vier Jahrzehnte.
- Eine Verdopplung der (effektiven) CO<sub>2</sub>-Konzentration im Vergleich zur vorindustriellen Zeit führt zu einer Erwärmung von (1,5 bis 4,5) °C. Heute beträgt die (effektive) CO<sub>2</sub>-Konzentration bereits das 1,5fache des vorindustriellen Werts.

Die Unsicherheit von 3 °C in der Aussage »Erwärmung von (1,5 bis 4,5) °C bei CO<sub>2</sub>-Verdopplung« folgt im wesentlichen aus den unterschiedlichen Ansätzen, mit denen die Wolken auf den weiten Rechenmaschinen der Modelle von typisch 5° oder 500 km parameterisiert werden. Tiefe Wolken verringern durch Rückstrahlung des einfallenden Lichts die Strahlungsbilanz und kühlen, hohe Zirren sind dagegen für Licht weitgehend transparent, behindern aber durch ihren Eisgehalt die abgehende Infrarotstrahlung. Beide Wolkentypen können übereinanderliegen und recht unterschiedliche horizontale Abmessungen besitzen. Die Modellbauer lösen das Problem unterschiedlich, eine einschneidende Verbesserung der Situation ist noch nicht in Sicht. Satellitenmessungen zeigen, daß die Wolken die Erde im globalen Mittel heute mit etwa 15 W/m<sup>2</sup> kühlen [19].

### 2.3 Immer mehr arme Menschen – Wohlstand, Armut, Bevölkerungswachstum

Um die künftigen Emissionen von Treibhausgasen einschätzen zu können, müssen wir auch die extreme Asymmetrie bedenken, mit der Wohlstand und Armut auf die Länder und Regionen unserer Erde verteilt sind (Tab. 1). Die wenigen Reichen im Norden, die mit 23% der Weltbevölkerung 85% der kommerziellen Güter erwirtschaften, haben eine ganz andere Entwicklungsperspektive als die 77% armen und bitterarmen Menschen. Das Problem wird dadurch verschärft, daß Bevölkerungswachstum heute fast ausschließlich in den armen Ländern stattfindet [20].

Wachstum der Produktion, der Infrastruktur ist für die armen Länder der einzige Hoffnungsschimmer. Weil wir in einem der reichsten Länder der Welt wohnen, dürfen wir nicht den Blick dafür verlieren, daß die Menschheit bitterarm ist. Aufs engste mit dem Klimaschutz verbunden ist die Frage: Was tun bei immer mehr armen Menschen?

### 2.4 Es brennt – Fossile Energie im nationalen und internationalen Energiemix

Die zweite Basis, um künftige Emissionen einzuschätzen, ist der status quo der Energieszene. National gewinnen wir 88% der Primärenergie aus Verbrennung (Abb. 8). Mit einem Äquivalent von 500 Millionen Tonnen Steinkohle pro Jahr produzieren wir Deutschen für jeden Einwohner bei Tag und Nacht 6 kW. Da ein gut trainierter und ernährter Erwachsener eine Dauerleistung von 0,1 kW erbringen kann, entspricht die pro-Kopf-Energiedienstleistung einem Dauereinsatz von 60 »Sklaven«. Der niedrige Preis von 50 Pfennig pro Liter Heizöl mit einem Energieinhalt von 10 kWh/l reduziert den Wert der puren Wochenarbeit

Region	Bevölkerung (1987) in Milliarden	Primärenergie pro Jahr (1990) in TWa	Energiedienstleistung pro Kopf (1990) in KW	Zuwachs Primär- energie pro Jahr (1985-1990)
Afrika Süd-Amerika <sup>1</sup> Asien <sup>2</sup>	3,9 (77%)	2,5 (25%)	0,64	~5% (t <sub>1/2</sub> ~ 12 a)*
Nord-Amerika Europa <sup>3</sup> Japan/Australien UDSSR	1,2 (23%)	7,6 (75%)	6,4	+/- 0
Erde	5,1	10,1	2	1,5%

<sup>1</sup> mit Mittelamerika    <sup>2</sup> mit Naher Osten    <sup>3</sup> West- und Osteuropa

\* Verdopplungszeit in Jahren

Quellen: UN - Demographical Yearbook 1988, BP Statistical Review of World Energy 1990

Tab. 2. Die Energiedienstleistungsgesellschaft

### Primärenergie 1990 in Deutschland

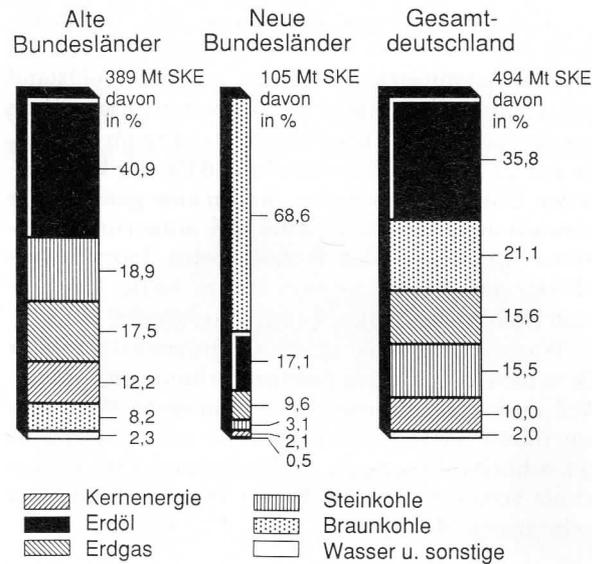


Abb. 8. Primärenergie 1990 in Deutschland (nach [24]).

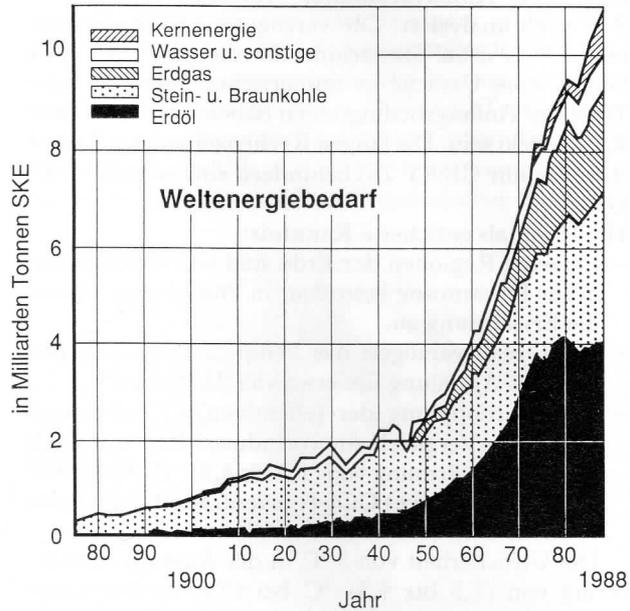


Abb. 9. Weltenergiebedarf.

eines Menschen ( $40 \text{ h} \cdot 0,1 \text{ kW} = 4 \text{ kWh}$ ) auf etwa 20 Pfennig.

Den Gegensatz zwischen Armen und Reichen spiegeln daher auch die Energiebilanzen (Tab. 2). 75% der Menschen verfügen über nur 25% der globalen Energiedienstleistungen bei einem pro-Kopf-Aufkommen von nur 1/10 des unsrigen. Während der Energieeinsatz in den reichen Industrieländern etwa Mitte der 80er Jahre stabilisiert wurde [17], wächst der Energieeinsatz der Entwicklungsländer jährlich um 5%–6% [18]. Weil die Industrieländer ihren Energieeinsatz in den

80er Jahren nicht weiter steigerten, fiel der Zuwachs des globalen Energiewachstums in den 80er Jahren von 4% auf heute 1,5%.

Auch global sind die fossilen Energieträger mit etwa 85% dominant [17]. Kernenergie (6%) und Wasser (7%) liefern nur kleine Beiträge (Abb. 9). Zu der in Abbildung 9 zusammengefassten kommerziell gehandelten Energie sind noch etwa 10% weitere (fossile) nicht gehandelte Energieträger hinzuzurechnen; demnächst zwei Milliarden Menschen kochen auf Brennholz, Dung u. ä.

## Literatur

- [1] Schutz der Erdatmosphäre – eine Frage des Überlebens. Bd. I–III, Enquête-Kommission »Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre« des 11. Deutschen Bundestages (Hg.). – Bonn: Economica Verlag 1990.
- [2] Beschluß der Bundesregierung vom 7. Nov. 1990 zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2005.
- [3] K. HEINLOTH: Bedrohliche Klimaveränderungen erfordern weltweit eine vernünftige Energienutzung. – MNU 43 (1990) 323–331.
- [4] K. HEINLOTH: Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre. – Phys. Bl. 46 (1990) 487–489.
- [5] Schutz der Erdatmosphäre, eine Herausforderung an die Bildung. Zur Umsetzung der Empfehlungen der Enquête-Kommission, Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft (Hg.). – Bonn: Economica Verlag 1990.
- [6] H. HEISE: Das CO<sub>2</sub>-Problem und der Glashauseffekt aus physikalischer Sicht. – MNU 37 (1984) 347–354.
- [7] I. SCHULZE: Modellversuch zum Treibhauseffekt. – MNU 44 (1991) 89–93.
- [8] M. ADELHELM – E. G. HÖHN: Zur Behandlung des Treibhauseffekts im Chemieunterricht. – MNU 44 (1991) 417–421.
- [9] H. GRASSL: Anthropogene Beeinflussung des Klimas. – Phys. Bl. 45 (1989) 199–206.
- [10] WMO/UNEP, Climate Change, The IPCC Scientific Assessment (J. T. HOUGHTON et al. eds.) Cambridge 1990, Fig. 11.
- [11] nach C. D. SCHÖNWIESE – B. DIECKMANN: Der Treibhauseffekt. – Stuttgart: DVA 1987. Abb. 9.
- [12] nach M. HEIMANN: private Mitteilung, MPI f. Meteorologie 1991.
- [13] C. D. KEELING et al.: A three-dimensional model of atmospheric CO<sub>2</sub>-transport based on observed winds. – Geophysical Monograph 55, p. 165–236.
- [14] Schutz der Erdatmosphäre. Eine Frage des Überlebens. Bd. III, Abschnitt C, 1. Kap. 3.2.2.
- [15] WMO/UNEP, Climate Change, The IPCC Scientific Assessment (J. T. HOUGHTON et al. eds) Cambridge 1990, Fig. 6.
- [16] U. CUBASCH et al.: Time-dependent greenhouse warming computations with a coupled ocean-atmosphere model. – MPI f. Meteorologie, Report No. 67, Juli 1991. Siehe auch U. CUBASCH: Das Klima der nächsten 100 Jahre: Szenarienrechnungen mit dem Hamburger gekoppelten globalen Ozean-Atmosphäre-Modell. – Phys. Bl. 48 (1992) 85–89.
- [17] BP Statistical Review of World Energy, June 1991.
- [18] Energie und Klima, Studienprogramm, Enquête-Kommission »Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre« des 11. Deutschen Bundestages (Hg.) Bd. 8. – Bonn: Economica Verlag. S. 350–351.
- [19] V. RAMANATHAN – B. R. BARTESTROM – E. F. HARRISON: Climate and the Earth's radiation budget. – Phys. Today, May 1989 p. 22–32.
- [20] Population Issue Briefing Kid. – New York: United Nations Population Fund 1991. □