

Bereits 1896 wies der schwedische Forscher Arrhenius erstmals darauf hin, daß der Mensch durch Emissionen von Kohlendioxid (CO₂) das Strahlungsgleichgewicht und somit das Klima der Erde verändern könnte. Im Jahr 1957 begann Charles Keeling seine Messungen der atmosphärischen CO₂-Konzentration am Mauna Loa (Hawaii) und erkannte, daß eine unverkennbare Zunahme dieser Meßgröße im Gange war. Doch erst Mitte der 80-er Jahre wurde das sich daraus ergebende Gefahrenpotential Gegenstand öffentlicher Diskussionen.

DER TREIBHAUSEFFEKT – brauchen wir ein globales Umweltmanagement?

TREIBHAUSEFFEKT UND KOHLENSTOFFKREISLAUF

CO₂-Emissionen werden durch Landnutzungsänderungen sowie durch die Verbrennung fossiler Energieträger – Kohle, Erdöl und Erdgas – verursacht. Um die prognostizierten Klimaänderungen in Grenzen zu halten, müssen die CO₂-Emissionen drastisch reduziert werden.

Treibhausgase haben die Eigenschaft, kurzweilige Sonnenstrahlung ungehindert auf die Erde durchdringen zu lassen, jedoch Infrarotstrahlung, die von der Erde zurück ins Weltall abgegeben wird, zu „behindern“. Erdoberfläche und Atmosphäre reagieren durch Erwärmung, um diesen Effekt auszugleichen. Die Treibhausgase CO₂ und Wasserdampf kommen von Natur aus in der Atmosphäre vor, ohne sie würde die durchschnittliche Oberflächentemperatur nicht +15°C sondern -18°C betragen. Doch seit etwas mehr als 100 Jahren ist der Mensch im Begriff, die Konzentration von CO₂, Methan (CH₄) und anderen Spurengasen in der Atmosphäre spürbar zu erhöhen. CO₂ ist zu über 50% an dem, vom Menschen verursachten, „anthropogenen“ zusätzlichen Treibhauseffekt beteiligt. Wir emittieren jährlich etwa 7.500.000.000 Tonnen (7,5 Gigatonnen) Kohlenstoff, davon 6 Gigatonnen aus fossilen Brennstoffen, ein Wert, der sich innerhalb von nur 25 Jahren verdoppelt hat. Prognosen bezüglich Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum lassen erwarten, daß die weltweiten Emissionen weiter rasant steigen werden.

Diese Emissionen stellen einen schwerwiegenden Eingriff in den globalen Koh-

lenstoff (C)-Kreislauf dar. Der natürliche C-Kreislauf wird durch Sonnenenergie „angetrieben“: Durch die Photosynthese wird CO₂ aus der Atmosphäre von den Pflanzen aufgenommen und gespeichert. In etwa demselben Ausmaß sterben Pflanzen ab und CO₂ wird durch natürliche Zersetzungs Vorgänge wieder freigesetzt. Auch die Weltmeere sind mit der Atmosphäre über CO₂-Austauschvorgänge verbunden.

In Tabelle 1 sind, für die Periode 1980-1989, gemittelt, die wichtigsten globalen Kohlenstoffquellen und -senken dargestellt. Es besteht große Unsicherheit über die „zusätzlichen Senken“ (6) und das zukünftige Verhalten der Senken (4) und (5). Eine Abschwächung dieser Senken hätte eine Erhöhung der CO₂-Zunahme in der Atmosphäre zur Folge, und das sogar ohne einen weiteren Anstieg der CO₂-Emissionen.

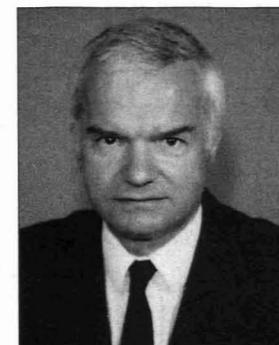
Abbildung 1 zeigt den Verlauf der CO₂-Konzentration am Mauna Loa (a), einige Szenarien zukünftiger CO₂-Emissionen bis 2100 (b) sowie für jedes dieser Szenarien den prognostizierten CO₂-Gehalt der Atmosphäre als Funktion der Zeit (c). Ein Einfrieren der jährlichen Emissionen in (b) führt nicht zu einer Stabilisierung in (c), sondern nur zu einer konstanten Zunahme der CO₂-Konzentration.

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ein von der UNO und der WMO (World Meteorological Organization) eingerichtetes Gremium von Wissenschaftlern, schätzt in seinem für Anfang 1996 angekündigten Bericht[3], daß die Kohlenstoffemissionen, von jetzt bis zum Jahr 2100 kumuliert, zwischen 700 und 2080 Gigatonnen betragen werden. Zum



**BERNHARD
SCHLAMADINGER**

Dipl.-Ing., Jahrgang 1967, Studium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau an der TU Graz; von 1988 bis 1991 freier Mitarbeiter der AVL List GmbH; seit 1992 bei Joanneum Research, Institut für Energieforschung; 1994 Forschungsaufenthalt am Oak Ridge National Laboratory, USA; Arbeitsschwerpunkt (im Auftrag der EU): Analyse von Bioenergie- und Landnutzungsenergie als Lösungsansätze der CO₂-Problematik.



JOSEF SPITZER

Dipl.-Ing. Dr.techn., Jahrgang 1943, Studium des Maschinenbaus an der TU Graz und der Kerntechnik in den USA; ab 1971 in der kerntechnischen Industrie und am Battelle Institut in Frankfurt am Main; seit 1982 bei Joanneum Research, Graz; ab 1988 Leiter des dortigen Institutes für Energieforschung; Lehrbeauftragter an der TU Graz; Habilitation im Fachgebiet Energiewirtschaftslehre an der TU Graz.

QUELLEN	GIGATONNEN C
(1) Emissionen aus fossilen Brennstoffen und Zementproduktion	5,5 ± 0,5
(2) Emissionen aus Landnutzungsänderungen in den Tropen	1,6 ± 1,0
SENKEN	
(3) Speicherung in der Atmosphäre	3,2 ± 0,2
(4) Aufnahme in den Ozeanen	2,0 ± 0,8
(5) Aufnahme in den Wäldern nördlicher Breiten	0,5 ± 0,5
(6) Zusätzliche Kohlenstoffsenken: CO ₂ -Düngeeffekt, Stickstoffdüngung, Klimaeffekte; rechnerische Bilanz aus [(1)+(2)] - [(3)+(4)+(5)]	1,4 ± 1,5

TABELLE 1: QUELLEN UND SENKEN IM GLOBALEN KOHLENSTOFFKREISLAUF [1];
1 GIGATONNE C = 3,66 GIGATONNEN CO₂.

Vergleich: Von 1860 bis jetzt wurden 240 Gigatonnen emittiert; derzeit speichert die Atmosphäre etwa 750 Gigatonnen C. Aus diesen Emissionsszenarien wird vom IPCC eine wahrscheinliche Temperaturerhöhung zwischen 0,8 und 3,5°C bis 2100 abgeleitet, wobei dies nur etwa 50 bis 70% des Langzeit-Effekts darstellt. Das Hauptproblem ist jedoch, daß diese Temperaturänderung (und die damit einhergehende Änderung von Niederschlagsmustern) schneller vor sich geht als jede andere in den letzten 10.000 Jahren.

Die Kernaussage des IPCC-Berichtsentwurfs ist das folgende Statement: „Compa-

bisher oft gegen Emissionsminderungsmaßnahmen argumentiert wurde, ist also bedeutend kleiner geworden. Es scheint, als ob wir es bei fossilen Energieträgern eher mit einem Entsorgungs- als mit einem Versorgungsproblem zu tun haben.

MÖGLICHKEITEN ZUR REDUKTION DER CO₂-EMISSIONEN

Ein wirklich breites Bewußtsein zur Treibhausproblematik hat sich erst in den 90-er Jahren entwickelt. In der UN-Rahmenkonvention von Rio zum Schutz des Weltklimas haben sich die Vertragsstaaten,

liner Klimagipfels stattfinden, zeigt in etwa ironischer Form, wie ernst diese Verpflichtung und das Klimaproblem insgesamt derzeit genommen werden:

„Delegates were clamouring for examples of policies and measures that have helped climate change wiseguys (fore-runners?) achieve success so far ...:

- Bring an Eastern European country under your territorial umbrella (offered by the former Federal Republic of Germany)
- Close down coal industry controlled by supporters of an opposition party (kindly provided by Her Britannic Majesty's present government)
- Implement activities jointly with a nuclear power (joint submission by la belle France and Mururoa Atoll)
- Import all energy in the form of electricity generated abroad (smugly presented by Luxemburg)
- Replace sheep with trees (forlornly offered by New Zealand)
- Lurch towards a market economy (mailed in by the former Soviet Union)
- Imprison one half of your population (submitted by the unelected government of Nigeria)
- Take your commitments seriously, demonstrate firm leadership at home, promote renewable energy, adopt carbon taxes ... (reported by the government of Denmark) [4].

In der Tat, wie es aussieht werden vor allem „Sonderfälle“, wie zum Beispiel einige Länder Osteuropas sowie Deutschland ihre Verpflichtungen einhalten können. Dies aber nicht etwa deshalb, weil Maßnahmen im Energiebereich gegriffen haben, sondern weil wirtschaftliche Umstände das Ihre dazu beigetragen haben. Dänemark ist eines der wenigen Länder mit einer zielorientierten Klima- und Energiepolitik.

Eine einfache Möglichkeit, um Optionen zur Emissionsminderung zu beschreiben, besteht anhand der folgenden Formel [5]. Die jährlichen CO₂-Emissionen (C_{ges}) aus einem betrachteten Bereich (weltweit, national, oder aus einem Sektor) lassen sich berechnen als

$$C_{ges} = \frac{CO_2\text{-EMISSIONEN}}{ENDENERGIE} \times \frac{ENDENERGIE}{DIENSTLEISTUNG} \times \frac{DIENSTLEISTUNG}{PERSON} \times \frac{PERSONEN}{BEREICH}$$

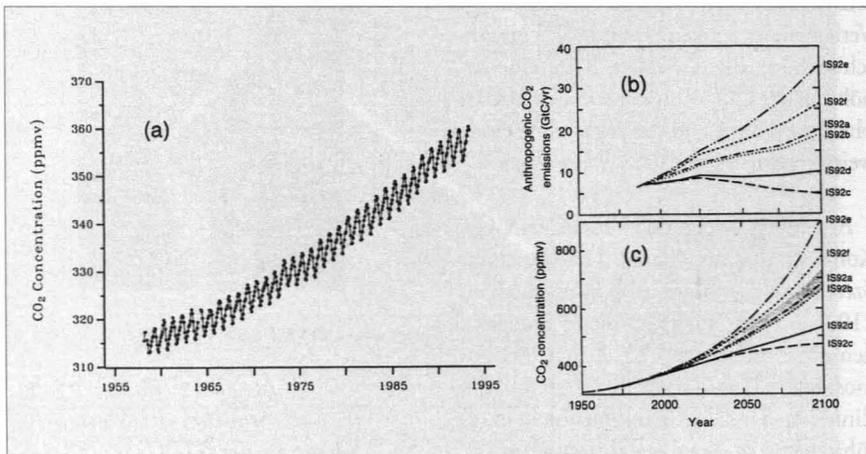


ABB. 1: CO₂-KONZENTRATION IN DER ATMOSPHÄRE, GEMESSEN AM MAUNA LOA (A), EMISSIONSSZENARIEN DES IPCC (B) SOWIE DIE ZUKÜNFTIGE CO₂-KONZENTRATION, ABGELEITET AUS DIESEN EMISSIONSSZENARIEN (C), AUS [1,2].

ring the observed change in the global mean temperature with model simulations suggests that the observed increase over the last century (0,3 – 0,6°C) is unlikely to be entirely due to natural causes and that a pattern of climate response to human activities is identifiable in the climatological record“. Die wissenschaftliche Unsicherheit, mit der

darunter auch Österreich, verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2000 auf das Niveau von 1990 zu reduzieren. Der folgende Kommentar über die Genfer Klimagesprache, die im Nachfeld des Ber-

Da bei einer globalen Betrachtung der letzte Term dieser Formel (Bevölkerung) als nur schwer beeinflussbar erscheint, kommen zur Lösung oder Minderung des Problems noch drei Möglichkeiten in Betracht, wovon die Menge an nachgefragten (Energie-)Dienstleistungen hier nicht näher behandelt wird.

VERRINGERUNG DER KOHLENSTOFFINTENSITÄT

In diesen Bereich (1. Faktor der Formel) fällt die Forcierung von Energieträgern mit geringeren spezifischen CO₂-Emissionen. Dazu zählen erneuerbare Energiequellen, wie z.B. thermische Sonnenkollektoren, Photovoltaik, Windkraft, Geothermie, Wasserkraft und die Bioenergie. Auch der Ersatz von Kohle oder Öl durch Erdgas ist in diesem Zusammenhang zu nennen.

Abbildung 2 zeigt die über der Zeit kumulierten C-Emissionen für Varianten zum Ersatz eines Kohlekraftwerkes:

- Umstellung des Kraftwerkes auf Erdgas mit geringerem CO₂-Emissionsfaktor.
- Umstellung des Kraftwerkes auf Biomasse, hier aus intensivierter Waldnutzung.
- Umstellung des Kraftwerkes auf Biomasse aus einer Energieholzplantage [6].
- Beibehaltung der Befuerung mit Kohle und gleichzeitige Aufforstung einer Waldfläche, die zu Beginn exakt die CO₂-Emissionen des Kohlekraftwerkes durch Kohlenstoff-Aufnahme kompensiert. Dieses Szenario zeigt, daß Aufforstungsmaßnahmen nur kurzfristig wirksam sind, während die Bioenergie auf Dauer eine Emissionsreduktion mit sich bringt.

ERHÖHUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ

Ein weitere Möglichkeit, entsprechend dem 2. Faktor der Formel, ist die Verringerung jenes Energieeinsatzes, der für eine bestimmte (Energie-)Dienstleistung erforderlich ist. Dies kann beispielsweise durch verbesserte Wärmedämmung erfolgen, so daß der Energieverbrauch je m² beheizter Fläche verringert wird, oder auch indem der Treibstoffverbrauch unserer Fahrzeuge, je Personenkilometer, gesenkt wird. Wie man sieht, beinhaltet dies nicht nur technische, sondern auch organisatorische Effizienz, also die Frage, wie gut beispiels-

weise unsere Fahrzeuge ausgelastet sind (Personen/Fahrzeug). Wenn die Dienstleistung in der Bereitstellung von Nahrungsmitteln im Lebensmittelgeschäft besteht, dann ist die Effizienz auch eine Funktion der Transportentfernungen, das heißt, für die Milch, die aus Bayern zum Verbraucher in Graz geliefert wird, fällt der Faktor zwei der obigen Formel höher aus als für die Milch aus der Umgebung von Graz.

In Dänemark war im Jahr 1988 der Durchschnittsverbrauch von 200-Liter-Kühlschränken bei 350 kWh/Jahr, das beste Modell verbrauchte nur 90 kWh, und heute gibt es bereits Geräte mit 50 kWh. Die effizientesten Geräte sind bei weitem nicht immer die teuersten. Es ist in vielen Fällen billiger, Energie erst gar nicht „erzeugen“ zu müssen, sondern den Energiebedarf zu reduzieren [7].

WARUM MASSNAHMEN AUF GLOBALER EBENE SO SCHWER UMSETZBAR SIND

Die Schwierigkeiten bei der globalen Umsetzung wirksamer Maßnahmen faßt Michael Grubb [8] zusammen: „The fundamental question is how 10 billion people in almost 200 sovereign states, with immensely different perceptions and cultures, can decide on the ground rules and specific obligations for coping with global environmental constraints and associated trans-

boundary impacts. I believe this is an issue that we will spend most of the next century sorting out“. In jedem einzelnen Staatsgebilde lassen sich Maßnahmen leichter durchsetzen als in einem System von etwa 200 Akteuren (Staaten), mit höchst unterschiedlichen Interessen und Zielsetzungen. Diese Akteure stehen in wirtschaftlicher Konkurrenz, wollen z.T. mehr Energie verkaufen (z.B. OPEC), oder über billige Energie als Motor ihrer Wirtschaft verfügen (z.B. USA).

So kommt die von der EU-Kommission vorgeschlagene Energie- und CO₂-Steuer deshalb nicht zur Umsetzung, weil einzelne Länder (Großbritannien) ihr Veto einlegen. Dabei wäre eine derartige Steuer – mit gleichzeitiger Entlastung der arbeitsbezogenen Abgaben – ein Weg, um den Widerspruch zu beseitigen: Daß wir Arbeitsplätze – die ja erwünscht sind – durch hohe Steuern belasten und den Energieverbrauch mit seinen negativen Auswirkungen durch geringe Steuern bzw. oft sogar Subventionen begünstigen [9].

Im Bereich des privaten Energieverbrauchs sind Ökosteuern auch in kleineren Einheiten, z.B. Staaten der EU, sinnvoll umsetzbar: Siehe Dänemark, wo Mitte der 80er Jahre der Verfall der Energiepreise durch Energiesteuern ausgeglichen wurde. Dort, wo europa- oder weltweiter Wettbewerb herrscht (z.B. in der Industrie), muß

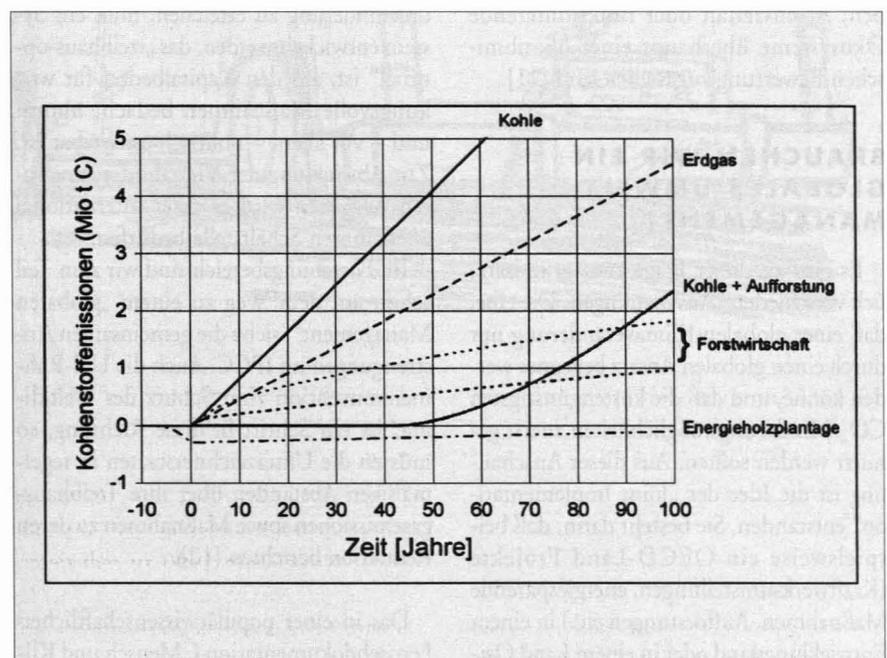


ABB. 2: VERGLEICH DER KOHLENSTOFFEMISSIONEN AUS DER ERZEUGUNG VON 1 PETAJoule/JAHR STROM IN EINEM THERMISCHEN KRAFTWERK

auf die Konkurrenzfähigkeit Rücksicht genommen werden. Aus der Sicht der CO₂-Bilanz macht es keinen Sinn, energieintensive Branchen in andere Länder zu verdrängen, da das globale Problem dadurch nicht gelöst wird, sondern es zu einer Verlagerung von Emissionen kommt.

Eines der Haupthindernisse auf dem Weg zu tatsächlichen Emissionsreduktionen ist die Tatsache, daß viele Maßnahmen (aber bei weitem nicht alle, siehe oben) momentan betriebswirtschaftliche Nettokosten verursachen, jedoch volkswirtschaftliche Schäden erst in 10, 20 oder 50 Jahren vermeiden helfen. Um dieses Hindernis zu beseitigen, sind eine Identifizierung und Quantifizierung der Schäden und dann ihre Zuordnung zu den Verursachern (Internalisierung externer Kosten) erforderlich [10].

Es wird oft argumentiert, der relative lange Zeithorizont für die Betrachtungen erfordere eine dynamische Analyse, bei der ein weit in der Zukunft liegender Nutzen (die vermiedenen Schäden) abgezinst und den Emissionsminderungskosten, die jetzt entstehen, gegenübergestellt wird. Das dabei häufig erzielte Ergebnis, daß es am billigsten sei, gar nichts tun, ist ein willkommenes Argument für jene, die jegliche Maßnahmen ablehnen. Die Frage ist jedoch, ob eine derartige Rechnung überhaupt angestellt werden darf. Es ist zu bezweifeln, daß so grundlegende Werte wie Menschenleben, Artenvielfalt oder funktionierende Ökosysteme überhaupt einer ökonomischen Bewertung zugänglich sind [11].

BRAUCHEN WIR EIN GLOBALES UMWELT-MANAGEMENT?

Es gibt zu dieser Frage zwei grundsätzlich verschiedene Anschauungen. Die eine, daß einer globalen Klimaveränderung nur durch einen globalen Ansatz begegnet werden könne, und daß die kostengünstigsten CO₂-Minderungsmöglichkeiten zuerst genutzt werden sollten. Aus dieser Anschauung ist die Idee der „Joint Implementation“ entstanden. Sie besteht darin, daß beispielsweise ein OECD-Land Projekte (Kraftwerksumstellungen, energiesparende Maßnahmen, Aufforstungen etc.) in einem Entwicklungsland oder in einem Land Osteuropas finanziert und dafür Emissionsgutschriften bekommt. Dabei würde man

die spezifischen Kosten der CO₂-Reduktion minimieren. Das Partnerland hätte den Vorteil, Investitionen und neue Technologien ins Land zu bekommen. Eine Variante einer solchen globalen Zusammenarbeit wäre die Verteilung einer begrenzten Menge an handelbaren CO₂-Emissionsrechten.

Die andere, eher politisch geprägte Anschauung kann so beschrieben werden, daß jene, die bisher das Problem verursacht haben, also hauptsächlich die industrialisierten Länder, zuerst ihre eigenen Emissionen reduzieren sollten, bevor „Joint Implementation“ oder ähnliche Ansätze in Frage kommen.

Bei einer ersten Betrachtung sind beide Anschauungen vertretbar, auch können bei beiden Kritiken angebracht werden. So ist sicher bei „Emissionsminderung nur in anderen Ländern“ eine negative Vorbildwirkung gegeben (siehe Cartoon auf Seite 27). Andererseits kann bei „Zuerst eigene Emissionen reduzieren“ ins Treffen geführt werden, daß es vielleicht gelingen mag, die Treibhausgasemissionen der Industrieländer etwas zu senken. Die Auswirkung auf die globale Situation wird sich aber in Grenzen halten, weil energieintensive Prozesse einfach verlagert werden und die Emissionen aus (noch) weniger industrialisierten Ländern in Zukunft stärker wachsen werden.

Um weltweit eine wirkungsvolle Emissionsminderung zu erreichen, muß ein System entwickelt werden, das „treibhaus-optimal“ ist, auf den Kapitalbedarf für wirkungsvolle Maßnahmen bedacht nimmt und – vor allem – politisch umsetzbar ist. Zur Abwicklung der Vielzahl der genannten Aufgaben wird es einer international anerkannten Schaltstelle bedürfen.

Im Forschungsbereich sind wir zum Teil schon auf dem Weg zu einem „globalen Management“, siehe die gemeinsamen Anstrengungen im IPCC. Auch die UN-Rahmenkonvention zum Schutz des Weltklimas ist ein Schritt in diese Richtung, so müssen die Unterzeichnerstaaten in regelmäßigen Abständen über ihre Treibhausgasemissionen sowie Maßnahmen zu deren Reduktion berichten [12].

Das in einer populärwissenschaftlichen Fernsehdokumentation („Mensch und Klima“ aus der Reihe „Universum“) vorgeführte Szenario, in dem ein „Amt für pla-

netares Management“ Aufgaben wie Datensammlung, Koordination von Maßnahmen oder Landnutzungsplanung übernimmt, mag zwar sehr utopisch klingen, aber einige dieser Aufgaben werden in Zukunft auf globaler Ebene zu bewältigen sein. Eine Entschärfung des Klimaproblems kann nur aus einer Kombination von lokal umgesetzten Maßnahmen – wie zum Beispiel die intensivierete Biomasse- oder Solarenergienutzung in Österreich – und einer globalen Festlegung von Rahmenbedingungen kommen.

LITERATUR

- [1.] Summaries for Policymakers and Other Summaries, IPCC Special Report (1994).
- [2.] C.D. Keeling, T.P. Whorf, in Trends '93, A Compendium of Data on Global Change, ORNL, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. (1994).
- [3.] IPCC Draft Summary Makes Headlines, Global Environmental Change Report, Vol. VII, No. 18, 22. Sept. (1995).
- [4.] ECO Newsletter, 24. August (1995).
- [5.] J. Spitzer, Prioritäten bei der CO₂-Reduzierung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 1/2: 26-27 (1991).
- [6.] G. Marland, B. Schlamadinger, Biomass Fuels and Forest-Management Strategies: How Do We Calculate the Greenhouse-Gas Emissions Benefits? Energy 20: 1131-1140 (1995).
- [7.] E.U. von Weizsäcker, A.B. Lovins, L.H. Lovins, „Faktor vier“, Report an den Club of Rome (1995).
- [8.] „The Emerging International Regime for Climate Change: Structures and Options after Berlin“, Zusammenfassung eines Seminars des Royal Institute of International Affairs in London. Brookings Institution, Washington, D.C. (1995).
- [9.] H. G. Kopetz, Nachhaltigkeit als Wirtschaftsprinzip, Österreichischer Agrarverlag, Wien (1991).
- [10.] O. Hohmeyer, M. Gärtner, die Kosten der Klimaänderung (deutsche Übersetzung, 1994).
- [11.] Ein Amerikaner soviel wert wie zehn Inder?, Der Standard, 21. September, S. 11 (1995). Siehe auch Nature 376: 374 (1995).
- [12.] Nationaler Klimabericht der Österreichischen Bundesregierung in Erfüllung der Verpflichtungen des Rahmenübereinkommens über Klimaänderung, Bundesministerium für Umwelt, Wien (1994).