

Jonathan Weiner

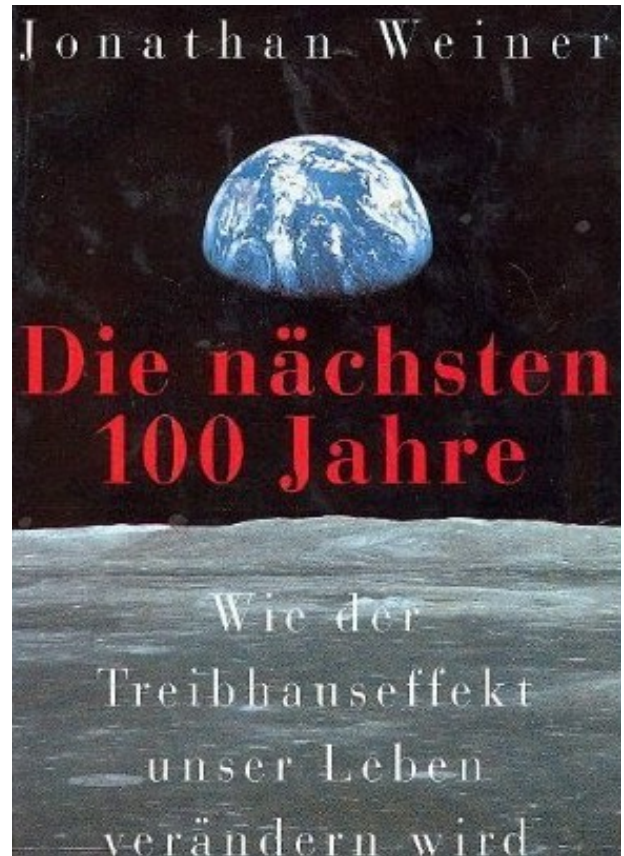
Die nächsten 100 Jahre

Wie der Treibhauseffekt
unser Leben verändern wird

Klima-Sachbuch 1990
[wikipedia J. Weiner](#)

*en: The Next One Hundred Years; Shaping
the Fate of our Living Earth. (to shape:
gestalten; fate: Schicksal)*

*de: 1990 bei Bertelsmann und 1995 im
Goldmann-TaBu: <Die Klimakatastrophe.>
mit einem akt. Nachwort des Autors.*



273

Die globale Erwärmung ist ein Thema, das meine Freunde aus Höflichkeit meiden, wenn sie bei mir sind. Sie wissen, daß ich vor ein paar Jahren dieses Buch darüber geschrieben habe, und sie fragen sich, ob ich mich vielleicht geirrt habe.

Wenn die Menschen hier in Pennsylvania, wo ich lebe, heute an extremes Wetter denken, fällt ihnen nicht der Sommer 1988 ein, sondern der Winter 1994. In jenem Januar bedeckte Eis unsere Straßen, im Februar fielen Bäume auf die Hochspannungsleitungen, und der Nordpol rief sich sogar noch im März in Erinnerung, wenn man aus dem Fenster schaute.

»Ich denke immer noch an den Treibhauseffekt, besonders an heißen Sommerabenden«, sagt ein Freund von mir. Andere sagen: »Ich sollte noch so oft daran denken wie vor ein paar Jahren. Aber ich tue es nicht.«

Und auch ich muß gestehen, daß ich — so besessen ich war — durch andere Themen, über die ich schrieb, und durch die kleinen Stürme des Alltagslebens abgelenkt wurde.

Ist das Problem verschwunden, oder haben wir uns von ihm abgewendet?

Letzten Sommer rief ich Keeling in seinem alten Familiensitz in Montana an, wo er einen seiner seltenen Urlaube vom Labor und von einer Hitzewelle in La Jolla machte. *Ich bat ihn um die letzten Werte.*

»Warte«, sagte er und legte den Hörer beiseite, um eine Kopie von Keelings Kurve zu suchen. Als er ans Telefon zurückkam, bemerkte er: »Es hat keinen Sinn, sich diese Zahlen zu merken, weil sie ständig ansteigen. Es ist, als versuchten wir, uns an das Alter unserer Kinder zu erinnern. Im Augenblick sind es etwa dreihundertneunundfünfzig Teile pro Million — jahreszeitlich bedingt.« Das bedeutete, daß der Kohlendioxidspiegel in der Atmosphäre um 44 Teile pro Million höher war als zu der Zeit, da Keeling angefangen hatte zu messen.

Ich rief auch Gregg Marland von den <Oak Ridge National Laboratories> in Tennessee an. Er zeichnet auf, wieviel fossiler Brennstoff weltweit jedes Jahr verbrannt wird. Er sagte, er habe die Computeraufzeichnungen für das ganze Jahr 1991 komplett.

In diesem Jahr hätten wir genug Kohle und Öl verbrannt, um mehr als sechs Milliarden Tonnen Kohlenstoff in die Luft zu jagen. Im Durchschnitt kommt damit über eine Tonne auf jeden Menschen unseres Planeten. *In jenem Jahr hätten allein die brennenden Ölquellen in Kuwait mehr als hundert Millionen Tonnen Kohlenstoff in die Atmosphäre freigesetzt.*

In jenem Sommer aß ich mit einem Sohn Keelings zu Mittag. Bei unserem letzten Gespräch hatte er mir erzählt, daß er gerade an einem neuen Typ eines Gasanalysegeräts arbeitete. Inzwischen hatte er damit aufgehört und war in die Fußstapfen seines Vaters getreten. *Ralph Keeling hat eine Methode gefunden, den Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre in Teilen pro Million zu messen.* Er wiederholt diese Messung Jahr für Jahr. Sein Labor ist ebenfalls am Scripps, nicht weit von dem seines Vaters entfernt. Der Sauerstoffgehalt der Luft sinkt, und die absteigende Kurve seiner Werte bildet ein Spiegelbild der Kurve von Ralphs Vater.

Man muß nicht viel von Chemie verstehen, um diese Kurven deuten zu können. Der Kohlendioxidspiegel steigt jedesmal an, wenn wir etwas verbrennen. Der Sauerstoffspiegel sinkt jedesmal, wenn wir Sauerstoff in Kohlendioxid umwandeln, indem wir etwas verbrennen. Wir laufen nicht Gefahr, daß der Sauerstoff knapp wird, aber es steht außer Frage, daß sich das Kohlendioxid in der Atmosphäre ansammelt, und es steht außer Frage, daß Kohlendioxid als Wärmefalle wirkt.

Ralph erklärte mir beim Essen, daß zwei Kurven ausdrucksstärker sind als eine. Ralph hofft, indem er sozusagen zwischen den Zeilen liest, herauszufinden, weshalb von dem Kohlendioxid, das wir jedes Jahr ausstoßen, nur die Hälfte oben in der Luft bleibt, und

weshalb und wo die andere Hälfte herunterkommt — ein Teil auf dem Land und der andere Teil im Meer.

274 / 275

Ralph hofft, diese Fragen in zwei oder drei Jahren beantworten zu können. Die Auffindung des vermißten Kohlenstoffs könnte Geowissenschaftlern bei der Vorhersage helfen, wie rasch der Kohlendioxidanteil in Zukunft zunehmen wird.

Ralph sagte, er erwarte, daß die Geschichte mit der globalen Erwärmung ähnlich ausgehen wird wie die Ozon-Geschichte.

Wir wußten seit Jahren, daß der Aufbau der Fluorkohlenwasserstoffe die Ozonschicht schädigen konnte. Wir dachten, diese Schäden würden irgendwann im nächsten Jahrtausend auftreten. Wir beobachteten, warteten und diskutierten. Dann plötzlich — viel früher, als irgend jemand erwartet hatte — tauchte das Loch an einer Stelle auf, wo es niemand vermutet hatte.

Bei all den weltweiten Aufzeichnungsbemühungen werden die ersten, dramatischen Folgen des steigenden Kohlendioxidanteils in der Atmosphäre wahrscheinlich sich an einer Stelle und zu einer Zeit bemerkbar machen, wo wir sie am wenigsten erwarten; wir spielen mit etwas, das weitaus komplizierter ist, als daß wir es verstehen könnten. Dann werden die Wissenschaftler aufhören, nach Anzeichen für eine Erwärmung Ausschau zu halten, und anfangen, darüber zu diskutieren, was geschehen ist. »Mir scheint, als würden die Dinge sich auf diese Weise entwickeln«, sagte Ralph.

Klimaexperten stimmen darin überein, daß das Kohlendioxid, das wir der Luft zuführen, jetzt die Oberfläche des Planeten um etwa zwei Watt pro Quadratmeter erwärmt. Die Erde weist eine Gesamtoberfläche von etwa 0,51 Billionen Quadratmetern auf. Wir haben gewissermaßen ein kleines Pilotlicht über jedem Quadratmeter Land, Meer und Eis entzündet, und jedes Licht erleuchtet bei Tag und bei Nacht dieses Fleckchen Erde.

Im Jargon der Geowissenschaftler sind diese **Pilotlichter** als Treibhausfaktoren bekannt. Sie gehören gemeinsam mit anderen Werten wie den Helligkeitsschwankungen des Sonnenlichts, der Lichtdurchlässigkeit der Wolken oder dem Aerosolgehalt in der Stratosphäre zu den Faktoren, welche die Veränderung des Klimasystems bewirken.

Aber die Atmosphäre wird auch von all den übrigen Sphären beeinflusst: von der Hydrosphäre — den Meeren; der Kryosphäre — den Eisflächen; der Biosphäre — der Gesamtheit des Lebens auf der Erde; und der Lithosphäre — der felsigen Kruste der Erde selbst. All diese Sphären verändern und bewegen sich ständig — ebenso wie auch

In welcher Weise wird das Klima sich verändern? Wie rasch wird dies geschehen, oder hat die Veränderung bereits eingesetzt?

Die mittlere Temperatur auf der Erde hat sich in den letzten hundert Jahren um etwa ein Grad Fahrenheit erhöht; um die Zehntelgrade streiten sich die Experten noch. 1990 war das heißeste Jahr seit mindestens hundert Jahren. Aber 1991 brach der Vulkan Pinatubo aus und schleuderte solche Massen an Rauch, Staub und Schwefeldioxyd in die Atmosphäre, daß die durchschnittliche Erdoberflächen-temperatur sank und uns so eine Abkühlung beschert wurde. Seitdem sind keine Rekorde in den globalen Temperaturen mehr zu verzeichnen gewesen.

Die letzten Spuren des Pinatubo-Ausbruchs gelangten im vergangenen Jahr in die Stratosphäre, und Klimaexperten in der ganzen Welt warten nun gespannt darauf, was als nächstes geschieht. Ich bat Stephen Schneider, einen Klimatologen an der Stanford University, um eine Vorhersage. »Ich würde sagen, daß uns in den nächsten zwei oder drei Jahren ein heißes Jahr bevorsteht«, sagte er vorsichtig. »Ich bin nicht sicher, aber die Wahrscheinlichkeit beträgt fünfzig bis sechzig Prozent.«

JAMES HANSEN, Direktor des <Goddard Institute for Space Studies> (NASA, New York City), geht weiter. Er erwartet, daß die restlichen neunziger Jahre vorwiegend warm sein werden. »Sobald man sagt, auf der Welt würde es wärmer«, sagte er mir,

*»denkt der Mann auf der Straße, jede Jahreszeit würde wärmer. Das wird sicher erst in fünfzig Jahren passieren. Aber ich würde sagen, daß die Temperaturen den Durchschnitt der späten achtziger und der frühen neunziger Jahre dieses Jahrhunderts übertreffen werden. **Es wird interessant werden.**«*

Andere Klimatologen sind zurückhaltender. Niemand weiß wirklich, was diese halbe Billiarde Lichtpunkte mit der Oberflächentemperatur des Planeten, mit der antarktischen Polkappe oder mit der Höhe des Meeresspiegels anstellen werden. Kein Supercomputer-Wettermodell vermag mehr, als Möglichkeiten darzustellen; und niemand, der mit diesen recht groben Modellen arbeitet, hat jemals etwas anderes behauptet.

Vielleicht haben wir Glück.

Gemäß einer neuen Denkrichtung führt der Schadstoffschleier, der unseren Schornsteinen und Auspuffrohren entweicht – der Ausstoß des menschlichen Vulkans –, zu einer Abkühlung, während das Kohlendioxid eine Erwärmung mit sich bringt. Vielleicht heben diese beiden Entwicklungen einander auf, oder ein Zufall kommt uns zu Hilfe.

Einer der **Optimisten im Treibhaus** ist Richard Lindzen, ein Meteorologe am MIT (Massachusetts), dessen Maß an Skepsis für dieses Forschungsgebiet höchst ungewöhnlich ist. Lindzen hält die Unwägbarkeiten in den Modellen für so groß, daß die globalen Temperaturen seiner Meinung nach mit ebenso großer Wahrscheinlichkeit fallen wie steigen können. »[Wer auch immer wetten will, ich halte mit](#)«, sagte er mutig [zu mir](#).

Seit Erscheinen dieses Buchs wurde weltweit ungeheuer viel über die globale Erwärmung geredet und spekuliert. Sie war das Hauptthema der großen Umwelt-Konferenz in Rio vor drei Jahren und war auch in der Nachfolgekonzferenz, die kürzlich in Berlin stattfand, ein wichtiges Thema.

[Wenn ich dieses Buch heute revidieren müßte, würde ich Berichte über diese Konferenzen und über die Arbeit des IPCC, des <International Panel on Climate Change>, hinzufügen; und ich müßte hier und dort eine Zahl ändern. Aber im großen und ganzen hat sich nur wenig geändert.](#)

»Ich denke, die Wahrheit lautet, daß keiner von uns bereit ist, seinen Lebensstandard herunter zu schrauben, um diese Kohlendioxidzunahme zu verhindern«, sagte Keeling nüchtern. »Angenommen, du müßtest wirklich das Einkommen von jedermann um zwanzig Prozent verringern, weil es ansonsten tatsächlich ungemütlich würde — was würdest du tun? Ich denke, du würdest sagen: **<Laßt uns noch ein bißchen warten und sehen, was geschieht>**.«

Aber ich kann mir nicht vorstellen, daß jemand mit einem Gefühl für die Komplexität des Planeten Keelings Kurven anschauen kann, ohne sich zumindest unwohl zu fühlen. Im Jahr 1958, mit dem die Kurve einsetzt, fügten wir der Atmosphäre jährlich zwei Milliarden Tonnen Kohlenstoff hinzu; heute ist es beinahe das Dreifache.

Da wir inzwischen extremes Wetter jeder Art erleben — schlimme Winter und auch schlimme Sommer —, ahnen wir, wie gefährlich unsere Lage wirklich ist. Wir verändern die Bedingungen, unter denen wir selbst und alle Tier- und Pflanzenarten auf dem Planeten gedeihen, und wir wissen nicht, was als nächstes geschehen wird.

[Für mich bleiben Keelings Kurven ebenso ernüchternd wie der Anblick der hundertjährigen Eiche, die eines stillen Morgens in unserem Wald umstürzte, nachdem sie sich den ganzen Winter über aufrecht gehalten hatte, und drei Meter vom Sandkasten entfernt landete.](#)

277

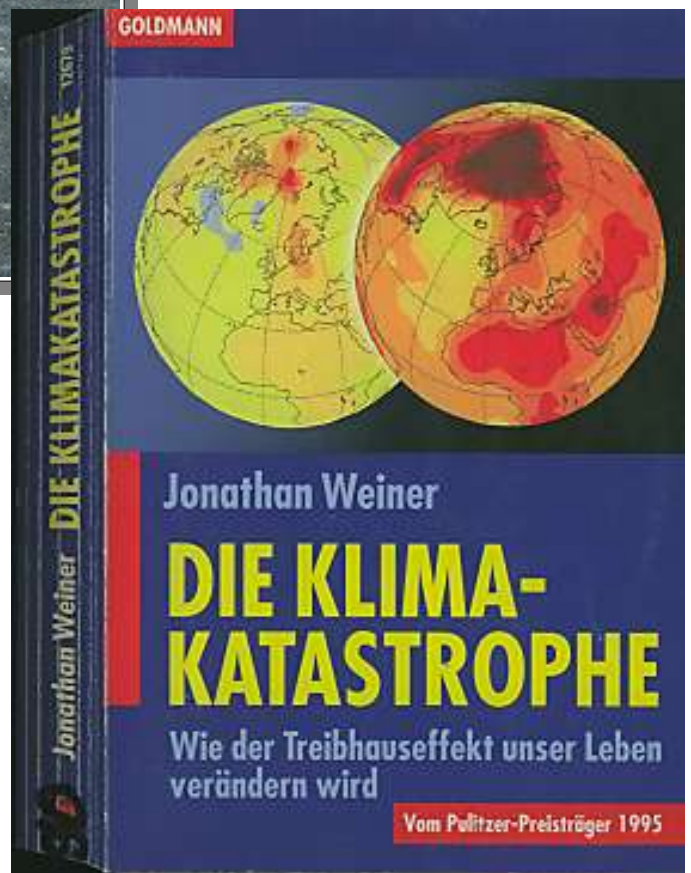
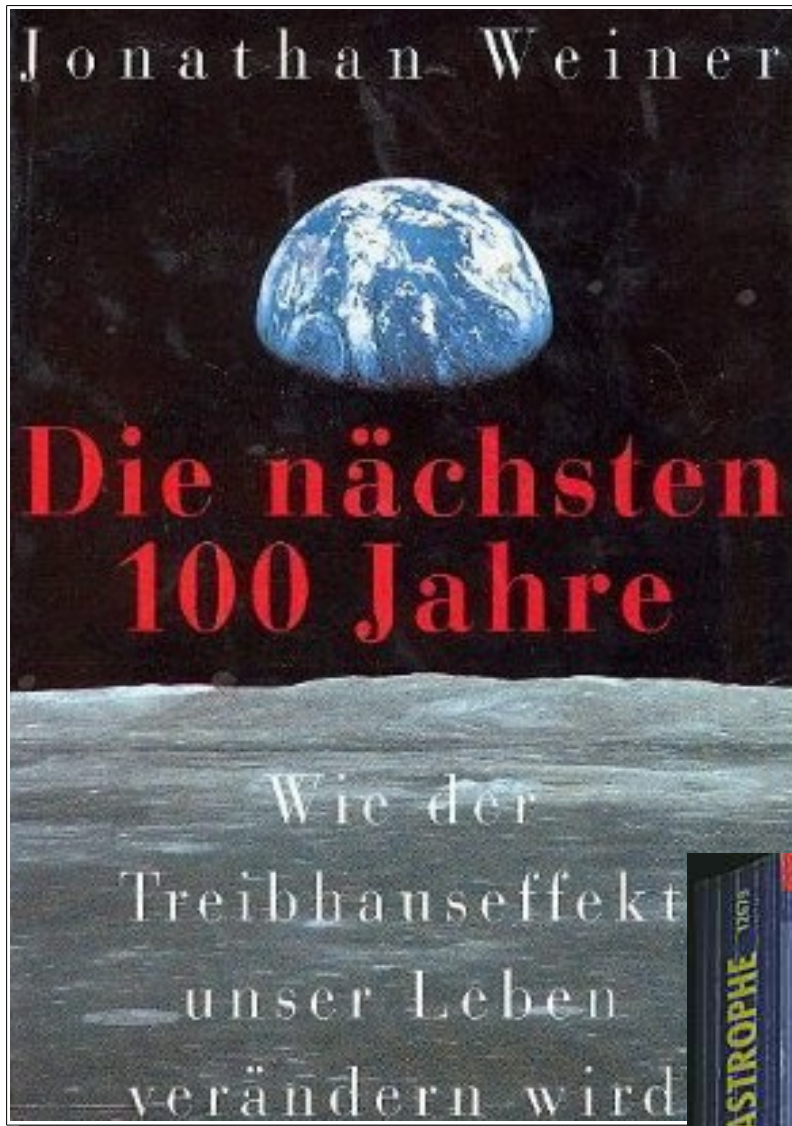
*Jonathan Weiner
Nachwort 1995*

Index

*Jonathan Weiner # Klimabuch 1990 # Die nächsten 100 Jahre / Die Klimakatastrophe # Wie der Treibhauseffekt unser Leben verändern wird # The Next One Hundred Years # Shaping the Fate of our Living Earth # 1990 by Bantam Books # 1990 by Bertelsmann unter dem Titel <Die nächsten hundert Jahre> # 1995 by Goldmann mit Nachwort # ISBN 3-442-12679-7 # Übersetzer: Malte Heim # SachBuch 1990 # Weiner: *1953 # 277 (343) Seiten.*

Siehe auch:

- [wikipedia Jonathan Weiner](#) *1953 in NYC 1995 Pulitzer-Preis
- [d-nb.info 12238590X](#) Weiner in der DNB
-
- [Flannery Klimabuch](#) 2005 [wikipedia T. Flannery](#)
- [Monbiot Klimabuch](#) 2006 [wikipedia G. Monbiot](#)
- [Diamond Umweltbuch](#) 1992 [wikipedia J. Diamond](#)
- [Klima-Schutz-Sach-Buch](#) 1982 von [wikipedia Wilfrid Bach](#)
- [James Lovelock Klimabuch](#) 2006
- [James Hansen Klimabuch](#) 2009
- [Schellnhuber Klima Schutz Sach Buch](#) 2015
-
- Crutzen 1989
- Haber 1989
- Grassl 1990
- [Mike Davis 2008](#) Klimarede in München



Alles änderte sich — änderte sich vollständig.
Eine furchtbare Schönheit ist geboren.
William Butler Yeats

239

Wir führen ein Experiment aus, das ebenso schicksalhaft ist wie dasjenige, das vor einem halben Jahrhundert in New Mexico, stattfand. Das Experiment hieß *Trinity*. Sein Mittelpunkt war ein stählernes Ei names *Fat Man*.

Das Ei war auf die Spitze eines Stahlturms montiert worden, an einer Stelle, die als Ground Zero bezeichnet wurde, einem Flecken in der Wüste, der seit der Zeit der spanischen Konquistadoren *Jornado Del Muerto* heißt: *Der Weg des toten Mannes*.

Selbst die Physiker, die das Ei konstruiert hatten, wußten nicht, was es anrichten würde.

In einer Wette vor dem Test hatte ROBERT OPPENHEIMER einen Dollar darauf gesetzt, daß die Explosion dem Äquivalent von 300 Tonnen TNT entsprechen würde – eine bescheidene Geste, die dem wissenschaftlichen Direktor des Experiments Ehre machte.

George Kistiakowsky setzte auf 1400 Tonnen, Hans Bethe auf 8000 Tonnen, I. Rabi auf 18.000 Tonnen und Edward Teller auf 45.000 Tonnen TNT.

Enrico Fermi bot eine Wette an, daß die Explosion die Atmosphäre entzünden würde. Das war eine Möglichkeit, die niemand völlig ausschließen konnte. »In diesem Fall«, hatte ein Physiker einige Jahre zuvor geschrieben,

»könnte der gesamte Wasserstoff der Erde zugleich transformiert werden, und der Erfolg des Experiments würde dem Universum großartig in Gestalt eines neuen Sterns verkündet.«

#

Es gab nur eine Möglichkeit, die Ungewißheit zu beenden. Am 16. Juli 1945 lauschten Teller, Bethe und andere in Jornada del Muerto dem Countdown über

Kurzwelle. Sie waren auf einem Hügel in etwa **32 Kilometern** Entfernung von Ground Zero stationiert. Es war fünf Uhr morgens Ortszeit und stockdunkel. Sie waren angewiesen worden, sich hinzulegen und die Gesichter im Sand zu verbergen. Aber Teller fühlte sich berufen (wie er Jahre später sagte), »der Bestie ins Auge zu blicken«. In der Finsternis rieb er sich mit Sonnenlotion ein, dann reichte er sie den anderen.

8 Kilometer von Ground Zero entfernt lagen Fermi, Rabi und Hunderte anderer Wissenschaftler, Techniker und Soldaten auf dem Boden, **die Füße in Richtung der Bombe ausgestreckt**. Um 5:29:35 Uhr begann jemand über Lautsprecher die letzten zehn Sekunden zu zählen. »Im Osten tauchte gerade das erste Gold der Sonne auf«, erinnerte sich Rabi in Richard Rhodes Buch über die Entstehung der Atombombe, »man konnte seinen Nachbarn ganz schwach erkennen. Diese zehn Sekunden waren die längsten, die ich je erlebt habe.«

Etwa 3 Kilometer von Ground Zero entfernt sagte Oppenheimer in einem Bunker: *»Mein Gott, solche Geschichten gehen einem ans Herz.«* Er atmete schwer und hielt sich an einem Pfosten aufrecht.

Der Blitz, der Jornada del Muerto erhellte, zeugte von der bis dahin größten Explosion der Geschichte, dem Äquivalent von 18.600 Tonnen TNT. Der Test war ein Erfolg. Innerhalb der nächsten drei Wochen fielen die Bomben auf Hiroshima und Nagasaki.

#

Wissenschaftler, die sich mit den zur Zeit in der Atmosphäre und Biosphäre vor sich gehenden Veränderungen befassen, müssen sich um ruhige und leidenschaftslose Objektivität bemühen. Sie müssen ihre Arbeit tun, als läge eine kosmische Distanz zwischen ihnen und dem Forschungsgegenstand, wenn sie der Gesellschaft unverfälschte Fakten zugänglich machen wollen.

Sie bevorzugen die wohlüberlegte Neutralität des Begriffs **»globale Veränderung«** gegenüber dem Begriff, den sie für derart gewaltige Ereignisse auch benutzen könnten: **»globale Katastrophe«**.

Sie sind sich zudem dessen bewusst, daß irgendwo in ihren Berechnungen ein Fehler stecken könnte (eine Möglichkeit, die auch beim Trinity-Versuch bis zur letzten Sekunde bestanden hatte). Jahrzehntlang haben sie befürchtet, zu früh Alarm zu schlagen. Nie würden sie ihre Beobachtungen mit denen der Physiker damals in der Wüste vergleichen.

240 / 241

Dennoch finden wir uns am Ausgang dieses beunruhigenden Jahrhunderts inmitten eines anderen Countdowns. Wieder sind Wissenschaftler aus der ganzen Welt zusammengekommen, wieder haben sie umfangreiche Berechnungen angestellt, und erneut sind sie sich über den Ausgang uneins: ob der Planet Erde bald heißer wird als in den letzten Tausenden, Zehntausenden, Hunderttausenden, Millionen oder Zehnmillionen von Jahren.

Diesmal gibt es keinen Ort namens Ground Zero. Jeder Kontinent ist Ground Zero; die Erde ist Ground Zero. Es gibt keinen bestimmten Augenblick der Zündung. Die Züandschnur wurde schon vor langer Zeit gelegt, obwohl wir es damals nicht wußten. Und es wird keinen bestimmten Augenblick geben, in dem wir das Ausmaß der Reaktion erfahren. Die Reaktion könnte sich über die nächsten tausend Jahre erstrecken.

#

Der Vergleich dieser Countdowns ist nicht übertrieben. Tatsächlich könnte man nur schwer sagen, welcher Test sich beim Vergleich als unerheblicher erwiese. John Maddox, der Herausgeber der Zeitschrift <Nature>, bemerkte, daß »die Vermeidung des Nuklearkrieges durch Rüstungskontrollen eine bedeutungslose Geste wäre, wenn nichts getan würde, um zu verhindern, daß die Eiskappen vollends schmelzen«.

Selbst wenn man die vorsichtigsten Prognosen zugrunde legt, stehen uns Klima- veränderungen bevor, die sich mit all denen messen können, die wir seit Beginn der Zivilisation erlebt haben. Der extremsten Einschätzung zufolge könnte sich die Erde am Anfang von Klimaumwälzungen und Massenausrottungen befinden, wie sie seit dem Ende des Dinosaurierzeitalters nicht mehr stattgefunden haben.

Wenn wir uns nicht durch die A-Bombe und die H-Bombe vernichten, könnten wir es durch die V-Bombe, die Veränderungsbombe, schaffen. Und in einer Welt, die so vernetzt ist wie die unsrige, könnte eine Explosion die nächste auslösen.

Schon erreicht der durch schwindende Wasservorräte und steigende Bevölkerungszahlen erzeugte Druck im Mittleren Osten, von Nordafrika bis zum Persischen Golf und vom Nil bis zum Euphrat das, was viele Experten als **Entzündungspunkt** bezeichnen.

Eine Klimaänderung in diesem von Kämpfen heimgesuchten Gebiet könnte als Auslöser internationaler Spannungen wirken und zum Einsatz eines Teils der 60.000* nuklearen Sprengköpfe führen, welche die Welt seit Trinity angesammelt

hat.

*(d-2013:) Die Zahl scheint hoch, aber sie stimmt für 1990. Vgl. bei wikipedia / Kernwaffe

241/242

Niemand behauptet, daß das Schlimmste geschehen wird. Es muß nicht soweit kommen, aber wir steuern die Welt durch Kohlenstoffladungen, die nur noch in Gigatonnen gemessen werden können, jedes Jahr in diese Richtung. Auf den Codenamen »**Trinity**« kam man durch ein Gedicht von John Donne (»Schlage, mein Herz, dreifaltiger Gott...«).

Wir haben keinen passenden Namen für ein Experiment, in dem eine planetare Sphäre die Stabilität aller sieben Sphären erprobt.

Ich habe diese geologische Umwälzung mit einem Vulkanausbruch verglichen, und mit **Atropos**, einer der drei griechischen Schicksalsgöttinnen, die den Lebensfaden abschneidet. Aber je mehr man das Ausmaß und die Unwägbarkeiten dieses Experiments erahnt, desto mehr erinnert es an Alamogordo.

In gewisser Hinsicht begann das Experiment schon Mitte des 18. Jahrhunderts mit Black, Watt und der Industriellen Revolution. Für einige Geowissenschaftler startete der Countdown im März 1958, als Keeling auf dem Mauna Loa anfang, Kohlendioxid zu messen. Für den größten Teil der Welt setzte er genau dreißig Jahre später mit dem ersten Hitzemonat des Sommers 1988 ein. In jenem Jahr geschah, was THOREAU einst in ganz anderer Stimmung und bei ganz anderem Wetter so beschrieb: »*Ich erwachte mit der Antwort auf eine Frage.*«

Wir verstehen jetzt, daß die Ungewißheiten groß bleiben werden. Es gibt nur eine Methode, sie auszuschalten, und das ist der Weg, den jene Physiker in der Wüste beschritten. Diese Physiker erhielten ihre Antwort in Sekunden, aber die Beantwortung unserer Frage wird Jahrtausende auf sich warten lassen, und wie in Jornado del Muerto wird es keine Umkehr geben, wenn uns die Antwort nicht gefällt.

Vielen Menschen auf der Welt scheint diese Methode, Ungewißheiten auszuschalten, heute nicht akzeptabel. Dies ist der furchteinflößendste Countdown, seit Oppenheimer in Alamagordo den Atem anhielt.

Nach dem Sommer 1988 lautet die einzig wichtige Frage: Was können wir tun, um das Experiment aufzuhalten? Nicht: Müssen wir uns Sorgen deswegen machen? Nicht: Wie schlimm wird es? Sondern: Was müssen wir tun?

#

In jenem Sommer begann die Welt mit dem Versuch, diese neue Frage zu beantworten. Eine Woche nach JAMES HANSENS dramatischer Aussage in Washington im Jahre 1988 trafen sich Delegierte aus fast fünfzig Ländern im kanadischen Toronto. Berühmte Klimaexperten unterhielten sich mit Staatsmännern, zu denen die Premierminister Brian Mulroney von Kanada und Gro Harlem Brundtland von Norwegen zählten, darüber, wie man die Temperaturen der Erde wieder unter Kontrolle bringen könnte. **Es war die erste internationale Konferenz über die Veränderung der Atmosphäre.**

242/243

Im Herbst jenes Jahres trafen sich erneut Delegierte in Genf in der Schweiz und bildeten einen internationalen Ausschuß für klimatische Veränderungen. Einige Teilnehmer repräsentierten Länder, die Löwenanteile an Treibhausgasen freisetzen — darunter die USA und die UdSSR, China und Brasilien. Andere kamen aus Ländern, die fast nichts zu diesem Problem beitragen, aber eine Menge zu verlieren haben, zum Beispiel die Malediven oder Malta. Gemeinsam begannen sie mit der Ausarbeitung eines globalen Aktionsplans, Land für Land.

In Anbetracht der gewaltigen politischen Schwierigkeiten, die einem solchen Plan im Wege stehen, hätten einige dieser Staaten versuchen können, die Diskussion über das Problem zu überziehen, bis die Weltöffentlichkeit das Interesse verlor.

Aber die vielen in rascher Folge stattfindenden internationalen Treffen machten der Welt die Größe der Gefahr bewußt. Wie die Chinesen sagen, beginnt auch eine tausend Meilen weite Reise dort, wo man steht. Der erste Schritt wurde getan.

Und er entfaltete **Eigendynamik**. Im Herbst 1988 waren mindestens fünfzehn internationale Konferenzen auf hoher Ebene wegen des Treibhauseffekts für das nächste Jahr anberaumt worden. Verhandlungen über Rüstungskontrollen machten 1988 beachtliche Fortschritte; plötzlich schien es nicht mehr ausgeschlossen, daß Kohlenstoffkontrollverhandlungen die Gespräche über Rüstungskontrolle in der Arena des diplomatischen Wanderzirkusses ergänzten oder sogar ersetzten.

In beiden Fällen sprechen wir vom globalen Überleben.

Ein Veteran des Umweltschutzgedankens, Michael Oppenheimer vom <Environmental Defense Fund>, schrieb: »*Man kann ohne Übertreibung sagen, die Umwelt könnte das wichtigste Thema der nächsten vierzig Jahre werden, so, wie der kalte*

Die planetare Aussicht stellt sich etwa wie folgt dar. In den nächsten hundert Jahren könnte das Fieber der Erde gemäß einer dieser drei Kurven steigen:

Einfache Grafik mit drei Kurven zum T-Anstieg (d2017)

Die steilste Kurve verdeutlicht, was geschehen könnte, wenn die Menschen die Erde mit weiter zunehmender Geschwindigkeit ausbeuten. Angenommen, wir blasen im nächsten Jahr mehr Kohlenstoff in die Luft als dieses Jahr. Angenommen, wir verfahren auch im übernächsten und im darauffolgenden Jahr so: eine immer schneller wachsende Menge an Treibhausgasen.

Und weiter angenommen, das Klima des Planeten erwiese sich als extrem empfindlich. Dann könnte sich die Temperatur der Erde im nächsten Jahrhundert um nicht weniger als sechzehn Grad Celsius erhöhen. Das würde geradewegs ins Inferno führen.

Angenommen, die Menschen blasen im nächsten Jahr und in allen Jahren des nächsten Jahrhunderts die gleiche Kohlenstoffmenge wie in diesem Jahr in die Luft. Das ist das Szenario der mittleren Kurve: <Alles wie gehabt>.*

*»Alles wie gehabt« bedeutet, daß ebenso viel Kohlendioxid wie im Augenblick aufsteigt. Allerdings gibt es auch Treibhausgase, die heute immer schneller aufsteigen, wie etwa Methan und Stickstoffoxyd. <Alles wie gehabt> bedeutet in diesen Fällen, daß sie wie bisher immer schneller aufsteigen.

Vorausgesetzt, wir folgen diesem Weg, und vorausgesetzt, unser Klima erweist sich als in nur bescheidenem Umfang sensibel, dann könnten die Temperaturen des Planeten um drei bis acht Grad ansteigen.

Niemand kann sagen, ob die Menschensphäre die Belastung einer Temperaturerhöhung um drei Grad aushalten würde.

Aber acht Grad wären vermutlich ebenso verheerend wie sechzehn Grad. Auch das wäre möglicherweise ein Weg ins Inferno.

Die niedrigste Kurve zeigt, was geschehen könnte, wenn wir kürzer treten. Angenommen, unsere Spezies bläst jedes Jahr weniger Kohlendioxid in die Luft

und reduziert den Verbrauch an Kohlenstoff auf zweieinhalb Gigatonnen im Jahr, das ist etwa die Hälfte dessen, was wir im Augenblick verbrauchen. Und weiter angenommen, wir haben eine Menge Glück, und das Klima der Erde stellt sich als verhältnismäßig widerstandsfähig und unempfindlich gegen diesen Mißbrauch heraus. Das Ergebnis könnte ein Ansteigen der Temperaturen um eineinhalb bis viereinhalb Grad in den nächsten hundert Jahren sein.

Natürlich wäre selbst ein Anstieg von eineinhalb Grad nichts Erfreuliches. Er wäre dreimal größer als der Temperaturanstieg, der die Hitzewellen und Dürren der achtziger Jahre erzeugt hat. Er hätte mit Sicherheit verheerende Folgen.

Die Differenz zwischen dem günstigsten und dem schlimmsten Fall liegt bei etwa vierzehn Grad. Für unsere Spezies und für Millionen anderer Arten bedeutet das den Unterschied zwischen Überleben und Aussterben.

244

Um den sichersten dieser Wege zu beschreiten, muß die Welt ihre Kohlenstoffproduktion drosseln. Jedes Jahr müssen wir ein bißchen weniger Kohlenstoff in die Luft blasen als im Vorjahr. Die Menschensphäre hat eine solche Reduzierung seit langer Zeit nicht erreicht.

Als das OPEC-Kartell eine internationale Energiekrise schuf, die 1973 mit dem Ölembargo begann, ging der Ölpreis in die Höhe. Innerhalb von zehn Jahren kletterte er von etwas über zehn Dollar auf fast vierzig Dollar pro Barrel. Die Folgen wurden nicht sofort sichtbar, weil unsere Welt des Gebens und Nehmens eine so starke Eigendynamik besitzt. Aber schließlich beeinflussten die Machenschaften dieses Kartells unser Verhalten wie eine geologische Macht. Wir reduzierten unseren Ölverbrauch so sehr, daß wir anfangen, die Gesamtmenge an Kohlenstoff, die wir alljährlich in die Luft bliesen, zu reduzieren. 1973, im Jahr des Embargos, verbrannten wir noch mehr Kohlenstoff als im Vorjahr.

Eine Aufstellung der verbrannten Kohlenstoffmenge im Verhältnis zum Vorjahr liest sich wie folgt:

- 1974: höher
- 1975: niedriger (zum ersten Mal seit dem Zweiten Weltkrieg)
- 1976: höher
- 1977: höher
- 1978: höher
- 1979: höher
- 1980: ein wenig niedriger
- 1981: niedriger

- 1982: niedriger
- 1983: niedriger

Es mag nicht nach viel aussehen, aber das Kartell schaffte etwas, das eine Weltwirtschaftskrise und zwei Weltkriege nicht fertiggebracht hatten. Vier aufeinanderfolgende Jahre lang verbrannte die Welt weniger Kohlenstoff als jeweils im Jahr zuvor. Der hohe Ölpreis zwang die Menschen auf der ganzen Welt, nach Methoden Ausschau zu halten, mehr Arbeit mit weniger Brennstoffverbrauch zu leisten. Die Industrie preßte mehr Wärme, Licht und Kilometer aus jedem Öltropfen. Die Menschen zu Hause taten das gleiche.

Im Gegensatz zur Weltwirtschaftskrise und den Weltkriegen war diese Periode nicht gänzlich unerfreulich. Es arbeiteten so viele Unternehmen effizienter, daß die Wirtschaft trotz verminderter Kohlenstoffverbrennung gedieh. So wuchs die US-Wirtschaft um fast vierzig Prozent und produzierte immer mehr Güter und Dienstleistungen mit immer weniger Öl. Tatsächlich sparen die USA dank neuer Energiespargesetze heute schätzungsweise hundertsechzig Milliarden Dollar in einem auf jährlich vierhundertdreißig Milliarden Dollar veranschlagten Energieetat.

245

In Japan wurden sogar noch mehr Sparvorschriften erlassen als in den USA oder Westeuropa. Das verschaffte diesem Land eine Art Geheimwaffe auf dem Weltmarkt. Die Produktion von Waren kostet in Japan weniger, weil die Japaner weniger Öl und Kohle verbrauchen, um sie herzustellen. Einem amerikanischen Analytiker zufolge verhalf allein dieser Faktor Japan zu »einem etwa fünfprozentigen Vorteil auf alles, was dieses Land verkauft«.

Der Ölpreis begann in den frühen achtziger Jahren wieder zu fallen, und gegen Ende des Jahrzehnts verbrannten wir erneut jedes Jahr mehr Kohlenstoff als jeweils im Vorjahr. (»Wir haben uns erholt«, bemerkt ein Klimaforscher mit bitterem Lachen.) Aber diese Folge von vier Jahren ist ein ermutigendes Zeichen. Wenn die Welt ebenso auf die globale Erwärmung reagiert, wie sie auf die OPEC reagierte, können wir das Schlimmste vermeiden.

Experten weisen darauf hin, daß sich weitere Schritte zur Sparsamkeit auch abgesehen von der drohenden Erwärmung auszahlen würden. Analytiker vom Worldwatch Institute und anderen Umweltschutzgruppen meinen, Amerika könnte ohne große Opfer seinen Energieverbrauch und die Kohlendioxidemission um jeweils weitere fünfzig Prozent drosseln und zweihundert Milliarden Dollar pro Jahr einsparen.

Amerikanische Autos zum Beispiel blasen Gigatonnen Kohlenstoff in die Atmosphäre. Und doch ist der Benzinpreis verglichen mit anderen industriellen Energiequellen skandalös niedrig. Ein so niedriger Benzinpreis stellt geradezu eine Ermutigung dar, zu verschwenden und den Treibhauseffekt anzuschüren.

[Der Treibstoffverbrauch pro Kilometer in den USA ist ein weiterer Skandal.](#)

1975, während der Ölkrise, gab die US-Regierung den Autoherstellern zehn Jahre, um die Laufleistung ihrer Autos von umgerechnet knapp sechs Kilometern pro Liter auf knapp zwölf Kilometer pro Liter zu erhöhen. Als die Ölpreise in den achtziger Jahren sanken, senkte auch die Regierung die Norm wieder. Transportexperten der Umweltschutzbehörden behaupten, diese Forderung müsse vernünftigerweise auf knapp siebzehn Kilometer pro Liter erhöht werden. Bis es soweit ist, drehen wir den Thermostat des Planeten jedesmal höher, wenn wir den Zündschlüssel eines Autos herumdrehen.

Auch in geschlossenen Räumen sind Verbesserungen möglich. Während der Energiekrise erklärte Präsident Jimmy Carter der Verschwendung von Energie »[das moralische Äquivalent eines Kriegs](#)«.

246

Teil dieses Kriegs war ein Programm, das einen starken steuerlichen Ansporn zur Verbesserung der häuslichen Wärmeisolierung vorsah. Das Programm bewährte sich: Es kam Hausbesitzern, der Atmosphäre, dem Klima und dem Bruttosozialprodukt zugute. Die EPA empfiehlt, dieses Programm jetzt wiederzubeleben und den häuslichen Brennstoffverbrauch gegenüber 1980 zu halbieren.

Die Kühlschränke verbrauchen in einem durchschnittlichen amerikanischen Haushalt den meisten elektrischen Strom, und sie könnten weit effizienter konstruiert werden. Der typische japanische Kühlschrank verbraucht nur halb so viel Strom wie ein amerikanischer. (Er ist außerdem nicht so groß. Der typische amerikanische Kühlschrank würde für ein kleines Restaurant ausreichen.)

Der Austausch aller alten Leuchtstoffröhren durch einen kälteren und effizienteren Typ (der bereits im Handel erhältlich ist) könnte der Nation alle zwanzig Jahre ein großes Ölfeld ersparen. Röhren auszutauschen ist einfacher als Öl in Alaska zu pumpen.

Es gibt neuartige Fenster, die dem Treibhauseffekt einen Trick abgeguckt haben. Wissenschaftler am National Lightning Laboratory in Berkeley, Kalifornien, beschichten eine Oberfläche doppelt- oder dreifachverglaster Fenster mit Zinnoxid. Diese Beschichtung läßt sichtbares Licht durch, reflektiert aber

Infrarotlicht in den Raum zurück. Wenn man derart behandeltes Glas berührt, fühlt es sich so warm wie die Wand an.

Dieselben Maßnahmen empfehlen sich auch für die übrige Welt. Brasilien zum Beispiel plant, etwa hundert neue Wasserkraftwerke zu bauen, hauptsächlich, um großflächige Städte wie São Paulo und Rio de Janeiro mit elektrischem Strom zu versorgen. Nicht weniger als siebzig dieser neuen Dämme sollen im Amazonasbecken errichtet werden. Dort sind, weil das Terrain flach und der Wasserzufluß träge ist, in der Vergangenheit riesige Gebiete zur Erzeugung kleiner Strommengen überflutet worden. Der Balbina-Damm setzte etwa 233.000 Hektar Regenwald unter Wasser, um rund die Hälfte des elektrischen Stroms zu erzeugen, den die Stadt Manaus verbraucht.

Manchmal, so beobachtet Jessica Tuchman Matthews am <World Resources Institute>, »ist Armut eine ebenso wichtige Ursache von Energieverschwendung wie Reichtum«. Wenn Brasilien vier Milliarden Dollar in effizientere Kühlschränke, Beleuchtung und Motoren investieren würde, könnte es genug Energie einsparen, um einundzwanzig große neue Stromkraftwerke zu ersetzen. Außerdem müßte es von heute an bis ins Jahr 2000 gerechnet neunzehn Milliarden Dollar weniger ausgeben.

Allerdings wird die brasilianische Bevölkerung in den nächsten zwei Jahrzehnten vermutlich von rund sechzig Millionen Menschen auf mehr als zweihundert Millionen anwachsen. Diese Aussicht setzt die Regierungsplaner unter starken Druck, und sie bestehen auf neuen Dämmen.

247

Dieser Druck macht die Aufgabe des Einsparens nicht nur in Brasilien schwieriger und schmerzlicher. Viele verzagen angesichts all der moralischen, politischen und religiösen Probleme, die uns erwarten. Jedes Jahr gibt es weitere achtzig Millionen Menschen auf dem Planeten; alle zehn Jahre ein neues Indien.

Die Demographie gehört zu den verlässlichsten Wissenschaften der Zukunftsforschung, und die Demographen erwarten, daß sich die Größe der Menschensphäre in den nächsten hundert Jahren verdoppelt.

Wenn sich keine globale Katastrophe ereignet (eine Möglichkeit, die außerhalb des Gesichtskreises der Demographie liegt), wird der Planet Erde irgendwann im nächsten Jahrhundert – sagen wir, vorsichtig geschätzt, um das Jahr 2099 – mehr als zehn Milliarden Menschen um die Sonne tragen.

Den Demographen zufolge werden bis dahin mindestens acht Milliarden

Menschen an Orten leben, die schon jetzt Mühe haben, ihre Bevölkerung zu ernähren. Tatsächlich wird sich die Bevölkerung der ärmsten Länder der Erde — der Länder mit der schlechtesten Ernährung, den schlechtesten Wohnungen und der unsichersten Lage — schon in den nächsten fünfunddreißig Jahren verdoppeln.

In Asien schließt diese Liste Bangladesch, Pakistan, die Philippinen und Vietnam ein. Im Mittleren Osten Ägypten, Jordanien und Syrien. In Lateinamerika kommen Nicaragua, Guatemala, El Salvador und Honduras in Frage. In Südamerika Ecuador und Paraguay. Von den karibischen Inseln Haiti. In Afrika ist die Hälfte der Bevölkerung unter fünfzehn Jahre alt. Weil so viele Afrikaner gerade das Alter erreichen, in dem sie Kinder bekommen können, wird sich die Bevölkerung dieses Kontinents — des ärmsten der Welt — bis zum Jahr 2020 mehr als verdoppeln.

Um es nochmals zu betonen, Kriege, Hungersnöte, Seuchen oder globale Katastrophen sind in den Voraussagen der Demographen nicht berücksichtigt. Setzt man die Sensitivität der Sphären voraus, scheint es sinnvoll, von zehn Milliarden Menschen im Konditional zu sprechen. Denn lange bevor die Bevölkerung zehn Milliarden erreicht hätte, würden fast alle Menschen am Rande des Existenzminimums leben. Wäre der Planet so überfüllt, würden selbst Erdbeben gefährlicher. Natürlich rufen mehr Menschen nicht mehr Erdbeben hervor. Die Lithosphäre werden wir auch dann nicht beeinflussen. Aber die Bevölkerungsexplosion wird einen überraschenden Effekt auf die Anzahl der Gefährdeten haben.

248

Roger Bilham, ein Geologe an der Universität von Colorado, bemerkte, daß um das Jahr 2000 hundert Städte von mehr als zwei Millionen Menschen bewohnt sein werden und daß durch reinen Zufall fast die Hälfte dieser Städte an Orten liegen, an denen sich bewegende Platten der Lithosphäre erdbebengefährdete Gebiete schaffen. »Es sieht so aus«, warnte Bilham 1988, »als würden in zwölf Jahren zweihundertneunzig Millionen Bewohner von <Superstädten>, von denen achtzig Prozent in Entwicklungsländern liegen, in seismischen Risikogebieten leben.«

In der Tat versammeln sich so viele Menschen entlang der Verwerfungslinien des Planeten, daß sich die Anzahl derer, die Gefahr laufen, bei einem Erdbeben zu sterben, bis zum Jahr 2035 verdoppelt haben wird. (Es ist ein verhängnisvolles Zusammentreffen, daß sich Druck und Reibung in der Menschensphäre und in der Lithosphäre an so vielen Orten zugleich aufbauen.)

Noch größere Gefahren werden von Luftveränderungen ausgehen. Je mehr wir werden, desto stärker verändern wir die Atmosphäre. Diese Lektion kann man an

den Eiskappen der Pole lernen. Vergleichen Sie den Anstieg der menschlichen Bevölkerung, wie er von den Demographen aufgezeichnet wird, mit der Zunahme des Methans, wie sie vom polaren Eis aufgezeichnet wird. Die beiden Kurven haben sich sechshundert Jahre lang parallel entwickelt, seit den ersten Jahren der Renaissance. Die durchgezogene Linie repräsentiert die Menschen, die Punkte stehen für Methan:

Wieso ist die Anzahl der Menschen auf dem Erdboden und die Anzahl der Methanmoleküle in der Luft parallel explodiert? Weil Menschen auf so viele verschiedene Arten Methan durch Störungen der Biosphäre erzeugen. Jedes neue Reisfeld in China, jeder gefällte Baum in England, jede wiederkäuende Kuh oder Ziege in Indien, jede Müllhalde in Mexiko und jede leckende Naturgasleitung in Texas erzeugt Methan.

Methan ist ein fast so universelles Nebenprodukt des Fortschritts wie Kohlendioxid. Menschen haben einen Methaneneffekt, und Methan hat einen Treibhauseffekt. Somit haben Menschen einen Treibhauseffekt.

249

Wenn sich unsere Anzahl weiterhin ständig vergrößert, werden die Treibhausgase folgen, und die Temperaturen des Planeten tun es ihnen gleich. Ganz zu schweigen von der Zahl der ans Meer verlorenen Tonnen Mutterbodens, der Zahl der an die Wüste verlorenen Hektar fruchtbaren Landes und der Zahl der für immer verlorenen Arten. Wenn wir den Druck, den wir auf den Planeten ausüben, schon jetzt nicht mildern können, woher nehmen wir dann die Gewißheit, daß eine größere Anzahl von uns es schaffen wird? Können wir die Veränderungsbombe entschärfen, wenn die Anzahl der Menschen explodiert? Können wir unsere Kohlenstoffproduktion halbieren, während sich die Größe der Menschensphäre verdoppelt?

Denken Sie an die USA, die bereits die phantastischste Bevölkerungsexplosion der menschlichen Geschichte erlebt haben, von achtzehn Millionen im Jahr 1750 auf zweihundertfünfzig Millionen heute, eine Zunahme von dreitausendfünfhundert Prozent. Die Bevölkerung der USA wird in den nächsten hundert Jahren auf fast dreihundert Millionen anwachsen. Und unter Beibehaltung der gegenwärtigen Rate wird natürlich jeder Bürger etwa fünf Tonnen Kohlenstoff in die Luft schaufeln.

Einige amerikanische Ökonomen sehen das Bevölkerungswachstum der USA als beunruhigend langsam an. Aber dreihundert Millionen Menschen würden unter Beibehaltung der heutigen Ausbeutungsrate der Ressourcen etwa eineinhalb

Milliarden Tonnen Kohlenstoff im Jahr erzeugen. Das bedeutet, daß die Vereinigten Staaten in hundert Jahren allein mehr als die Hälfte der jährlichen Gesamtquote an Treibhausgas produzieren würden.

Es muß etwas geschehen; die Welt kann sich nicht derart viele Konsumenten leisten. Dieses Problem ist nicht nur schwierig, in vielen Ländern ist es auch ein politisches Tabu.

Stellen wir uns ihm nicht, können wir die Kohlenstoffexplosion in die Luft über unseren Köpfen nicht verhindern.

Manche Leute bezeichnen Familienplanung als unnatürlich. Sicherlich sind auch die Zündfaktoren der Bevölkerungsexplosion unnatürlich, wie HARRISON BROWN 1954 in einem Buch über die Zukunft der Menschheit aufzeigte. (Die damalige Weltbevölkerung betrug 2,6 Milliarden Menschen.)

»Wer darauf beharrt, daß keine Empfängniskontrolle angewandt werden sollte, weil sie unnatürlich ist«, schrieb Brown, »wäre weit überzeugender, wenn er zugleich Verzicht auf alle Kleidung, Antiseptika, Antibiotika, Schutzimpfungen und Krankenhäuser im Verein mit allen künstlichen Methoden, die dem Menschen erlauben, dem Boden mehr Nahrung abzugewinnen, fordern würde.«

250

Entweder verlangsamen wir unsere Vermehrung durch Regelung unserer Geburtenrate, oder die übrigen Sphären der Erde übernehmen die Kontrolle über unsere Sphäre, indem sie unsere Todesraten regulieren. Denken Sie an die Bevölkerungen Bangladeschs und der Malediven. Beide werden sich innerhalb von etwa dreißig Jahren verdoppeln. Wenn sich der Meeresspiegel, wie in einigen Modellen vorhergesagt, hebt, könnten diese Länder Land verlieren. Vor Ende des nächsten Jahrhunderts könnten Millionen Menschen ertrinken oder gezwungen sein, Bangladesch zu verlassen, und die rund zweitausend kleinen Atolle der Malediven könnten von der Landkarte verschwunden sein. (Der Präsident der Malediven nennt seine Atolle »eine gefährdete Nation«.)

Wo ein Wille ist, ist auch ein Weg. Es ist erstaunlich, was ein Land zu leisten vermag. Japan hat die Zuwachsrate seiner Bevölkerung im Zeitraum von etwa fünf Jahren halbiert — in der ersten Hälfte der fünfziger Jahre. China tat dasselbe in der ersten Hälfte der siebziger Jahre. Diese beiden Nationen sind sehr verschieden, und sie haben unterschiedliche Methoden angewandt, aber beide sind dichtbevölkert, und beide erreichten ihr Ziel. Wenn die Menschensphäre ihre Kohlenstoffproduktion reduzieren will, wird sie tun müssen, was China und Japan

mit jeweils ihrem Land angemessenen Methoden getan haben.

Niemand weiß, ob wir diesen Weg gehen werden, aber wir haben gewiß keine annehmbaren Alternativen. **Lester Brown**, Direktor des <Worldwatch Institute>, schreibt: »Man kann sich nicht leicht etwas Schwereres vorstellen... außer den Folgen, die sich einstellen würden, wenn wir es nicht täten.«

Es gibt eine Standardillustration in Artikeln über den Treibhauseffekt: Die im steigenden Meer versunkene Freiheitsstatue, die nur noch ihre Fackel über Wasser hält. Dieses Symbol globaler Vorhersagen ist eine künstlerische Übertreibung. Das Meer müßte um neunzig Meter ansteigen, um Miss Libertys Fackel zu löschen.

Und doch könnte das Bild passender sein, als wir ahnen. Das Meer müßte nur um dreißig Zentimeter steigen, um eine Flut von Flüchtlingen aus aller Welt zu erzeugen. Lange bevor diese Fluten die Knöchel der Freiheitsstatue benetzten, hätten sie ihr traditionelles, den Erschöpften und den Armen geltendes Willkommen überschwemmt.

Wenn der Ozean Bangladesch verschlingt und zum Nil steigt, wohin werden die Flüchtlinge sich wenden? Wer wird sie aufnehmen? In den achtziger Jahren stieg die Zahl der Flüchtlinge in der Welt von weniger als fünf Millionen auf mehr als vierzehn Millionen an. Die meisten glücklicheren Nationen schlossen ihre Tore vor ihnen, darunter auch die Vereinigten Staaten, deren Vertreter von »Erschöpfung des Mitleids« sprachen. Ein wärmerer Planet muß nicht unbedingt auch eine wärmere Welt sein.

251

Angenommen, unsere Spezies gewänne morgen den Hauptgewinn der Lotterie. Angenommen, wir finden einen Trick, der uns gewaltige Mengen Energie fast ohne Abfall beschert. Auch dann sind wir noch mindestens fünfzig Jahre lang auf Katastrophenprogramme angewiesen.

Die Geschichte hat gezeigt, daß die Umstellung von einer Energiequelle auf eine andere ungefähr fünfzig Jahre beansprucht. Es dauerte fast so lang, bis wir uns von Holz auf Kohle und von Kohle auf Öl umgestellt hatten, und es würde vermutlich auch so lange dauern, bis (zum Beispiel) die Kernfusion das Laborstadium hinter sich hätte und den ersten Platz im Weltenergienetz einnehmen könnte.

Die Geschichte war wunderbaren neuen Techniken gegenüber nicht wohlwollend, die eine abfallfreie Energie versprochen. Das Automobil wurde um die Jahrhundertwende als Retter der Städte gefeiert, weil es der Verschmutzung durch

Pferdeäpfel ein Ende bereitete. Die Kernkraft wurde Mitte des Jahrhunderts als das Ende aller möglichen Arten von Verschmutzung begrüßt.

Die geradlinige Arithmetik von Energie und Bevölkerung würde auf eine weltweite Anwendung jeder Technik zutreffen, selbst auf jene Techniken, die in der Imagination unserer Futuristen von utopischem Glanz verklärt sind: Kernfusion, Solarenergie oder Laser, die Energie von Satelliten im All auf die Erde strahlen. Zehn Milliarden Menschen, die nach amerikanischem Muster leben, würden immer zuviel Abfall erzeugen. Nichts wird dem Planeten je so viel ersparen wie eine Kontrolle unserer eigenen Anzahl.

Und doch besitzen einige Energiequellen einen geringeren Treibhauseffekt als andere. Sonnenkraft, Windkraft, Wasserkraft und die geothermale Kraft produzieren kein Kohlendioxid.

Naturgas gibt weniger Kohlenstoff in die Luft ab als Öl oder Kohle. Vegetation kann in Methanol oder Holzalkohol umgewandelt und in einem modifizierten Dieselmotor verbrannt werden und produziert dabei weniger Kohlendioxid und weniger Ozon als Naturgas. Allerdings erzeugen alternative Energiequellen oft auch alternative Probleme. Zu den Nebenprodukten des Methanols gehört Formaldehyd, das in kleinen Dosen Krebs verursacht, in großen Mengen Leichen konserviert. Also würde die Umstellung auf Methanol verlangen, daß man das Formaldehyd in einem katalytischen Konverter auffängt.

252

Kernkraftwerke produzieren kein Kohlendioxid, aber Abfallprodukte anderer Art, zum Beispiel Plutonium-, Strontium-, Cäsium- und Uranisotope. Ihre Radioaktivität zerfällt und verschwindet etwa zehntausend Jahre lang nicht — ungefähr so lange, wie unser Kohlendioxid in der Atmosphäre verbleibt.

Bisher war ebensowenig jemand in der Lage, das Problem der radioaktiven Abfälle zu lösen wie das des Kohlendioxids. Man kann Plutonium nicht einfach in die Mülltonne werfen — schon ein Millionstel Gramm davon erzeugt Lungenkrebs. Diese Abfallprodukte stapeln sich in Amerika in provisorischen »Kühlbecken« nahe der Reaktoren, wo sie sich seit den Anfängen des nuklearen Zeitalters anhäufen. Die Kühlbecken sind überfüllt, und bei vielen von ihnen besteht die Gefahr, daß sie »heiß« werden. Die Kernkraftindustrie steckt mitten in der größten Abfallkrise der Geschichte (oder der zweitgrößten, wenn man das Kohlendioxid mitzählt).

Die einzige Lagerstätte, die geologisch gesehen sicher genug, aber politisch gesehen zu unsicher sein könnte, um als nationales Depot der USA für diese

nuklearen Abfälle zu dienen, ist der Berg Yucca im Staat Nevada (Bevölkerung: eine halbe Million Menschen, von denen viele aufgebracht sind).^{*} Dort könnte der gesammelte Atommüll in insgesamt hundertachtzig Kilometer langen unterirdischen Stollen gelagert werden, einem Labyrinth, das fast so groß wie das U-Bahn-Netz von New York City ist. Vom Standpunkt des Kongresses aus stellt sich dies als Ideallösung dar, weil sich der Yucca auf einem ehemaligen Kernwaffentestgelände erhebt, einem Stück Erde, das bereits abgeschrieben ist.

Die amerikanische Regierung steht unter enormem Druck, eine Mülltonne zu finden, und es scheint heute fast sicher, daß der Berg Yucca das offizielle Gütesiegel Washingtons erhält. In zehn Jahren wird dieses Siegel fest angebracht, Zweifel werden unterdrückt und das Lagergut in Marsch gesetzt worden sein.

Immerhin haben in den späten achtziger Jahren siebzehn der Wissenschaftler und Ingenieure des staatlichen geologischen Dienstes die mit der Bewertung des Yucca beauftragt worden waren, einen offiziellen Protestbrief unterzeichnet und an das Energieministerium geschickt. Sie behaupteten darin, politischer Druck habe dazu geführt, daß ihr Bericht »wissenschaftlich nicht vertretbar« sei. Ein Hydrologe der Regierung sagte zu einem Reporter des Magazins <Discover>: »Ich habe den geologischen Dienst nie zuvor in einer solchen Klemme erlebt.«

* Grant Sawyer, Vorsitzender der Kommission Nevadas für radioaktiven Abfall und Exgouverneur, sagte, radioaktiven Abfall zu erzeugen sei so, »als schicke man John Glenn in den Orbit, ohne sich Gedanken darüber zu machen, wie man ihn wieder zurück auf die Erde bekommt«.

253

Folgende Tatsachen werden vermutlich in den nächsten zehn Jahren vergessen: Der Yucca ist von Verwerfungen wie der Solitario-Canyon-Verwerfung umgeben. Es hat dort seit 1857 in einem Umkreis von vierhundert Kilometern acht größere Erdbeben gegeben. Niemand kann garantieren, daß der Berg nicht dasselbe Schicksal erleidet wie sein geborstener acht Kilometer entfernter Nachbar Busted Butte. Der Ort liegt außerdem in einem Vulkangebiet. Einige der Vulkane sind jung und könnten noch tätig werden. 1988 wurde einer von ihnen, der knapp zwanzig Kilometer vom Yucca entfernte Lathrop Wells, von einem Regierungsgeologen auf ein Alter von erst rund fünftausend Jahren geschätzt. Die Geologen sagen: **Was geschehen ist, kann wieder geschehen.**

Im Laufe der Zeit könnten Vulkanausbrüche oder Erdbeben den Inhalt dieser besonderen Mülltonne ins Freie schleudern. Ist der Müll noch heiß, haben wir der Zukunft 63.500 Tonnen radioaktives Material in den Schoß gekippt.

Bei Fortsetzung des Experiments mit der Atmosphäre kann geschehen, was noch niemals geschah. Von den Wissenschaftlern, die den Yucca erforschen, wird erwartet, daß sie das wahrscheinliche Wetter der nächsten zehntausend Jahre berücksichtigen. Im Augenblick fallen auf die Wüste jährlich nur siebeneinhalb bis fünfzehn Zentimeter Regen, und das ist gut so, denn wenn zuviel Regen in den Untergrund sickert, könnten die Abfälle schließlich ins Grundwasser gelangen. Oder das Grundwasser könnte steigen und sich den Abfällen von unten her nähern. In Anbetracht der Unvorhersehbarkeit des Klimas der nächsten Jahrhunderte sollte niemand auf eine zehntausend Jahre lang gültige Vorhersage setzen, selbst dann nicht, wenn seine Heimat Las Vegas ist.

Nichts hiervon ist der Fehler der Geologen. Da so große Teile der Erde untereinander verbunden sind, dürfte es der menschlichen Erfindungsgabe schwerfallen, je eine riesige hermetisch abgeschlossene Öko-Sphäre mit einer garantierten Lebensdauer von zehntausend Jahren herzustellen. Die Natur haßt Vakuen, und auf lange Sicht haßt die Natur auch Öko-Sphären. Vertreter des Energieministeriums hatten während der Prüfung des Yucca geplant, flüssige radioaktive Abfälle aus militärischen Reaktoren in tiefen Salzhöhlen in der Nähe von Carlsbad, New Mexico, zu lagern. Die Berichte der Regierungsgeologen sagten den Höhlen eine lange Lebensdauer voraus.

254

Kurz bevor die Vertreter des Ministeriums ihr Vorhaben durchführen wollten, entdeckten sie zu ihrer Bestürzung, daß die Salzwände der Höhlen tropften und die Tonnen mit heißem Müll letztlich in Tümpeln aus korrodierender Salzlauge stehen würden. Über einem Tunnelleingang am Yucca ist eine Tafel angebracht:

**"Wir kennen keinen Ersatz für Sicherheit
Tunnel-G-Komplex"**

Die Tafel könnte auch so gelesen werden: Wir kennen keinen Ersatz für den Yucca Mountain. Solange es immer mehr Menschen auf dem Planeten gibt, die immer mehr Energie verbrauchen, werden wir zu Risiken gezwungen sein. Darum sollten wir prinzipiell Alternativen ablehnen, die diese Risiken erhöhen. Für ersparte Energie bezahlen wir nichts. Für verbrauchte Energie, sei sie aus fossilen oder nuklearen Brennstoffen gewonnen, bezahlen wir einen Preis, der letztlich nicht kalkulierbar ist.

1976 ersann der Physiker Freeman Dyson eine Methode, das Treibhausproblem zu lösen. Er verbrachte den Sommer am Institut für Energieanalyse in Oak Ridge, Tennessee, wohin er eingeladen worden war, um große Gedanken zu denken. Dyson und mehrere andere Wissenschaftler stellten sich die Frage: »Was wäre nötig, um jährlich fünf Milliarden Tonnen Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu entfernen, und das für einen Zeitraum, der ausreicht, die Gesellschaft einen Ausweg aus der Abhängigkeit von fossilem Brennstoff finden zu lassen?« Sie kamen zu dem Schluß, die einfachste Methode sei das Pflanzen von Bäumen.

Bäume nehmen im Zuge der Photosynthese Kohlendioxid als Teil der Atmung der Welt aus der Luft. Pflanze eine Eiche, und du entfernst Kohlenstoff aus der Luft und hältst ihn für hundert Jahre fest am Boden.* Nach Berechnungen, die den ganzen Sommer beanspruchten, kam Dyson zu dem Schluß: »Es scheint kein Gesetz der Physik oder der Ökologie zu geben, das uns daran hindert, etwas zu unternehmen, um die Zunahme des atmosphärischen CO₂ innerhalb weniger Jahre umzukehren, wenn es sich als nötig erweisen sollte.«

* Etwas Derartiges könnte geschehen sein, als die ersten Pflanzen das Land eroberten. Es führte zu einem plötzlichen Abfall des Kohlendioxidgehalts und so zu einer der ersten Eiszeiten der Welt.

255

Zehn Jahre später baten Vertreter des Energieministeriums Gregg Marland, einen der früheren Kollegen Dysons an dem Institut in Oak Ridge, diese Vorstellung zu überprüfen. Marlands Berechnungen haben zwei Seiten. Einerseits geben sie zu gewissen Hoffnungen Anlaß, andererseits verdeutlichen sie die Größe des Kohlendioxidproblems. Seit Einführung des Ackerbaus vor rund zehntausend Jahren haben die Menschen insgesamt ein Waldgebiet von der Größe Australiens gerodet und den gesamten Waldbestand der Erde um fünfzehn bis zwanzig Prozent vermindert. (»Das ist die Menge Wald, die überall in der Welt gefällt wurde, seit die Leute nackt rumliefen«, sagt Marland.)

Das ist zugleich die Menge Land, die wir mit Bäumen bepflanzen müßten, um das Kohlendioxid aufzufangen, das jährlich durch Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzt wird. »Wenn sie das ganze CO₂ auffangen wollen, wäre so viel nötig«, erklärt Marland. »Es steht fest, daß wir wirklich jeden Baum neu pflanzen müßten, der je geschlagen wurde.«

Um die Kohlenstoffmenge auszugleichen, die ein Amerikaner pro Jahr in die Luft bläst, wären nach Marlands Berechnungen viertausendfünfhundert Bäume nötig.

»Es müssen schnell wachsende Bäume sein, etwa Platanen. Nicht einfach Tannenbäume in Ihrem Garten. Und Sie müssen dranbleiben und das Unkraut rupfen und die Schädlinge töten. Neuntausend Bäume, wenn Sie verheiratet sind. Achtzehntausend für eine Familie mit zwei Kindern. Und irgendwann müssen Sie alles fällen, in Stücke sägen und in Ihrer Garage stapeln.« (Wenn das Holz verbrennen oder verrotten würde, ginge das Kohlendioxid geradewegs wieder in die Luft zurück.) »Oder Sie können es auch einbuddeln«, fügt Marland hilfreich hinzu. »Ich nenne es meine Chicago-Lösung: Steck die Wurzeln in Zement und versenk sie in der Bucht.«

Nachdem er einen Tag mit solchen Berechnungen verbracht hat, fährt Marland nach Hause und ist von den Veränderungen beeindruckt, die wir in der Atmosphäre hervorrufen. »Es hat mich gepackt«, sagt er. »Ich biege bei Knoxville auf die Autobahn ab und sehe Unmengen Autos, die wir Idioten fahren. Wir haben uns wirklich einen großen Stil angewöhnt.«

Natürlich, räumt Marland ein, sprechen wir nur über den Ausgleich der Emissionen durch amerikanische Bürger. Weltweit ist das Bild wenigstens etwas ermutigender, und es errechnen sich tausend Bäume pro Person. Das heißt, wenn jeder Mensch auf der Welt in jedem Jahr des nächsten Jahrzehnts hundert schnell wachsende Bäume pflanzte und pflegte, würde das Kohlendioxid aufhören, sich in der Atmosphäre anzusammeln.

256

Weitere Berechnungen zeigen, daß selbst lokale Anstrengungen etwas bewirken können. Zum Beispiel nehmen Stadtbäume nicht nur Kohlendioxid aus der Luft, sondern verhindern außerdem, daß Kohlenstoff in die Luft gelangt, weil die Klimaanlage in ihrem Schatten früher oder später ausgeschaltet werden. Daher sind alle Bäume gleich, aber einige Bäume sind gleicher als die anderen. Ein Baum, der in Brooklyn wächst, kann zehnmal mehr Kohlendioxid aus der Luft entfernen als einer in Brasilien.

In einem neueren Versuch pflanzten die Bewohner eines kleinen Gebiets von Los Angeles je drei Bäume um ihre Häuser. Außerdem strichen sie die Außenmauern ihrer Häuser weiß oder in Pastellfarben (eine alte Form der Klimaregulierung, die schon den frühen Bewohnern mediterraner Dörfer vertraut war). Der Bedarf an Klimaanlage ging um fast fünfzig Prozent zurück.

Heute an den Hauptstraßen unserer Städte gepflanzte Ahornbäume könnten immer mehr Schatten in den zunehmend heißeren Sommern der nächsten Jahrzehnte bieten. Pflanzen die Menschen keine Bäume an, brauchen sie garantiert immer mehr elektrische Energie, wenn die Sommer heißer werden; und mit jeder

Hitzewelle gelangt mehr Kohlendioxid in die Luft. Im Sommer 1988 zum Beispiel waren in den Vereinigten Staaten die Stromnetze fast überfordert. Diese Tatsache wurde umgehend dazu benutzt, den Bau oder die Fertigstellung neuer Kohle- und Kernkraftwerke zu rechtfertigen. »Es ist eine Spirale«, sagt Michael Oppenheimer. »Niemand weiß, wann sie außer Kontrolle gerät.« Bäume zu pflanzen wäre eine Möglichkeit, die Spirale zu kontrollieren.

Bevor die Stadtplaner zu dem Ergebnis kommen, ein neues Kraftwerk zu benötigen, sollten sie prüfen, ob nicht das Pflanzen von Bäumen und Programme für effizientere Energieausnutzung die gleiche Energiemenge einsparen könnten, die das Kraftwerk erzeugte. Die von dem engagierten Paar Andy und Katie Lipkis angeführte Freiwilligenorganisation Treepeople in Los Angeles beabsichtigt, innerhalb der nächsten Jahre mehrere Millionen Bäume in der Stadt anzupflanzen. Und die American Forestry Association versucht, hundert Millionen Bäume in großen und kleinen Städten im ganzen Land anzupflanzen. Diese logische Vorgehensweise empfiehlt sich in allen heißen Städten der Welt. Wie der Koran sagt: »Pflanze auch am Vorabend des Weltendes noch einen Baum.«

Nach derselben Logik sollten wir auch Bäume stehen lassen. In den nächsten hundert Jahren könnte jeder Baum Schutz vor dem Sturm bieten. Bäume sind die optimale Bindungsstrategie. Sie binden den Mutterboden, die Tierwelt, das Wasser in hügeligen Gegenden und die Wolken in den Regenwäldern. Sie halten die Luft rein und den Sommer kühl, und sie binden Kohlendioxid.

257

In New England nahm der Wald im 20. Jahrhundert nach Aufgabe der alten Yankee-Farmen um fast vierzig Prozent zu. In den südöstlichen USA und in der UdSSR nimmt der Waldbestand ebenfalls zu. Aber im globalen Durchschnitt blasen das Roden der Wälder und das Verbrennen von Holz kurz vor Eintritt ins dritte Jahrtausend mehr Kohlendioxid in die Luft als zu irgendeiner Zeit nach dem Neolithikum.

Diese Entwaldung geschieht nach Meinung des Ökonomen Robert Repetto vom World Resources Institute oft unüberlegt und nach rein geschäftlichen Gesichtspunkten. Viele Länder der Dritten Welt verkaufen ihre Holznutzungsrechte zu Notverkaufspreisen an Industrienationen, um Geld zur Bezahlung der Zinsen ihrer Schulden zu bekommen. **Die vier tropischen Länder, die seit kurzem die Führung im Verbrennen oder Verkaufen ihrer Wälder und damit in der Freisetzung von Kohlendioxid übernommen haben, sind Brasilien, Indonesien, Kolumbien und die Elfenbeinküste.**

Wenn sie so weitermachen, können sie nicht mehr lange Wälder verkaufen. Das

Schicksal Nigerias sollte zur Warnung dienen. Nigeria war früher ein großer Exporteur tropischer Harthölzer. Aber 1985 verdiente dieser westafrikanische Staat, so das Worldwatch Institute, nur noch sechs Millionen Dollar durch Walderzeugnisse und gab hundertsechzig Millionen Dollar für den Import von Walderzeugnissen aus. **Die Nigerianer schlachteten ihren Wald aus, bis es kaum noch einen gab.**

Die Vereinigten Staaten besitzen auch ein paar Regenwälder. Ein prachtvolles Ohia-Gehölz auf Hawaii wurde kürzlich von einer Privatfirma namens BioPower gefällt und zu Brettern verarbeitet. Die Firma ging prompt bankrott, hinterließ Schulden und ein Loch im Wald. Wenn man aus dem noch intakten Regenwald in diese von Baumstümpfen übersäte Wüstenei hinaustritt, ist es, als ginge man über ein altes Lavafeld. Wer auf diese Baumstümpfe blickt, empfindet für unsere Sphäre nichts als Zorn.

Die US-Regierung versteigert routinemäßig Einschlagrechte an Länder, die zum Bäumefällen als ungeeignet erscheinen. Häufig akzeptiert die Regierung Gebote, die so niedrig sind, daß sie nicht einmal die Kosten für die Auktion decken. Robert Repetto schätzt, daß die Regierung allein schon dadurch, daß sie dieses Holz stehen ließe, fast hundert Millionen Dollar sparen könnte, abgesehen davon, daß es dem Klima, den Wildtieren und den Bäumen selbst wohl täte.

258

Es ist schwer, sich ein besseres Werkzeug für planetare Reparaturarbeiten vorzustellen als einen Baum. Dennoch träumen Wissenschaftler von futuristischeren und phantastischeren Maßnahmen, als Bäume zu pflanzen.

Ein Physiker an der Princeton University schlägt vor, daß wir die Fluorchlorkohlenwasserstoffe aus der Luft brennen, bevor sie in die Stratosphäre gelangen. Thomas H. Stix glaubt, es sei möglich, mittels einer Anordnung starker Infrarotlaser die Atmosphäre wie mit einer Scheinwerferbatterie abzusuchen und alle FCKW-Moleküle, die den gebündelten Infrarotstrahlen in den Weg geraten, zu vernichten. **Stix nennt diese Methode »Atmosphärenveredlung«.**

Andere Wissenschaftler möchten **die Ozonlöcher stopfen**. Sie behaupten, wir könnten Ozon auf dem Boden erzeugen und dann mittels Raketen, Jumbojets oder Ballons in die Stratosphäre transportieren.

MICHAEL BUDYKO glaubt, wir könnten einen gigantischen Sonnenschirm über den Planeten ausbreiten. Alles, was wir Budykos Ansicht nach tun müssen, ist, Schwefeldioxyd in die Stratosphäre zu blasen. Das Gas bildet Tröpfchen aus Schwefelsäure, und stratosphärische Winde verteilen diese Tröpfchen innerhalb

von Monaten um den Globus. Sie hüllen den Planeten in ein weißes Leichentuch.

Theoretisch würde dies die dünnen Schwefelsäurewolken wiederbringen, die sich nach dem Ausbruch des Tambora 1815 bildeten, die Erdoberfläche umhüllten und abkühlten und der Welt jenes katastrophale Jahr ohne Sommer bescherten. Wir würden einen Treibhaus-August wie den des Jahres 1988 gegen einen Kühlhaus-August wie den von 1816 einhandeln — als nähme man Beruhigungsmittel, um die Wirkung von Aufputzmitteln zu bekämpfen.

Der Geochemiker WALLACE BROECKER von der Columbia University hält diese Methode für realisierbar. Wir brauchten sechsunddreißig Millionen Tonnen Schwefeldioxyd. Nach den derzeitigen Preisen würde es etwa fünfzehn Milliarden Dollar kosten, diese Gasmenge herzustellen und mit Jumbojets in die Stratosphäre zu verfrachten.

Natürlich würde das Schwefeldioxyd ebenso rasch wieder aus der Stratosphäre herausregnen, wie wir es in sie hineinbringen. Wir müßten die Prozedur Jahr für Jahr wiederholen. Broecker argumentiert, fünfzehn Milliarden Dollar seien keine unvernünftig hohe Summe für die »**klimatische Verteidigung**« eines ganzen Planeten, da sich allein der amerikanische Verteidigungshaushalt zur Zeit auf dreihundertfünfzig Milliarden Dollar pro Jahr beläuft. »Der springende Punkt«, sagt er, »ist nicht, daß diese Strategie unbedingt klug wäre, sondern, daß sie eine wirkungsvolle Klimaveränderung ermöglicht.«

259

Verzweifelte Zeiten gebären verzweifelte Maßnahmen, und wir könnten uns rascher zu einer **planetaren Chirurgie dieser Art** gezwungen sehen, als wir glauben. Broecker schrieb im Jahre 1985: »In hundert Jahren könnte die Versuchung, etwas in dieser Art zu unternehmen, groß sein.« Nur drei Jahre später, im August 1988, wurde Thomas Stix aus Princeton (der Physiker, der die FCKWs aus dem Himmel brennen möchte) von der New York Times über Laser und andere schimmernde, blitzende und brandneue ökologische Skalpelle interviewt. »Einiges davon ist noch reichlich spekulativ«, gab Stix zu. »Aber wenn wir noch ein paar Sommer wie diesen haben, werden sich die Leute ziemlich nervös erkundigen, was wir dagegen unternehmen können.«

Ein heißer Sommer verlegte die Versuchung um über neunzig Jahre vor.

Das Erschreckende an allen diesen High-Tech-Vorschlägen ist, wie schlecht sie meistens im nachhinein aussehen. Vor nicht allzu langer Zeit sprachen JOHN VON NEUMANN (der Vater des elektronischen Computers) und Edward Teller (Vater der Wasserstoffbombe) enthusiastisch über den Einsatz nuklearer Explosionen, um

Hurrikane umzuleiten. Wie Francis Bacon sagt: »Töte den Patienten, und du heilst die Krankheit.«

Etwa zur gleichen Zeit empfahl Harrison Brown, den Kohlendioxidgehalt der Luft zu verdreifachen, um die Welterntemenge zu erhöhen.

Erst kürzlich, im Jahr 1986, gab das britische Umweltministerium einen Bericht heraus, der sich *gegen* eine weltweite Übereinkunft richtete, auf die Herstellung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen zu verzichten. Der Bericht stellte fest, daß erstens die FCKWs vermutlich nicht die Ozonschicht angreifen und zweitens, selbst wenn sie es doch tun, wir den Schaden immer noch durch vermehrte Methanemission beheben können. Fast unmittelbar danach erkannte man, daß die Fluorchlorkohlenwasserstoffe schon dabei waren, die Ozonschicht zu schädigen, und daß Methan ihnen dabei half. **Die Behörde hatte ein Gift als Medizin empfohlen.**

Für solche Fälle ist der Begriff **Verschlimmbesserungen** geprägt worden, als Verbesserungen deklarierte Verschlimmerungen. Wie die Atomenergie stellen sie eindimensionale Problemlösungen dar, die von einer Warte aus gut und aus anderer Sicht schlecht sind. In der Hitze des Sommers 1988 fragte das Nachrichtenmagazin <Der Spiegel> den Atmosphärenchemiker Paul Crutzen, Direktor am Max-Planck-Institut für Chemie, ob er von einer Substanz wüßte, die man der Atmosphäre begeben könnte, um den Anstieg des globalen Fiebers aufzuhalten, »...solche Fragen werden mehr und mehr gestellt«, erwiderte Crutzen. »Ich habe große Angst davor. Wenn ich genug über die Atmosphäre wüßte, dann würde ich mich gern mit derartigen Experimenten und Gedanken beschäftigen. Aber wir wissen wirklich zu wenig...«

260

Wie **Crutzen** erklärte, würde der **Schwefelsäuresonnenschirm** ein besonders gefährliches Projekt darstellen. Schwefel in der Stratosphäre könnte die Erdoberfläche tatsächlich abkühlen. Allerdings würden die Schwefelsäuretröpfchen dazu neigen, Chloratome zu sammeln. Wie Eiskristalle würden sie den Fluorchlorkohlenwasserstoffen helfen, die Ozonschicht zu verzehren. Je mehr wir die Stratosphäre verschmutzen, desto rascher wird die Ozonschicht verschwinden. Und natürlich würde die Schwefelsäure in Form von saurem Regen wieder auf die Erde gelangen. »Statt dessen sollte man lieber Methoden fördern«, sagte Crutzen, »die den Ausstoß von CO₂, Methan und Spurengasen mindern.«

Wenn die Erde anfängt, sich rapide zu erwärmen, wird die Welt über folgende Alternativen debattieren:

Auf der einen Seite radikale, unerprobte und unerprobare chirurgische Maßnahmen, auf der anderen Seite Präventivmedizin.

Welche dieser Maßnahmen wird politisch attraktiver sein? Vielleicht die Chirurgie. Wir entscheiden uns oft für rasche Lösungen. Schnell wirkende Mittel sind uns lieber als eine sorgfältige Vorgehensweise. Und was noch wichtiger ist: Das Versprechen einer morgen stattfindenden chirurgischen Operation gibt uns außerdem die Berechtigung, auf dem eingeschlagenen Weg zu bleiben. Wir verändern den Planeten? Laßt uns genau das weiter tun, was wir jetzt tun, und dann die Folgen abwenden, indem wir den Planeten noch mehr verändern.

Ich stellte einmal bei einem Essen mit einer Gruppe wichtiger Ökologen die Frage: »Wieso genießt Ihr Fachgebiet soviel weniger Ansehen in der Welt als die Ökonomie?« - E.O. WILSON erwiderte knapp: »Weil man die Ökologie als Bremse des Fortschritts ansieht.«

Und das ist wahr. Laser und Schwefeltransporte wären keine Bremsen — sie wären aufregend. Volle Kraft voraus.

In einer Hinsicht ist die Anregung großartig. Die jüdische Tradition spricht von Tikkun Olam, der Verbesserung der Welt. »Und sooft das Gefäß, an dem er arbeitete, mißriet, wie das mit dem Ton in der Hand des Töpfers vorkommen kann«, sprach der Prophet Jeremia, »machte er wieder ein anderes Gefäß daraus, wie die Töpfer zu tun pflegen.« [Jeremia 18,4] Oder mit den Worten Omar Chajjams:

*Geliebte! ach, könnten wir uns mit Ihm verbünden
Auf daß wir die Ordnung der Welt ganz verstünden,
Wie würden wir sie zu Scherben zerschmettern —
Und neu formen nach unseren Herzensgründen!*

261

Aber wir können schon absehen, wohin all dieses Zerschmettern und Neuformen führen würde. Der glückliche Ausgang der großartigen Anregung Omars wäre ebensowenig wahrscheinlich wie der des alten Kinderliedes:

Der Herr, der schickt den Jockei aus,
Er soll den Haber schneiden.
Der Jockei schneid't den Haber nicht,
Und kommt auch nicht nach Haus.

Da schickt der Herr den Pudel aus,
Er soll den Jockei beißen.
Der Pudel beißt den Jockei nicht,
Der Jockei schneid't den Hafer nicht,
Und kommt auch nicht nach Haus.

Da schickt der Herr den Prügel aus,
Er soll den Pudel prügeln.
Der Prügel prügelt den Pudel nicht...

Wenn wir noch lange leben wollen, müssen wir anfangen, wie eine geologische Macht zu denken. Das heißt, wir müssen die erste geologische Macht werden, die denken lernt.

Aus geologischer Sicht ist Zeit nicht gleich Geld. Zeit ist alles. In geologischen Zeiträumen wird geschehen, was geschehen kann. Wir können uns keine Zunahme dessen leisten, was im Fachjargon »unwahrscheinliches, hochkonsequentes Ereignis« heißt.

Die Exxon-Ölkatastrophe von 1989 im Golf von Alaska war ein solches Ereignis. Sie verschmutzte eine Küstenlinie von größerer Länge, als Long Island und Cape Cod zusammen aufweisen. Bald darauf gab Charles J. DiBona, Präsident des <American Petroleum Institute>, eine Presseinformation mit dem Titel »Fragen und Antworten zur Ölverseuchung vor Alaska« heraus. Diese Mitteilung schloß mit den Worten:

Nach Angaben der Alaska Oil and Gas Association wurden seit seinem Bestehen 8858 Tankerladungen oder 6,8 Milliarden Barrel aus dem Hafen von Valdez transportiert. Davon liefen 240.000 Barrel ins Wasser — das ist nur ein achtundzwanzigtausendstel der Gesamtmenge. Das bedeutet, daß eine überwältigende Menge Öl den Hafen ohne Unfall verließ — 6,8 Milliarden Barrel wurden transportiert, 240.000 Barrel liefen aus, das ist ein Barrel von 28.000.

262

Mit anderen Worten, wie Hendrik Hertzberg entrüstet in der <New Republic> schrieb:

»Warum all die langen Gesichter? Laßt uns über all das Öl sprechen, das keine ursprüngliche, unersetzliche, tierreiche, atemberaubend schöne natürliche Umwelt zerstört hat. Laßt uns über die Erfolge sprechen, nicht über die Unfälle.«

Eine geologische Macht, die bereit ist, alle zwölf Jahre den Verlust so großer Küstenabschnitte aufs Spiel zu setzen, wird sich nicht lange halten können.

Zudem war das — im Denken gewöhnlicher Menschen — kein außerordentliches Risiko. Wir nehmen die ganze Zeit über größere Risiken auf uns. Wäre das Öl nicht ausgelaufen, würde zum Beispiel der größte Teil seines Kohlenstoffgehalts in der Atmosphäre gelandet sein. Dort hätte er zur Wahrscheinlichkeit eines anderen Ereignisses beigetragen und vielleicht zum Verlust einer viel längeren Küstenlinie geführt.

Wenn wir in geologischen Zeiträumen denken würden – oder auch nur an die nächsten zwölf Jahre –, würden wir verstehen, daß unwahrscheinliche Risiken desto wahrscheinlicher werden, je länger wir das Spiel spielen. Wir spielen als Spezies immer wieder russisches Roulette. Jeden Tag berechnen wir aufs neue die Unwägbarkeiten, als wäre unser letzter Spieltag angebrochen. Eines Tages wird er tatsächlich angebrochen sein.

Noch am Tag der Verseuchung hätten wir, wenn wir uns als planetare Sphäre begriffen, den Plan, ausgerechnet im arktischen Nationalpark in Alaska nach Öl zu bohren, gestrichen. Aber unser Verhalten macht deutlich, daß wir nach planetarem Maßstab noch kein großes Bewußtsein entwickelt haben. Wir fließen dahin, mit viel Gerede, aber wenig mehr Nachdenken als Lava, ein Gletscher oder eine Wasserflut.

Drei Tage vor der Ölverseuchung vor Alaska schrieb zum Beispiel Frank Murkowski, republikanischer Senator Alaskas, in der Zeitung <USA Today>: »Die Paniker sagen, die Umwelt Alaskas würde zerstört, wenn der Nationalpark erschlossen wird. Vor zwanzig Jahren haben sie dasselbe Geschrei für den Fall angestimmt, daß die Pipeline in Alaska gebaut wird — und es hat sich erwiesen, daß sie unrecht hatten.«

Vier Tage nach der Verseuchung wurde Präsident George Bush (wie Hertzberg bemerkt) gefragt, ob er seine Meinung über den arktischen Nationalpark angesichts des Unfalls geändert habe. »Nein«, erwiderte er. »Ich sehe da keine Verbindung.«

263

Wir müssen nicht nur lernen, als planetare Sphäre zu denken, sondern auch fähig werden, darauf zu achten, was wir tun. In Anbetracht der Größe des Planeten und der Vielzahl unserer Tätigkeiten ist das eine riesige Aufgabe. Wir brauchen Teams von Wissenschaftlern, um die Veränderungen aufzuzeichnen, die sich in allen sieben Sphären vollziehen: auf der Erde, im Wasser, in der Luft, im Feuer, im

Leben, im Eis und im Geist. Nur dann können wir hoffen, früh genug einige der Kettenreaktionen und Überraschungen zu erkennen, die kommende Jahre für uns auf Lager haben.

Wenn wir diese Arbeit richtig machen wollen, brauchen wir das ambitionierteste wissenschaftliche kooperative Programm, das wir je erprobt haben. Einige Wissenschaftler arbeiten schon in dieser Richtung. Seit den frühen achtziger Jahren werden in den größeren Forschungszentren verschiedener Regierungen wie der USA und der UdSSR hinter halb geschlossenen Türen diesbezügliche Pläne entwickelt. Ein kleines internationales Büro wurde in Stockholm eingerichtet. In den Vereinigten Staaten wurde ein Büro für das interdisziplinäre Studium der Erde am NCAR geschaffen, das als Informationszentrale fungiert und ein vierteljährlich erscheinendes Nachrichtenblatt herausbringt. Hochkarätige Komitees von Wissenschaftlern aus der ganzen Welt und sämtlichen Fachbereichen der Geowissenschaft kommen heute alle paar Monate in verschiedenen Städten ohne viel Aufhebens zusammen.

Viele wissenschaftliche Agenturen der USA arbeiten auf dieses globale Programm hin. Jede von ihnen marschiert unter einem anderen Banner. Die American Geophysical Union nennt es »**Initiative des Planeten Erde**«. Die US National Science Foundation nennt es »Globale Veränderung« und »**Globale Geowissenschaft**«. Die NASA nennt es »**Mission zum Planeten Erde**«, weil sich die wissenschaftlichen Disziplinen nie gleichzeitig so energisch auf unseren eigenen Planeten konzentriert haben, wie sie es bei den Missionen zum Mond und unseren Nachbarwelten Mars und Venus taten.

Die neue Mission — wenn sie richtig ausgeführt wird — würde die gesamten Kapazitäten der Raumfahrtprogramme der USA, der UdSSR und der Europäischen Gemeinschaft erfordern. Der Anstoß zu diesem globalen Programm ging natürlich vom International Geophysical Year 1957/58 aus. Das Programm des IGY wurde vom <International Council of Scientific Unions> organisiert. Tausende von Wissenschaftlern in siebzig Ländern beteiligten sich daran, und die Resultate übertrafen alle Erwartungen. Das IGY war der Beginn des Raumzeitalters. Es läutete eine Ära wissenschaftlicher Kooperation ein — eine Ära der Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen und Länder.

264

Es führte direkt zu der revolutionär neuen Sicht der Erde als turbulenter Planet. Aus Forschungen, die im IGY begonnen haben, wissen wir unter anderem, daß die Kontinente driften, daß Eiszeiten in Übereinstimmung mit Veränderungen der

Umlaufbahn der Erde kommen und gehen und daß wir Menschen die Atmosphäre der Erde rascher verändern, als es die Eiszeiten je taten.

Das neue Programm, das jetzt Gestalt annimmt, würde das IGY in bezug auf Umfang und Dauer bei weitem in den Schatten stellen. Es würde eine wesentlich größere Anzahl Wissenschaftler einbeziehen. Es würde jede Geowissenschaft einschließen. Das International Council of Scientific Unions, das auch die Organisation dieses Programms übernehmen würde, nennt es das <Internationale Geosphäre-Biosphäre-Programm>. Es würde nicht nur ein Jahr, sondern Jahrzehnte dauern. Wer kann sagen, welche Entdeckungen es mit sich brächte?

Revelle, der eine bedeutende treibende Kraft des IGY war und auch das neue umfassende Programm fördert, drängt darauf, daß wir uns auf die nächsten hundert Jahre konzentrieren: »Es ist sehr schwierig — verdammt nahe an der Grenze zum Unmöglichen«, sagt Revelle. »Aber ich denke, wir müssen unsere Phantasie strapazieren. Nicht nur herausfinden, was tatsächlich geschehen wird, sondern auch, was geschehen könnte.« – »Weshalb gerade hundert Jahre?«

»Ich habe hundert Jahre veranschlagt, aber nicht aus dem Grund, weil es eine lange Zeit ist, sondern eine kurze«, sagt Revelle. »Immerhin leben wir auf diesem Planeten wie lange schon? Seit zweihunderttausend Jahren? Hundert Jahre sind nur ein Augenblick. Und doch können wir sie nicht voraussagen. Außerdem könnte das, was in den nächsten hundert Jahren geschieht, fundamentale Auswirkungen auf eine viel längere Zeit haben. Wir stehen an einem kritischen Punkt der Geschichte.«

Es ist klar, daß ein großer Teil der Beobachtungsarbeit aus dem All stattfinden muß. Es ist schwierig, sich einen Überblick über das Leben zu verschaffen, wenn man mitten darin herumspaziert. Aber verteilen Sie fünf Satelliten in etwa gleichen Abständen in fünfunddreißig Kilometern Höhe um den Äquator. Lassen Sie sie mit derselben Geschwindigkeit um die Erde kreisen, in der die Erde sich dreht (in sogenannten geostationären Orbits), so daß sie unbeweglich über unseren Köpfen zu schweben scheinen. Nur mit Hilfe dieser Satelliten können wir uns ein Bild von der ganzen Erde verschaffen, mit Ausnahme eines kleinen Gebiets um die Pole herum. Bringen Sie noch einen Satelliten in einen niedrigen Orbit von Pol zu Pol, um die Eiskappen des Planeten miteinzubeziehen. Diese sechs Satelliten würden einen Blick aus gleichsam göttlicher Perspektive auf die ganze Sphäre erlauben.

265

Die heute auf die Erde blickenden Raumstationen, die sie in verschiedenen

Umlaufbahnen und Höhen umkreisen, können zehntausend Quadratkilometer der Erdoberfläche zugleich fotografieren oder Gegenstände von wenigen Zentimetern Größe auflösen. Sie können für das menschliche Auge sichtbare oder unsichtbare Strahlen vieler Wellenlängen sehen, und was sie sehen, digital kodiert an Computer in Bodenstationen nach Hause funken. Auf den von automatischen Sonden in niedrigen Umlaufbahnen nach Hause gefunkten Bildern können Wissenschaftler Reis von Sojabohnen unterscheiden, jungen Mais von altem, gesundes Korn von krankem. Sie können den Feuchtigkeitsgehalt in jedem Stück Boden bestimmen und das Gesamtgewicht der Pflanzen, ja sogar des darin enthaltenen Eiweißes schätzen.

Wir brauchen Satelliten, um die globale Erwärmung zu beobachten: um Veränderungen in der Wolkendecke, der Oberflächentemperatur der Meere und den Temperaturen der Stratosphäre, des Eises auf den Polarmeeren, der solaren Konstante, des Staubgehalts der Luft, der Bodentemperatur aufzeichnen zu können. Selbst der Meeresspiegel kann aus dem All beobachtet werden. Wir brauchen außerdem Satelliten, die uns bei der Beobachtung der Ozonlöcher, ihrer besonderen Chemie und Temperatur und des Zustands der restlichen Ozonschicht helfen.

Eine Gruppe von Experten des Treibhauseffekts stellte fest, daß Forscher ohne das Kohlendioxidaufzeichnungsprogramm, das Keeling im IGY begann, heute wenig Aussicht hätten, den Treibhauseffekt zu begreifen.

»In gleicher Weise besteht ohne bessere Aufzeichnungen der Daten über solare Schwankungen, vulkanische Aerosole und die wichtigeren Treibhaus-Spurengase wenig Aussicht, daß wir künftig die Natur und Bedeutung der klimatischen Signale erkennen können, die wir beobachten... es ist wichtig, die zeitliche Dimension des CO₂-Problems im Auge zu behalten: Welche Variablen heute nicht aufgezeichnet zu haben, werden unsere Nachkommen in ein oder zwei Generationen uns vorwerfen?«

Satellitenstudien sollten durch umfassende Untersuchungen der Erdoberfläche begleitet werden, zu denen auch eingehende ökologische Studien der vielfältigen Bodenformen und Lebensräume der Welt gehören. Satellitenexperten nennen ihre Blicke auf den Planeten »entfernte Wahrnehmung«. Studien an der Oberfläche des Planeten nennen sie die Erforschung der »Grundwahrheit«.

266

Manche Wissenschaftler träumen von Projekten, die sich wie die Visionen eines Francis Bacon in der Morgendämmerung der Wissenschaft anhören. Einige der

früheren Berichte beschreiben die Errichtung eines Netzes von Biosphären-Observatorien, futuristischer Laboratorien, so ausgeklügelt wie diejenigen, die Astronomen auf verlassenen Berggipfeln wie Palomar und Mauna Kea erbaut haben, um ferne Galaxien zu beobachten. Diese neuen Observatorien sollen nicht nur auf Bergen errichtet werden, sondern auch in Dschungeln, Flußmündungen, Prärien, Permafrosttundren und in den Herzen tropischer Inseln; die Instrumente dieser Laboratorien sollen nicht auf die Sterne, sondern auf die Umwelt gerichtet sein, und jedes dieser Observatorien soll sich aus dem Dschungel oder der Wüste erheben wie die Kuppel auf dem Mauna Loa.

Die Erdbeobachter träumen auch von der Konstruktion fortgeschrittener Modelle der sieben Sphären, die heutige Computermodelle zu Kinderspielen degradieren würden. Diese Modelle würden die Informationen einer umfassenden geophysikalischen Bibliothek berücksichtigen, deren Datenmenge hundertmal größer als die größte Bibliothek der Welt, diejenige des amerikanischen Kongresses, sein würde. Die Basisdaten würden alle Werte umfassen, die seit dem ersten Quecksilberthermometer über den Planeten ermittelt wurden.

Forscher würden diese Supercomputermodelle aktivieren und beobachten, wie das ganze System zum Leben erwacht — wie der Planet atmet, die polaren Eisregionen sich ausdehnen und verkleinern, die Temperaturen steigen und sinken. Wissenschaftler unterschiedlicher Muttersprachen und vieler verschiedener Fachsprachen könnten zusammenarbeiten und gemeinsam die globalen Veränderungen im gefahrlosen Mikrokosmos der elektronischen Erde verfolgen, anhand von Modellen, die ihrem Zwilling, der realen Erde, so ähnlich wären, wie wir sie nur machen können.

In der Realität ist es nicht einfach für all die unterschiedlichen Disziplinen der Geowissenschaft, zusammenzuarbeiten, vor allem noch rechtzeitig. Die Forschungsbudgets stehen in den USA, in Großbritannien und anderswo unter Beschuß. **In solchen Zeiten bilden Wissenschaftler, wie sich ein Teilchenphysiker beklagt, »eine Wagenburg und fangen an, ins Innere des Kreises zu schießen«. Jeder Spezialist beginnt, seinen eigenen Fachbereich auf Kosten der anderen zu verteidigen.**

267

Frank Press, ein Geowissenschaftler und Präsident der amerikanischen Akademie der Wissenschaften, **ist nur unter Vorbehalt optimistisch** in bezug auf das globale Veränderungsprogramm. »Es wird in irgendeiner Form realisiert werden«, sagt er.

»Wäre es in den sechziger Jahren vorgeschlagen worden, zu einer Zeit, als die internationale Wissenschaft immer mehr Gelder erhielt, hätte die Idee eines

Nachfolgers des IGY enorme weltweite und sofortige Unterstützung erhalten. Heute hingegen werden Vorschläge internationaler Forschungsprojekte von vielen Regierungen mit Skepsis aufgenommen, als Methoden, mehr Geld aus schrumpfenden Budgets zu bekommen.«

Aber es könnte jetzt schon viel mehr getan werden — für wenig Geld.

In den USA zum Beispiel haben die NASA und die National Oceanographic and Atmospheric Administration in großen Bibliotheken Aufnahmen von der Erde gesammelt. Ein beachtlicher Teil dieses Bestands liegt in Computerspeichern brach. Für ein Almosen könnte uns das Studium dieser Bilder exakt sagen, wieviel Regenwald jährlich verbrannt und gerodet wird. Sie könnten uns außerdem darüber Auskunft geben, wieviel in den letzten Jahrzehnten vernichtet wurde, Land für Land, und das würde den Forschern helfen, unter anderem auszurechnen, wieviel Kohlendioxid in die Atmosphäre freigesetzt wird, wenn ein Hektar Amazonaswald in Rauch aufgeht.

Oft haben Wissenschaftler nur Geld für örtlich beschränkte Untersuchungen, und diese örtlichen Studien sind es, die uns sagen, daß sich in der Biosphäre ein Holocaust ankündigt.

Compton Tucker von der NASA und George Woodwell und seine Kollegen am Woods Hole Research Center haben jahrelang darum gekämpft, sich einen allgemeinen Überblick verschaffen zu können. Aber es wurde ihnen nie genug Geld bewilligt, um in der Lage zu sein, mehr als örtliche Studien anzustellen, obwohl die NASA und die NOAA ihr Interesse an den weltweiten Veränderungen bekundeten und die EPA sich an der globalen Erwärmung interessiert zeigte. Kürzlich sagte Tucker zu einem Reporter von <Science>: »Wir wollen es jetzt anpacken — in zehn Jahren könnte es sich nicht mehr lohnen.« Vielleicht möchte es die Welt lieber gar nicht wissen.

Dies alles bedeutet eine Menge Arbeit angesichts einer Bedrohung, die unsichtbar und nicht zu greifen ist. Und doch können wir manchmal sehr rasch reagieren, selbst wenn die genaue Größe der Gefahr, in der sich unsere Welt befindet, noch unbekannt ist. Der vielversprechende Präzedenzfall ist das Montreal-Protokoll. Richard Benedick vertrat die USA bei den Verhandlungen, die zu dem Vertrag bezüglich der Fluorchlorkohlenwasserstoffe führte. Benedick war vom Außenministerium beauftragt und mit dem Rang eines Botschafters versehen worden. Wie die meisten Umweltdiplomaten ist er kein Wissenschaftler — er war einmal Literaturstudent in Oxford gewesen.

»Das Protokoll hat jetzt eine Aura des Unvermeidbaren erhalten«, sagt Benedick,

»aber Tatsache ist, daß es harte und oft erbitterte internationale Verhandlungen erforderte, bis diese Vereinbarung erreicht war. Diese Chemikalien sind fast Synonyme des modernen Lebensstandards. Und das Risiko war die ganze Zeit über rein theoretisch — es gab immer noch keine nachgewiesene Minderung der Ozonschicht.

Wir wurden mit einem unsichtbaren Risiko konfrontiert, das in der Bedrohung eines Gases durch ein anderes bestand und sich fast fünfzig Kilometer hoch über unseren Köpfen abspielte. Es war deshalb bedeutsam, weil es zu einer Zunahme unsichtbarer Strahlung führen konnte, die noch nicht gemessen worden war, und weil die Strahlung gesundheitsschädliche Wirkungen haben konnte, die ebenfalls noch nicht gemessen worden waren.

<Es wurde zuwenig zu spät unternommen!> schreien einige Umweltschutzgruppen heute. Aber noch in einem späten Stadium unserer Debatten sagte ein französischer Minister: <Und Sie glauben immer noch, daß von diesem kleinen pssst, pssst eine Bedrohung ausgeht.....!> Er ahmte die Betätigung einer Sprühdose nach und zuckte mit den Achseln. Die Stärke des Vertrags besteht darin, daß in ihm Möglichkeiten zur Verschärfung von Verordnungen auf der Basis von noch zu erhärtendem wissenschaftlichem Beweismaterial vorgesehen sind.<

So bewegten sich die Diplomaten in einer Atmosphäre großer Unsicherheit. Es gab eine tragfähige wissenschaftliche Übereinstimmung nur in einigen wenigen Kernpunkten: daß sich Komponenten in der Stratosphäre anhäuferten, die die Ozonschicht beschädigen konnten und daß dieser Schaden, wenn er erst eingetreten war, irreversibel sein würde. Benedick gründete seine diplomatische Argumentation auf diese Punkte. Er gab zu bedenken, daß es in Anbetracht solcher Übereinstimmung zu riskant sei, noch länger mit der Untersuchung des Schadens zu warten.

#

Während ihrer Sitzungen hörten die Diplomaten die ersten Berichte über das Ozonloch am Südpol. Benedick spielte es herunter, und zwar deshalb, wie er heute sagt, weil es immer noch keine Beweise dafür gab, daß das Ozonloch durch Chlor verursacht worden war. Vielleicht bestand ja überhaupt kein Zusammenhang zwischen dem Loch und den FCKWs. Und selbst wenn sich erweisen sollte, daß es durch Menschen verursacht worden war, konnte es sich immer noch um eine auf die Antarktis beschränkte Anomalie handeln.

Benedick wußte, wenn er das Ozonloch hervorgehoben hätte und sich herausgestellt haben würde, daß es natürlichen Ursprungs war, wäre das

Montreal-Protokoll möglicherweise nie unterzeichnet worden. »Also ließen wir es bewußt aus den Verhandlungen heraus.«

269

Die Rechtfertigung wurde schnell sichtbar. Nicht lange nach Unterzeichnung des Protokolls erwies sich zweifelsfrei, daß das Ozonloch durch FCKWs verursacht worden ist und daß der gesamte Ozonschild schwächer wird. Benedick ist der Ansicht, daß der Treibhauseffekt jetzt auf dieselbe Weise behandelt werden muß. Wir müssen die Debatte auf die tragfähige Übereinstimmung gründen, daß der Treibhauseffekt eine Realität ist. Und wir müssen auf dieser Grundlage auf einen internationalen Vertrag hinarbeiten. »Was uns in Montreal beeindruckte«, sagt Benedick, »war, daß die Effekte nur schwer reversibel waren; die Tatsache, daß wir nichts ungeschehen machen konnten.«

#

In Keelings unordentlichen Büros und Labors überkommt einen heute ein Gefühl verdichteter Zeit; man hat den Eindruck von Generationen, die die Atmosphäre beobachteten; Keeling, der Callendar über die Schulter blickt, und Callendar, der über die Schulter Arrhenius' sieht. Keeling ist zuversichtlich, daß in fünfzig Jahren jemand ihm über die Schulter blickt. (Bis dahin könnte die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre sechshundert Teile pro Million betragen.)

Keelings Sorge in bezug auf jenen noch weit entfernten Nachfolger im dritten Jahrtausend beinhaltet eine gewisse Zuversicht, daß noch eine lange Zukunft vor uns liegt, und das starke Gefühl, daß seine Aufzeichnungen noch ein Jahrtausend lang wichtig sind. Das würde sich nach einer überheblichen Annahme anhören, wenn er nicht dasselbe Kompliment Callendar und sogar Reiset machen würde, dem französischen Forscher, der vor mehr als einem Jahrhundert so vom Kohlendioxid besessen war, daß er einen Wagen mit Meßgeräten konstruierte und mit ihm durch die Straßen von Paris und über die Feldwege von Ecorchebeuf fuhr, um das Gas zu messen.

Wenn sich Keeling je zurückziehen sollte, wird er vielleicht eine Originalkopie des Kohlendioxidwagens Reisets bauen und mit ihm durch Del Mar fahren. Inzwischen wird sein Sohn Ralph ein neuartiges Gerät zur Sauerstoffmessung entwickelt haben.

Wenn man die Aufzeichnungen über die polaren Eiskappen liest, scheint die Zeit noch mehr verdichtet. Zweitausend Eiszyylinder lagern im Physikalischen Institut der Berner Universität. Das Eis liegt in Regalen entlang der Wände unterirdischer

Kühlkammern, als seien es zusammengerollte Plakate im Lagerraum einer Druckerei oder Schriftrollen der verlorenen alexandrinischen Bibliothek. Vor kurzem holte ein Schweizer Physiker auf meinen Wunsch einen Eiszylinder aus einem der Regale.

270

Er ließ ihn aus seiner Papphülle gleiten, öffnete den Plastikbeutel um das Eis und zog ein kleines Blatt Millimeterpapier heraus:

½/13 Röhre 339
Färbung 3181
von 1806.39 m
bis 1806.90 m
B in 369

Der Laborversion des Dewey-Dezimal-Systems zufolge war das Eis einer knapp zwei Kilometer von der isländischen Eisdecke entfernten Stelle nahe eines amerikanischen Militärstützpunkts entnommen worden, [wo amerikanisches Radar die harten Konturen des Horizonts nach sowjet-russischen Raketen abtastet.](#)

Der Physiker warf einen Blick auf das Stück Papier und rechnete kurz im Kopf. »Es ist ungefähr.. ungefähr zwölftausend Jahre alt.« Er schnitt eine Probe von dem Eiszylinder ab und trug sie aus dem Kühlraum in sein Büro. Dort gab er das Eis in ein mit Wasser gefülltes Glas auf der Fensterbank. Wir lauschten abwechselnd an der Becheröffnung. Ein leises Geräusch war zu hören, ein Zischen. Das Eis aus der letzten Eiszeit schmolz, und die vielen Dutzend in seinem Inneren eingeschlossenen Gasblasen zerplatzten.

Die frische Luft, die aus dem Glas emporstieg, war seit ungefähr zwölftausend Jahren nicht mehr geatmet worden. Damals hatte es auf dem Planeten etwa fünf Millionen Menschen gegeben. Sie waren gerade im Begriff gewesen, die Landwirtschaft einzuführen. [Am Fenster eines Büros mit Blick über die Gleise des Hauptbahnhofs und die Nordwesttangente der Autobahn mischte sich der Atem dieser fünf Millionen Menschen mit dem Atem der gegenwärtigen fünf Milliarden.](#)

Die dem Glas entsteigende Luft war die Atmosphäre, die der Planet kurz vor Beginn eines der größten Experimente in der Geschichte des Lebens gehabt hatte. Die Kohlendioxidkonzentration in dieser Luft betrug etwa zweihundertachtzig Teile pro Million. »Zehntausend Jahre lang«, sagte der Physiker, »stieg diese Konzentration ungefähr so an« — er zog mit dem Finger eine flache Kurve in die Luft —, »und dann, puff!, explodierte sie.«

Trinity war ein geheimer Test in der Wüste. Der Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in der Luft hingegen ist ein Experiment, das in aller Öffentlichkeit stattfindet. Es ist eine Art Zeitlupenexplosion, die durch jeden einzelnen Mann, jede Frau und jedes Kind auf dem Planeten erzeugt wird.

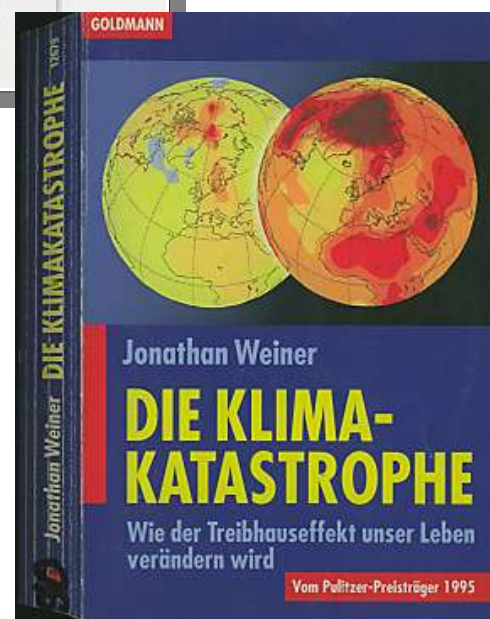
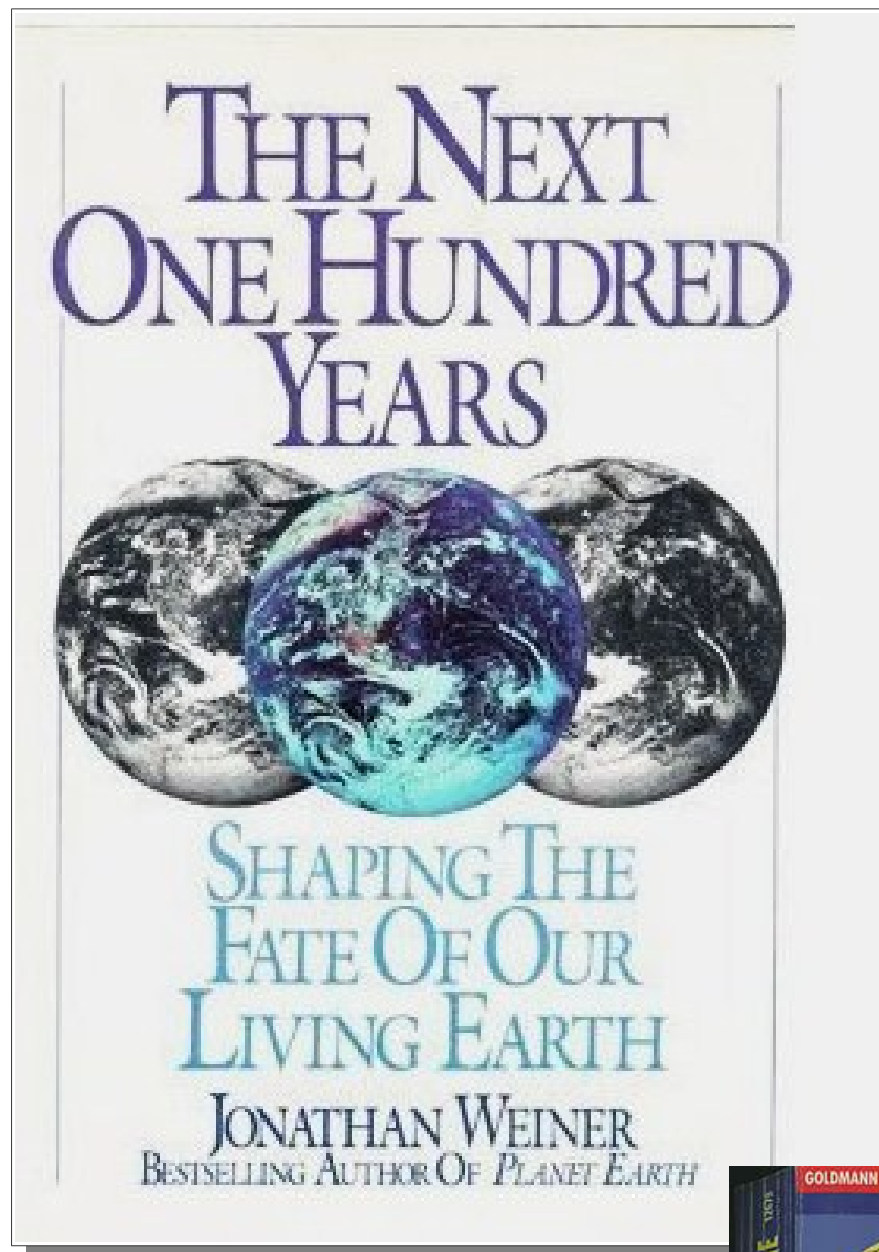
Wenn wir fünf Gigatonnen Kohlenstoff zugleich an einem Ort in die Luft blasen würden, in einer einzigen gewaltigen Explosion, wäre das ein Schauspiel wie der Feuerball, der sich in der Wüste bei ALAMOGORDO erhob. Staub und Rauch würden aufsteigen. Blitze würden durch den Staub zucken. Eine Feuersäule würde sich höher in den Himmel und weiter in die Zukunft zu erstrecken scheinen, als das Auge sehen kann.

Beim Trinity-Versuch erinnerte sich Oppenheimer einer Zeile aus dem <Bhagavadgita>: *»Nun bin ich der Tod geworden, der Zerstörer der Welten.«* Oppenheimers Nachbar zur Rechten, Bainbridge, rief: *»Nun sind wir alle miteinander Hurensöhne!«*

Wir reagieren nicht auf Kräfte, die sich im Zeitlupentempo entladen. Wir achten nicht angemessen auf das Unsichtbare. Aber wir begreifen Explosionen. Fünf Gigatonnen Kohlenstoff werden in einem Jahr von der Menschensphäre freigesetzt; das entspräche in der Lithosphäre dem Ausbruch von einhundert Tamboras.

Es wäre ein merkwürdiges Erlebnis, zu sehen, wie fünf Gigatonnen Kohlenstoff in die Luft gehen. Menschen, die uns danach begegneten, würden es unseren Gesichtern ansehen können. Ein Physiker aus Los Alamos sah die Busladungen der Experimentatoren aus ALAMOGORDO zurückkehren: *»Ich begriff, daß ihre Hoffnungen und Erwartungen für die Zukunft durch etwas sehr Ernstes und Gewaltiges auf das tiefste erschüttert worden waren.«*

Noch lange nachdem der Wind die Wolke zerstreut hätte, würde sie in unseren Köpfen verweilen. Wir würden ihren Anblick in uns tragen wie jene Zeugen der Explosion in der Wüste. Wir würden begreifen, daß die Welt nie wieder dieselbe sein könnte.



Inhalt

Nachwort 1995 zur Taschenbuchausgabe (273)

Anmerkungen und Quellenangaben (279)

Dank (331)

Register (335-343)

1 Die Frage (9)

2 Kleine Details (21)

3 Keelings Kurve (33)

4 Atropos (47)

5 Langsames Heureka (69)

6 Der erste Sommer des 3. Jahrtausends (103)

7 Die sieben Sphären (131)

8 Ozonlöcher (155)

9 Lovejoys Inseln (185) Über Artensterben

10 Das Orakel Gaias (215) Über James Lovelock

11 Die neue Frage (239-272)

Anmerkungen und Quellenangaben

279

1. Die Frage – Seite 9

Seite 10 den ganzen langen Weg zum Mars und zurück

Raumfahrer werden auf künstliche ÖkoSphären und ein Höchstmaß an Erfahrung angewiesen sein. Mars, der erdnächste Planet, ist bei geringster Erdentfernung rund sechzig Millionen Kilometer weit weg. Alpha Centauri ist vier Lichtjahre von der Erde entfernt — »ein wenig weiter, als man spucken kann«, wie es ein Astronom ausdrückte.

Seite 11 viereinhalb Milliarden Jahre alt

Wissenschaftler schätzen das Alter unseres Planeten und des Sonnensystems, indem sie den Verfallszustand radioaktiver Minerale untersuchen. Diese Technik ist als radiometrische oder absolute Datierungsmethode bekannt. Siehe zum Beispiel Lawrence Badash, The Age of the Earth Debate, in: Scientific American 261 (August 1989), S. 90-96.

Nach Meinung der Geologen hat sich die Erde vor etwa viereinhalb Milliarden Jahren als glutflüssiger Ball geformt. Die Geologen glauben, daß sich der Ball innerhalb einiger Jahrillionen weit genug abgekühlt hat, um eine Kruste zu bilden. Wenn das zutrifft, entwickelte sich die Lithosphäre vor rund 4,2 Milliarden Jahren. Siehe Preston Cloud, The Late Hadean Surface, in: Oasis in Space, Earth History from the Beginning, New York (W.W. Norton & Company) 1988, S.40.

Seite 11/12 Wasser und Luft

Siehe Preston Cloud, Sources of Air and Water, in: Oasis, S. 37-40.

Seite 12 Vernadsky

Vladimir Vernadskys Die Biosphäre kam 1926 in Russisch und 1929 in Französisch heraus. Es erschien erst 1986 in Englisch; eine deutsche Ausgabe ist nicht lieferbar.

Siehe auch G. Evelyn Hutchinson, The Biosphere, in: Scientific American 223 (September 1970), S. 44-53, und Preston Cloud, The Biosphere, in: Scientific American 249 (September 1983), S. 176-189.

Seite 12 konzentrische Schalen

Das hat etwas von der Weltsicht des Gemäldes Die Schöpfung und die Vertreibung Adams und Evas aus dem Paradies an sich, das Giovanni di Paolo um das Jahr 1445 in Siena malte. Di Paolo stellte das Universum als eine Anordnung konzentrischer Kreise dar. Die braune, felsige Sphäre sitzt in der Mitte, umgeben von den Sphären des Wassers, der Luft und des Feuers. Auf di Paolos Gemälde scheint Gott streng in den Raum zu deuten, während ein Engel dem ersten Mann und der ersten Frau den Garten Eden zeigt.

Seite 13 die ersten Spuren

Diese Eiszeiten betrafen etwa ebenso große Areale wie die vielen Eiszeiten, die die Erde in den letzten Jahrillionen erlebte, dauerten aber entschieden länger. Geologen entdeckten Spuren präkambrischer Eiszeiten, die einen großen Teil Nordamerikas mit Eis überzogen, von Wisconsin bis zum Oberen See und zum subarktischen Kanada. Preston Cloud, Oldest Extensive Ice Ages, in: Oasis, S. 223 ff.

Seite 13 ohne große Verzerrung

Charles J. Lumsden / Edward O. Wilson, Promethean Fire, Reflections on the Origin of Mind, Cambridge (Harvard University Press) 1983.

Seite 13 doppelt Weiser Mensch

Vor über einer Million Jahren lebten in Afrika Menschen, die uns in Körperbau und Gehirngröße sehr ähnlich waren. Allerdings benutzten sie ihre Gehirne nicht, zumindest nicht in einer Art, die für Archäologen lesbare Spuren hinterlassen hätte. Erst später, in den letzten fünfzigtausend Jahren, begannen Menschen ziemlich unvermittelt und aus bisher unbekanntem Gründen, sich mit Schmuck zu behängen, die Wände ihrer Höhlen zu bemalen und in immer größeren Gruppen zusammenzuleben.

Ihr Verhalten war so neuartig, daß die Anthropologen sie Homo sapiens sapiens nannten, Doppelt Weiser Mensch, um sie vom älteren und einfacher lebenden Homo sapiens zu unterscheiden.

Das war ein großer Durchbruch. Er bezeichnete den Moment, in dem der Geist in Erscheinung trat — oder zumindest, in dem der Geist anfang, die Welt zu verändern. Das Gehirn ist über eine Million Jahre alt, aber der Menscheng Geist als geologische Kraft wurde erst vor kurzer Zeit geboren.

John E. Pfeiffer, The Emergence of Humankind, 4th edition, New York (Harper & Row Publishers) 1985.

Ders., The Creative Explosion, Ithaca, New York (Cornell University Press) 1982.

Seite 14 Noosphäre

Vladimir Vernadsky, The Biosphere and the Noosphere, in: American Scientist (Januar 1945), S. 1-12. Vernadsky starb, als der Artikel in Druck ging.

2. Kleine Details

Seite 23 Frühstücksflocken knuspriger

Charles D. Keeling, A chemist thinks about the future, Antrittsvorlesung am Scripps Institute of Oceanography, 29. Mai 1969, abgedruckt in: Archives of Environmental Health 20 (Juni 1970), S. 764-777.

Seite 24 van Helmont

Stephen Toulmin/June Goodfield, The Architecture of Matter, Chicago (The University of Chicago Press) 1962, S. 150-156.

Seite 24 Joseph Black

Henry Guerlac, Joseph Black and Fixed Air: A bicentenary retrospective, with some new or little known material, in: Isis 48 (1957), S. 433-456.

Seite 25 – Unter denen, die es zu messen versuchten

E. A. Letts/R. F. Blake, The carbonic anhydride of the atmosphere, in Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society 9 (März 1900), S. 107-119.

Seite 26 Reiset

Jean Reiset, Recherches sur la proportion de l'acide carbonique dans l'air, in: Comptes Rendus 90 (1880), S. 1144-1148

Ders., Proportion de l'acide carbonique dans l'air: response ä M. Marie-Davy, Brief in: Comptes Rendus 90 (1880), S.1457ff.

Keeling und einer seiner Studenten haben die im 19. Jahrhundert gemachten Versuche, Kohlendioxyd zu messen, nachvollzogen. Keeling hält die Messungen Reiset für die besten. Eric From/Charles D. Keeling, Reassessment of late 19th Century atmospheric carbon dioxide variations in the air of western Europe and the British Isles based on an unpublished analysis of contemporary air masses by G. S. Callender, in: Tellus

Seite 26 Kurt Buch

Kurt Buch, Der Kohlendioxydgehalt der Luft als Indikator der meteorologischen Luftqualität, in: Eripainos Geophisica 3 (1948), S. 63-79. Zitiert von Charles D. Keeling in seinem Artikel The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas, in: Geochimica et Cosmochimica Acta 13 (1958), S. 322-334.

Seite 28 – Er entdeckte eine Regelmäßigkeit

Der tägliche Anstieg und Abfall des Kohlendioxydgehalts der Luft waren schon zuvor beobachtet worden. Ja, er war so auffällig, daß ihn bereits de Saussure d. J., einer der ersten Forscher, die im 19. Jahrhundert Kohlendioxyd maßen, feststellte. Er betrachtete die Entdeckung dieser Schwankungen als »eines der bemerkenswertesten Ergebnisse« seiner Laufbahn, obwohl er sie nie eindeutig nachgewiesen hat.

Der tägliche Anstieg und Abfall dieses Gases wurde 1879 durch einen jungen britischen Forscher nachgewiesen. George Frederick Armstrong verbrachte in jenem Jahr den ganzen Sommer und den größten Teil des Herbstes damit, das Gas in einem Garten im englischen Grasmere zu messen. Das Wetter war »außergewöhnlich feucht und trüb«, heißt es lapidar in seinem Bericht. In Wirklichkeit war es so, daß — obwohl er geplant hatte, die Gasmessungen bei Tag und Nacht durchzuführen — »das Wetter es zu einer zwar nicht undurchführbaren, aber doch unerfreulichen Aufgabe machte, besonders mitten in der Nacht, die Gefäße im Freien mit Luft zu füllen, ohne daß zugleich ein paar Regentropfen mit in die Behälter fielen, obwohl bei dieser Operation die größte Sorgfalt angewandt wurde.« G. F. Armstrong, On the diurnal Variation in the amount of carbon dioxide in the air, in: Proceedings of the Royal Society 30 (1880), S. 343-355.

Meine Tabelle des täglichen Anstiegs und Abfalls des Kohlendioxyds in der Luft im Yellowstonepark habe ich nach dem Artikel von Charles D.Keeling, The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas, in: Geochimica et Cosmochimica Acta 13 (1958), S. 326, erstellt.

Seite 30 Öffnen sich bei Sonnenaufgang

Solange den Blättern genug Wasser zur Verfügung steht. Die Poren haben die Aufgabe, Wasser aufzubewahren, und sie schließen sich auch tagsüber, wenn dies nötig ist.

3. Keelings Kurve

Seite 33 machte sich kaum jemand Gedanken

Die Geschichte dieses Gegenstandes wartet noch auf eine umfassende Darstellung. Die beste heute erhältliche Zusammenfassung findet man in: Roger Revelle, The scientific history of carbon dioxide, in: E. T. Sundquist/W. S. Broecker (Hrsg.), The Carbon Cycle and Atmospheric Co₂: Natural Variations Archean to Present, Geophysical Monograph 32, Washington, D. C. (American Geophysical Union), 1985, S. 1-4. Revelles Zusammenfassung führt die wichtigsten Werke über dieses Gebiet auf.

Seite 33 Fourier war der erste

Fourier nannte die Frage der globalen Temperaturen »eine der wichtigsten und schwierigsten der gesamten Naturphilosophie«. J. B. Fourier, Memoires de VAcademie Royale des Sciences de L'Institut de France (1827), S.569. Zitiert in: V. Ramanathan, The Greenhouse Theory of Climate Change: A Test by an Inadvertend Experiment, in: Science 240 (15. April 1988), S. 293-298.

Seite 33 englischer Physiker namens John Tyndall

Tyndall vermerkte, daß eine leichte Veränderung der Konzentration jedes Treibhausgases in der Atmosphäre »eine Änderung des Klimas nach sich ziehen muß«. Ja, er schrieb, daß Veränderungen dieser Art »all die Wandlungen des Klimas hervorgerufen haben könnten, die bei den Untersuchungen der Geologen entdeckt werden«.

John Tyndall in: The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science (September 1861), S. 169-194 u. 273-285.

Seite 36 Arrhenius erklärte es

Svante Arrhenius, On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground, in: The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science (April 1896), S. 237-276.

Seite 37 Callendar fand Hinweise

George S. Callendar, The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature, in: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 64 (1938), S. 223-240.

Callendar gewann nie viele Anhänger. Die ihm verfügbaren Messungen waren so spärlich und widersprüchlich, daß ihm der Nachweis des tatsächlichen Anstiegs des Kohlendioxyds nicht gelang. Siehe zum Beispiel die seiner Darstellung vor der Royal Society 1938 folgende Diskussion. Im Protokoll heißt es: »Mr. J. H. Coste gratulierte Mr. Callendar zu seinem Mut und seiner Ausdauer. Er würde es begrüßen, ein paar praktische Punkte zu klären. Erstens, nahm der CO₂-Gehalt der Luft tatsächlich zu? Er war früher mit .04 % angegeben und nach Verbesserung der chemischen Analysemethoden auf .035 % herabgesetzt worden, und er, Mr. Coste, halte es für zweifelhaft, ob die Differenz, die Mr. Callendar geltend machte, tatsächlich existiere.«

Seite 37 Die beiden faßten die neue Situation Roger Revelle/Hans E. Suess, Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase in atmospheric CO₂ during the past decades, in: Tellus 9 (1957), S. 18-27.

Revelle merkte an: »Callendar behauptete, das Kohlendioxyd könne sich in der Atmosphäre aufbauen. Die Frage lautete eigentlich, ob der größte Teil des Gases in die Meere gelangte oder nicht.

In den Meeren gibt es etwa sechzigmal so viel Kohlendioxyd wie in der Atmosphäre. Die meisten Leute waren der Ansicht, daß neunundfünfzig Sechzigstel [der Kohlendioxydemissionen des industriellen Zeitalters] in die Meere gelangten und nur rund ein Sechzigstel in die Atmosphäre. Hans Suess und ich dachten ähnlich. Was wir in unseren Arbeiten zeigten, war, daß etwa die Hälfte des Kohlendioxyds [weil das Meerwasser aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung als Puffer wirkt] in der Atmosphäre verblieb und die andere Hälfte ins Wasser ging. Das ist als der Revelle-Effekt bekannt. (Tatsächlich war es meine Idee. Hans begriff den Puffereffekt nicht ganz.)«

Seite 38 Als Keeling mit der magischen Zahl

Als ich über Keelings frühere Arbeiten schrieb, benutzte ich hauptsächlich drei Quellen: Interviews mit Keeling selbst, Revelle und Kollegen; die unveröffentlichten Notizen für einen autobiographischen Vortrag, den Keeling am 10. Dezember 1982 bei dem Wintertreffen der American Geophysical Union in San Francisco hielt; und eine kurze Schrift Keelings, The influence of Mauna Loa Observatory on the development of atmospheric CO₂ research, in: John Miller (Hrsg.), Mauna Loa Observatory, a 20th Anniversary Report (U.S. Department of Commerce: NOAA Special Report), 1978.

Seite 39 ein neues Gerät zur Gasanalyse Das Netz Keelings zur Kohlendioxydmessung war nicht das erste

seiner Art. Ein bedeutender schwedischer Meteorologe, Carl Gustav Rossby, hatte schon Mitte der fünfziger Jahre ein voll ausgereiftes Netz in Skandinavien installiert. Unglücklicherweise basierte Rossbys Netz auf den Methoden des alten Kohlendioxydforschers Kurt Buch. Diese Methoden erforderten keinen großen Aufwand, führten aber zu ebenso unzuverlässigen Werten wie die des 19. Jahrhunderts.

Naturgemäß äußerte Rossby, der an der Planung des IGY beteiligt war, Zweifel an dem unbekanntem Doktor Keeling und seinen ausgefallenen Plänen.

»Ich sah ihn nur einmal 1956 bei einem Planungstreffen des IGY am Scripps«, schreibt Keeling. »Jemand zeigte ihn mir während einer Pause auf der anderen Seite einer Wiese. Ich ging auf ihn zu, um ihn zu begrüßen, und er bemerkte zur Aufklärung einiger Bekannter, die bei ihm waren: »Ah, ter junke Mann mit ter Maschine!« (Keeling [1978] S.39)

Seite 40 »Ich bekam Angst« Keeling (1978), S. 40.

Seite 41 Die Daten des ersten Jahres Meine Tabelle vom Anstieg und Abfall des Kohlendioxyds am Mauna Loa habe ich nach CD. Keeling, The influence of Mauna Loa Observatory, S. 49, erstellt.

Seite 42 Die Atmung eines Planeten

»Vielleicht ist Atmung nicht genau das richtige Wort«, schreibt Keeling. »Aber es ist das beste, das wir haben. Es ist mit dem altindischen atman verwandt, das >Hauch< oder >Seele< bedeutet. Weshalb sollten Wasser, Pflanzen oder Planeten nicht atmen? Wir wollen bei dem Wort bleiben. Wir müßten ohnehin noch klären, was Atmung überhaupt ist.

Es gehört zu den (wenn auch unsichtbaren) Schönheiten der Natur, daß ein Wald einmal am Tag atmet und die Biosphäre einmal pro Jahr. Wie Thoreau schreibt: >Der Tag ist eine Kurzfassung des Jahres. Die Nacht ist ein Winter, Morgen und Abend sind Frühling und Herbst, und der Mittag ist der Sommer.<<

Seite 42 Das war der Beweis

C. D. Keeling, The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere, in: Tellus 12 (1960), S. 200-203.

Seite 42 persönlich verantwortlich

In seiner Habilitationsschrift am Scripps schrieb Keeling über den Aufstieg des Kohlendioxyds: »Ich bin in gewisser Hinsicht [dafür] verantwortlich, weil ich seine Existenz wissenschaftlich nachgewiesen habe.« Keeling (1970), S.766

Seite 43 Keelings Kurve

Tatsächlich handelt es sich nur um einen kleinen Ausschnitt aus Keelings Kurve, die mit dem Jahr 1958 beginnt und sich so weit in die Zukunft fortsetzen wird, wie sich Menschen um ihre Atmosphäre sorgen können. Meine Kurve habe ich nach Keeling, Influence of Mauna Loa, S. 50, erstellt.

Seite 43 länger und länger

Diese Kurve übertreibt den Trend, um ihn hervorzuheben. Im richtigen Maßstab dargestellt, scheint die Veränderung in der Atmung der Welt nicht so beeindruckend. Trotzdem ist sie signifikant.

Die Biosphäre atmet jährlich rund hundert Milliarden Tonnen Kohlenstoff ein und aus. Die Amplitude dieser Atemzüge hat zwischen den Jahren 1958 und 1982 um fast zwanzig Prozent zugenommen. Demnach handelt es sich um eine große globale Veränderung.

R. Bacastow/C. D. Keeling u. a., Seasonal amplitude increase in atmospheric CO₂ concentration at Mauna Loa, Hawaii. 1959-1982, in: Journal of Geophysical Research 90 (1985), S. 10529-10540.

Seite 44 nahm einmal einen Ruderfußkrebs

Winona B. Vernberg/Bruce C. Coull u.a., Reliability of laboratory metabolic measurements of meiofauna, in: Journal of the Fisheries Resources Board of Canada 34 (1977), S. 164-167.

Seite 44 höher und höher

Wenn die Experimentatoren dem Ruderfußkrebs kein Sandkorn zukommen ließen, würde die Respirationsrate des sich wild umherwerfenden Tierchens um mehr als fünfzig Prozent steigen. Die Atmungsrate würde sich nicht mehr beruhigen und der Ruderfußkrebs sich zu Tode schlagen. Vernberg/Coull u.a. (1977), S.165.

Seite 45 in unseren Gärten

R. A. Houghton, Terrestrial metabolism and atmospheric CO₂ concentrations, in: BioScience 37 (1987), S.672.

Seite 46 Etwas anderes gehe vor

R. A. Houghton, Biotic changes consistent with the increased seasonal amplitude of atmospheric CO₂ concentrations, in: Journal of Geophysical Research 92 (1987), S. 4223-4230.

4. Atropos

Seite 47 das Naheliegende

CD. Keeling, Industrial production of carbon dioxide from fossil fuels and limestone, in: Tellus 25 (1973), S. 174-198.

Es ist schwierig, die Wirtschaftsakten der ganzen Welt jährlich zu kompilieren und in Kohlendioxydstatistiken zu übersetzen. Jahrelang hat Ralph Rotty vom Institute for Energy Analysis in Oak Ridge, Tennessee, sich dieser Arbeit gewidmet. Als Rotty im Frühjahr 1988 starb, führte sein Assistent Gregg Marland sie fort.

Seite 48 Allein in jenem Jahr

Keelings Wert für 1958 wäre sogar noch höher ausgefallen, hätte er sich nicht bemüht, seine Daten um die überhöhten chinesischen Angaben zur Kohlenproduktion zu bereinigen.

Seite 48 fünf Milliarden Tonnen

Fünf Milliarden Tonnen reiner Kohlenstoff. Natürlich wird jedes Kohlenstoffatom, das in die Atmosphäre gelangt, mit zwei Atomen Sauerstoff zu einem Molekül des Kohlendioxyds, CO₂, kombiniert.

Um Kohlenstoffstatistiken in Kohlendioxydstatistiken zu übersetzen, multipliziert man die Werte mit 3,664. So bläst zum Beispiel jeder menschliche Zeitgenosse alljährlich mehr als eine Tonne Kohlenstoff in die Luft. Jede Tonne Kohlenstoff wird zu 3,664 Tonnen Kohlendioxyd.

Die gesamte menschliche Bevölkerung des Planeten befördert mehr als fünf Milliarden Tonnen Kohlenstoff

durch Verbrennen fossiler Brennstoffe in die Luft. Und fünf Milliarden Tonnen Kohlenstoff ergeben über achtzehn Milliarden Tonnen Kohlendioxyd.

Seite 49 Ökonomische Daten Diese Daten wurden von Forschern der Vereinten Nationen zusammengestellt und schon von Revelle und Suess veröffentlicht. Keeling revidierte die Umsetzungsfaktoren, die Revelle und Suess benutzt hatten, und übersetzte die Daten in Angaben zur Emission von Kohlendioxyd.

Seite 49 mehr als sechsundsiebzig Milliarden Tonnen Siehe zum Beispiel William C. Clark (Hrsg.), Carbon Dioxide Review: 1982, New York (Oxford University Press 1982), S. 459.

Die Atmosphäre beinhaltet heute insgesamt ungefähr siebenhundertfünfzig Milliarden Tonnen Kohlenstoff. Die Gesamtmasse der Atmosphäre beträgt etwa 5 662 000 000 Milliarden Tonnen. K. E. Trenberth, Seasonal variations in global sea-level pressure and the total mass of the atmosphere, in: Journal of Geophysical Research 86 (1981), S. 5238-5246.

Seite 50 hundert Tamboras

Persönliche Mitteilung von Haraldur Sigurdsson.

[Tatsächlich entströmt das meiste Kohlendioxyd der Lithosphäre nicht Vulkanen auf dem Festland, sondern vulkanischen Schloten auf dem Meeresgrund.](#) David Des Marais, ein Forscher am Arnes Research Center der NASA in Mountain View, Kalifornien, schätzt, daß rund neunzig Prozent des Kohlendioxyds aus der Lithosphäre dem Meeresgrund entstammen — etwa dreißig bis fünfunddreißig Millionen Tonnen Kohlenstoff pro Jahr. Auch dieser Beitrag ist im Vergleich zur Produktion der Menschensphäre von fünf Milliarden Tonnen Kohlenstoff pro Jahr armselig.

Messungen der vulkanischen Gesamtemissionen der Lithosphäre sind sehr unsicher und widersprüchlich. Immerhin stimmen alle Schätzungen darin überein, daß die Lithosphäre hundert- oder tausendmal weniger Kohlendioxyd pro Jahr als die Menschensphäre freisetzt. Siehe Steven W. Leavitt, Annual volcanic carbon dioxide emission: An estimate from eruption chronologies, in: Environmental Geology 4 (1982), S. 15-21.

285

Daher ist es unwahrscheinlich, daß Kohlendioxyd aus Vulkanen die Menschen in den nächsten hundert Jahren in Mitleidenschaft zieht. Allerdings können Vulkane unser Klima durch ihre Schwefel-Emissionen beeinflussen und tun es wohl auch (s. Kapitel 7). Auf kurze Sicht (und für Geowissenschaftler sind hundert Jahre eine kurze Sicht) ist es dieser vulkanische Schwefel, der von Belang ist. Siehe zum Beispiel Haraldur Sigurdsson, Volcanic pollution and climate: The 1783 lake eruption, in: Eos 63, Nummer 32, (10. August 1982), S.601f.

Seite 50 (Fußnote) Die Verbrennung der ersten fossilen Brennstoffe

Eugene Ayres, The age of fossil fuels, in: Man's Role in Changing the Face of the Earth, Chicago (The University of Chicago Press) 1956, S. 367-381.

Seite 51 Die Schweizer verbrennen

Zum Beispiel verbrannten die Schweizer 1986 1,8 Tonnen Kohlenstoff pro Person. Im selben Jahr verbrannte jeder amerikanische Bürger fast dreimal soviel, nämlich 5,1 Tonnen.

Das verschwenderischste Land der Erde ist Westdeutschland: Die Deutschen verbrannten in jenem Jahr pro Person 5,5 Tonnen Kohlenstoff. Bei den Sowjets waren es 3,6, bei den Chinesen 0,5 Tonnen. In Bangladesch wurde am wenigsten verbrannt: nur 0,03 Tonnen pro Person. (Die Zahlen stammen aus dem Carbon Dioxide Information Analysis Center des amerikanischen Energieministeriums.)

Seite 52 die Luft in der nördlichen Hemisphäre

Siehe zum Beispiel C. D. Keeling, Atmospheric and oceanographic measurements needed for establishment of data base, in: The Potential Effects of Carbon Dioxide-Induced Climatic Changes in Alaska, Proceedings of a Conference, Fairbanks, Alaska, 778. April 1982 (School of Agriculture and Land Resources Management, University of Alaska, Fairbanks, Miscellaneous Publications 83-1,1984), S. 11-22. Auf Seite 19 ist die mittlere jährliche Konzentration des Kohlendioxyds in der Atmosphäre für die Jahre 1962, 1968 und 1980 nach Breitengraden aufgeführt.

Seite 53 »Da wir alle sterblich sind«

Joseph Brodsky, The New York Times Book Review (12. Juni 1988), S. 25.

Seite 54 verbleiben lange in der Luft

Siehe zum Beispiel R. T. Watson/M. A. Geller u. a., Present State of Knowledge of the Upper Atmosphere: An Assessment Report (NASA Reference Publication, 1162, Mai 1986), S. 7.

William K. Stevens, with cloudy crystal balls, scientists race to assess global warming, in: The New York Times 7 (Februar 1989).

Seite 54 Thomas Midgley

Edward Farber, Great Chemists, New York (Inter-science Publishers) 1961, S. 1595.

Seite 55 auf das Sechsfache

Scientific American (Dezember 1935).

Seite 55 zwanzig Prozent im Jahr

Die Angaben über die Jahresproduktion von Fluorchlorkohlenwasserstoff wurden von der Chemical Manufactures Association in Washington, D.C., zusammengestellt.

286

Seite 55 aufgrund einer Laune der Natur

Schon 1975 warnte Ramanathan davor, daß die FCKWs das Klima des Planeten verändern könnten. V. Ramanathan, Greenhouse effect due to chlorofluorocarbons: Climatic implications, in: Science 190 (3. Oktober 1975), S.50f.

Allerdings schlummerte das Problem, bis Ramanathan und seine Kollegen 1985 eine umfangreiche Schrift zur Warnung vor Spurengasen veröffentlichten.

V. Ramanathan/R. J. Cicerone u. a., Trace gas trends and their potential role in climatic change, in: Journal of Geophysical Research 90 (20. Juni 1985), S. 5547-5566.

Seite 56 Die beiden Erfindungen

Midgleys Robert E. Dickinson/Ralph J. Cicerone, Future global warming from atmospheric trace gases, in: Nature 319 (9. Januar 1986), S. 109-115.

Seite 56 zum hundertsten Jahrestag

Die Zahlen stammen von der Chemical Manufactures Association.

Amy Ng/Clair C. Patterson, Natural concentrations of lead in ancient Arctic and Antarctic ice, in: Geochimica et Cosmochimica Acta 45 (1981), S. 2109-2121.

David A. Peel, Is lead pollution of the atmosphere a global problem?, in: Nature 323 (18. September 1986), S. 200.

Claude F. Boutron/Clair C. Patterson, Lead concentration changes in Antarctic ice during the

Wisconsin/Holocene transition, in: Nature 323 (18. September 1986), S. 222-225.

Seite 57 Methan ist ebenfalls

D. H. Ehhalt, Methane in the global atmosphere, in: Environment 27 (Dezember 1985), S.6-12 u. 30-33.

Ralph J. Cicerone, Aussage vor dem Umweltausschuß des amerikanischen Senats in Washington, D.C., am 10. Dezember 1985.

Eine neuere Studie ergab, daß ungefähr einundzwanzig Prozent des heute in der Atmosphäre befindlichen Methans von fossilem Kohlenstoff herrühren. M. Wahlen/N. Tanka u. a., Carbon-14 in methane sources and in atmospheric methane: The contributions from fossile carbon, in: Science 245 (21. Juli 1989), S. 286.

Seite 59 Holland Tunnel

Heart disease of tunnel officers studied, in: The New York Times (19. April 1987).

Seite 61 die Bevölkerung Encyclopaedia Britannica,

15. Aufl., Stichwörter Colonialism (c. 1450-c. 1970) und Migration, Human.

Herbert Moller (Hrsg.), Population Movements in Modern European History, New York (Macmillan Co.), 1964.

Maldwyn Allen Jones, American Immigration. Chicago History of American Civilization, hg. v. Daniel J. Boorstin, Chicago (The University of Chicago Press) 1960.

Seite 62 dreiunddreißig Millionen Immigranten Frank Thistlethwaite, Migration from Europe Overseas in the Nineteenth and Twentieth Centuries, in: H. Moller, Population Movements, S. 74.

Seite 62 Bevölkerungsanstieg in Europa Die Bevölkerung Europas liegt heute bei etwa fünfhundert Millionen. Bei der gegenwärtigen Vermehrungsrate wird sich diese Zahl den Voraussagen des Population Reference Bureau in Washington, D. C, zufolge erst in zweihundertsechzig Jahren verdoppeln.

287

Seite 62 seit 1850 verdreifacht Clark (1982), S. 45.

Seite 62 tausend Schiffe Jones (1960), S. 103.

Seite 62 Menschliche Ladung Emigranten »wurden zu einer wesentlichen Ladung für ungenutzten Frachtraum in Baumwoll- oder Nutzholzschiffen auf der Rückfahrt«, schreibt ein Historiker. Sie waren Teil des ausgedehnten Handels, der Amerika und Europa in einer Art Wirtschaftsgemeinschaft verband. Thistlethwaite(1964), S.84f.

Seite 62 Holzarbeiter zogen 1850 John T. Curtis, The modification of mid-latitude grasslands and forests by man, in: Man's Role, S. 721-736.

Seite 62 verwüsteten »Barrens« Siehe auch John Eastman, in: Natural History (Januar 1986), S. 10-16.

Seite 63 goldenen Tagen der Eisenbahn Jones (1960), S. 189.

Seite 63 knapp hunderttausend Kilometer Eisenbahnlinien George P. Marsh, The Earth as Modified by

Human Action: A New Edition of Man and Nature, New York (Scribner, Armstrong) 1874, S. 356.

Seite 63 »Dahin geht das Holz«

Ein Stück Holz und zwei Nägel aus der Hütte in Walden kann man im Concord-Museum bewundern. Der Rest der Fichtenbretter und Dachschindeln wurde längst in Kohlendioxyd verwandelt.

Seite 64 John T. Curtis Curtis, Modification, S. 721-736.

Seite 64 In einem dichten Wald J. S. Olson/J. A. Watts u.a., Carbon in live Vegetation of major world ecosystems. Diese Zahlen befinden sich auf einem vierfarbigen Poster mit dem Titel: Major World Ecosystem Complexes Ranked by Carbon in Live Vegetation, das dem Buch von Clark (1982) beiliegt.

Seite 65 einen kleinen Teil Solange der Baum noch jung ist und wächst, braucht er einen großen Teil des der Luft entnommenen Kohlenstoffs zum Aufbau seines Stamms und der Zweige. Dieser Kohlenstoff kehrt erst in die Luft zurück, wenn der Baum stirbt.

Hat der Baum allerdings seine volle Größe erreicht, geht der überwiegende Teil des Kohlenstoffs, den er der Atmosphäre entnimmt, in die Blätter oder immergrünen Nadeln. Das meiste davon strömt unmittelbar in die Luft zurück, wenn die Blätter oder Nadeln fallen. Aber selbst dann entweicht ein kleiner Teil des Kohlenstoffs lange Zeit nicht in die Luft, sondern ist im dicken Humus des Waldbodens begraben.

Seite 65 Die Pionierexplosion A. T. Wilson, Pioneer agriculture explosion and CO2 levels in the atmosphere, in: Nature 273 (4. Mai 1978), S.40f.

R. A. Houghton/J. E. Hobbie u. a., Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO2 to the atmosphere, in: Ecological Monographs 53 (1983), S. 235-262.

288

Seite 66 riesige Summe

Wir vergessen zuweilen, wie jung das Zeitalter der fossilen Brennstoffe noch ist. Erst in diesem Jahrhundert begann die Menschensphäre, mehr fossile Brennstoffe als Holz zu verbrennen. Das Übergangsdatum ist ungewiß; es könnte, wie Keeling meint, schon 1900 oder auch erst 1970 gewesen sein (persönliche Mitteilung).

Seite 66 auf Kollisionskurs

Zu Beginn der Pionierzeit war die Welt in einer langen kühlen Periode gefangen, die manchmal als »Kleine Eiszeit« bezeichnet wird. Bald nach Beginn der Rodungen und Verbrennungen ging die »Kleine Eiszeit« vorüber. Die Temperaturen auf dem Planeten stiegen beständig an, und in den dreißiger Jahren hob **die Dust Bowl** den (durch schonungsloses Roden und Pflügen gelockerten) Mutterboden im amerikanischen Mittelwesten in die Lüfte empor und verstreute ihn in heißen trockenen Winden quer über den ganzen Kontinent.

Wilson spricht in seiner Arbeit über die Pionierzeit die Vermutung aus, der in diesen Jahren freigesetzte Kohlenstoff könne »einen Mechanismus in Gang gesetzt« haben, der die globale Abkühlung beendete und die Periode der globalen Erwärmung einleitete.

Wenn das stimmt, hatte der Treibhauseffekt schon in den dreißiger Jahren begonnen, das Wetter der Welt zu verändern, und die Dust Bowl war ihr dramatischer Auftritt gewesen.

Allerdings halten Klimaexperten dies für unzutreffend. Sie stimmen mit Wilson überein, daß der Einfluß der Pioniere gewaltig war, aber sie bezweifeln, daß sie das globale Klima schon 1880 oder 1930 beeinflusst haben könnten. Die Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgasen liefert einen Mechanismus der verzögerten Reaktion. Wahrscheinlich haben wir deren Wirkung noch nicht zu spüren bekommen; es könnte sein, daß wir gerade jetzt beginnen, ihre Wucht zu erfahren.

Seite 66 zweite Phase

Wann endete die erste Pionierexplosion, und wann begann die zweite? Als historischen Anhaltspunkt könnten wir das Datum setzen, an dem die Welt anfang, mehr tropische Wälder als Wälder der gemäßigten Zonen zu verbrennen. Houghton zufolge vollzog sich dieser Übergang irgendwann in den dreißiger Jahren. Seit damals stieg die Rate der Waldverbrennung in den Tropen steil an, während die Verbrennungsrate von Wäldern der gemäßigten Zonen rapide sank (persönliche Mitteilung).

Seite 66 Brasilien, Indonesien... Diese zwölf Länder haben 1980 den meisten Kohlenstoff durch Entwaldung in die Atmosphäre freigesetzt. Sie sind in der Reihenfolge der durch sie freigesetzten Kohlenstoffmengen aufgeführt. Houghton (persönliche Mitteilung).

Seite 66 Der größte Holzimporteur »Japan betreibt fast die Hälfte des Welthandels mit tropischem Nutzholz; ein großer Teil der Importe wird auf Eßstäbchen (elftausend Millionen Paar pro Jahr) und Zementverschalungen verschwendet.« David Swinbanks, Japan faces both ways on timber conservation in tropical forests, in: Nature 362 (9. April 1987), S. 537.

Seite 66 doppelt so groß

Die genaue Menge des durch Entwaldung in die Luft freigesetzten Kohlenstoffs ist sehr umstritten. Einige Forscher schätzen, daß die globale Entwaldung heute jährlich eine Milliarde Tonnen Kohlenstoff freisetzt, was bedeuten würde, daß unsere gegenwärtige Pionierexplosion doppelt so heftig wie die erste ist.

289

Allerdings behaupten George Woodwell, Houghton und andere, daß unsere Explosion noch mehr freisetzt. R.A. Houghton/R.D. Boone u.a., The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux, in: Tellus 39 B (1987), S. 122-139.

Woodwell, Houghton und andere glauben, daß die zweite Pionierexplosion gegen Ende der achtziger Jahre ungefähr drei Milliarden Tonnen Kohlenstoff im Jahr freisetzt. Houghton (persönliche Mitteilung).

Die Unsicherheiten könnten durch umfassende Satellitenbeobachtungen verringert werden, aber das Geld für derartige Untersuchungen ist schwer zu bekommen (siehe auch Kapitel 11).

Houghton fügt hinzu, im Amerika des 19. Jahrhunderts hätten »Farmer, während sie auf dem Weg nach Westen große Waldgebiete rodeten, Neuengland unbeschädigt gelassen. Deshalb konnten große Waldgebiete im Osten nachwachsen ... Der Osten verlor eine Menge Farmer, und ihre Farmen wurden wieder zu Wald. Das ist ein Grund dafür, daß die erste Pionierexplosion nicht so groß war wie unsere, wenn man die Nettofreisetzung von Kohlenstoff in die Atmosphäre betrachtet.

Heute gibt es in den Tropen nicht mehr viele Stellen, an denen der Wald nachwachsen kann.«

Seite 67 Atropos Thoreaus Waiden ist in bezug auf die Dampfmaschine prophetisch: »Wenn alles so wäre, wie es zu sein scheint, und Menschen die Elemente für noble Ziele versklavten! Wenn die Wolke, die über der Maschine schwebt, der Schweiß heroischer Taten wäre oder wohltuend wie die Wolke über dem Land des Farmers, dann würden die Elemente und die Natur selbst freudig die Menschen auf ihren Wegen

begleiten und sie beschützen.«

5. Langsames Heureka

Seite 69 die Wärme noch willkommen

Svante Arrhenius, Das Werden der Welten. Aus dem Schwedischen übersetzt von L. Bamberger, 7. Aufl., Leipzig (Akademische Verlagsgesellschaft) 1921, S. 73.

Seite 69 daß sich die Temperatur der Erde bereits erhöhe Callendar (1938).

Seite 69 ein langfristiges geophysikalisches Experiment Revelle/Suess (1957), S.19f.

Seite 70 »die Entwicklung eines Bewußtseins« William W. Kellogg, Man's impact on climate: The evolution of an awareness, in: Climatic Change 10 (1987), S. 113-136.

Seite 71 Eine der ersten ernst zu nehmenden Analysen Syukuro Manabe/ Richard T. Wetherald, Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity, in: Journal of the Atmospheric Sciences 24 (Mai 1967), S. 241-258.

Seite 71 maßstabgetreues Modell der Erde

Eine leichte verständliche Beschreibung dieser Computermodelle findet man in The twin earth: Computer models of weather and climate, in: Stephen H. Schneider/Randi Londer, The Coevolution of Climate and Life, San Francisco (Sierra Club Books) 1984, S. 205-221.

Dieses Buch bietet klare und lebendige Einführungen in alle Themen der Klimatologie.

290

Seite 73 vereinfachen die Forscher

»Forscher, die vollentwickelte GZMs benutzen, haben fast nie genug Zeit oder Geld, diese Modelle ein Jahrhundert lang laufen zu lassen«, schreibt J. Murray Mitchel. »Nur die sehr stark vereinfachten Versionen solcher Modelle, die Gerald North [einer ihrer Meister] gerne pädagogische Spielzeuge nennt, laufen tatsächlich für das Äquivalent von Jahrhunderten oder Jahrtausenden.«

Seite 73 schmutzige Glaskugeln Wissenschaftler sind gezwungen, »in eine sehr schmutzige Glaskugel zu schauen«, schreibt Stephen Schneider. »Aber die hier erforderliche schwierige Entscheidung besteht genau in der Frage, wie lange wir das Glas säubern sollten, bevor wir auf das, was wir darin gesehen zu haben glauben, reagieren.« Stephen Schneider/L. E. Mesirov, The Genesis Strategy: Climate and Global Survival, New York (Plenum) 1976, S. 149.

Seite 74 Goldilocks-Problem Siehe zum Beispiel James J. Kasting/Owen B. Toon u. a., How climate evolved on the terrestrial planets, in: Scientific American 258 (Februar 1988), S. 90-97.

Seite 75 (Fußnote) zu heiß, um zu sinken Don Anderson, Where on Earth is the Crust?, in: Physics Today 42 (März 1989), S.43.

Seite 76 Atmosphäre des Mars am Boden festfriert Nicht weniger als ein Fünftel der Atmosphäre des Mars

gefriert Forschern zufolge, die von den Viking-sonden der NASA stammende Daten ausgewertet haben, in jedem Winter. Die gefrorene Luft besteht aus festem Kohlendioxid. Sie bildet eine polare Eiskappe, die sich nicht weniger als vierzig Breitengrade weit in Richtung des Marsäquators erstreckt. Auf der Erde würde das bedeuten, daß sich die polare Eiskappe der nördlichen Hemisphäre bis Spanien und die der südlichen Hemisphäre bis Argentinien ausbreitete. Stephen M. Clifford/Ronald Greeley u. a., NASA mars project: evolution of climate and atmosphere, in: Eos (22. November 1988), S. 1595.

Seite 77 mehr über Eis erfahren ehester Langway jr. (persönliche Mitteilung).

Wenige Jahre vor dem IGY hatten Forscher versucht, Proben alter Luft aus Eisbergen zu erhalten. Aber das war ein falscher Ansatz. P. F. Scholander, E. A. Hemmingsen u. a., Composition of gas bubbles in greenland icebergs, in: Journal of Glaciology 3 (März 1961), S. 813-822.

Das eigentliche Eisbohren begann erst während des IGY. Siehe zum Beispiel Henri Bader, United States polar ice and snow studies in the international geophysical year, in: Geophysics and the IGY, American Geophysical Union Publication No. 590, Baltimore (The Lord Baltimore Press, Inc.) 1958, S. 177-181.

C. C. Langway jr., H. Oeschger u. a., The Greenland ice sheet program in perspective, in: Greenland Ice Core: Geophysics, Geochemistry and the Environment, Geophysical Monograph 33, Washington (American Geophysical Union) 1985.

291

Langway hat eine wissenschaftliche Monographie über die Ergebnisse von Untersuchungen sehr alter Eiskerne veröffentlicht. C. C. Langway jr. Stratigraphic analysis of a deep ice core from Greenland, in: Research Report 77 (Cold Regions Research and Engineering Laboratory), Hanover, New Hampshire, Mai 1967.

Seite 77 von plötzlichen Helligkeitsschwankungen Eisexperten können das Isotop Beryllium-10 im Eis als Indikator des Verhaltens der Sonne in den letzten hundertfünfzigtausend Jahren benutzen. Siehe zum Beispiel G. M. Raisbeck, F. Yiou u. a., Evidence for two intervals of enhanced ¹⁰Be deposition in Antarctic ice during the last glacial period, in: Nature 326 (19. März 1987), S. 273-277.

Seite 77 Thera C.U. Hammer/H.B. Clausen u.a., The Minoan eruption of Santorini in Greece dated to 1645 B.C.?, in: Nature 328 (6. August 1987), S. 517ff. Experten für Eiskerne und Experten für Jahresringe bei Bäumen streiten heute über das genaue Datum. Stuart W. Manning/C. U. Hammer u. a., Dating of the Santorini eruption, in: Nature 332 (31. März 1988), S.401f.

Seite 77 Blei in unserer Atemluft Claude F. Boutron/Claire C. Patterson, Lead concentration changes in Antarctic ice during the Wisconsin/Holocene transition, in: Nature 323 (18. September 1986), 222-225.

Seite 78 Sulfatkonzentration P. A. Mayewsky/W. B. Lyons u. a., Sulfate and nitrate concentrations from a south Greenland ice core, in: Science (23. Mai 1986), S. 975 ff.

Seite 78 etwa zehn Volumen-Prozent Hitoshi Shoji/Chester C. Langway jr., Air hydrate inclusions in fresh ice core, in: Nature 298 (5. August 1982), S. 548ff.

Seite 78 Ungewißheit verdunkelte den Forschungsgegenstand Zum Meinungsaustausch zwischen Bonner

und Brown siehe Richard P. Schuster (Hrsg.), The Next Ninety Years, Pasadena (California Institute of Technology Press) 1967, S.171f.

Seite 79 von rund zehn Kilometern ehester Langway jr. (persönliche Mitteilung).

Seite 79 brauchbare Methode gefunden Ernst Moor/Bernhard Stauffer, A new dry extraction System for gases in ice, in: Journal of Glaciology 30 (1984). Die Zahlen wurden in zwei konkurrierenden Labors überprüft. J. M. Barnola/D. Raynaud/A. Neftel/H. Oeschger, Comparison of CO₂ measurements by two laboratories in air from bubbles in polar ice, in: Nature 303 (2. Juni 1983).

Seite 79 Siple Station A, Neftel/E. Moor u. a., Evidence from polar ice cores for the increase in atmospheric CO₂ in the past two centuries, in: Nature 315 (2. Mai 1985), S. 45 ff.

Der Siple-Eiskern bestätigt auch die Pionierexplosion des Kohlendioxyds im 19. Jahrhundert. Neben anderen Zeichen im Eis weisen eine Menge Spuren auf die Verbrennung von Wäldern und die Verrottung von Nutzholz in New York, Michigan, Wyoming, Maine und Kanada hin. Biospheric CO₂ emissions during the past 200 years reconstructed by deconvolution of ice core data, in: Tellus 39B (1987), S. 140-154.

292

Seite 80 Abbildungen Die Abbildungen des Kohlendioxydanstiegs in der Atmosphäre seit 1750 habe ich anhand zweier Quellen erstellt: Neftel/Moor u.a., Evidence Front Polar Ice Cores, S. 45, und Wallace C. Broecker, How to Build a Habitable Planet, Palisades, N.Y. (Eldigio Press) 1985, S. 262.

Seite 80 Wostock J. Jouzel/C. Lorius u. a., Vostock ice core: a continuous isotopic temperature record over the last climatic cycle (160 000 years), in: Nature 329 (1.-7. Oktober 1987), S. 403-408.

J. M. Barnola/D. Raynaud u. a., Vostock ice core provides 160 000 - year record of atmospheric CO₂, in: Nature 329 (1.-7. Oktober 1987), S. 408-414.

C. Genthon/J. M. Barnola u. a., Vostock ice core: climatic response to CO₂ and orbital forcing changes over the last climatic cycle, in: Nature 329 (1.-7. Oktober 1987), S. 414-418.

Seite 81 »diese langwierigen Berechnungen« Arrhenius (1896), S.267.

T. C. Chamberlin, A group of hypotheses bearing on climatic changes, in: The Journal of Geology (Oktober/November 1897), S. 653-683.

Seite 81 sowohl Arrhenius... Es ist nicht überraschend, daß in den Köpfen dieser Forscher das Gespenst der Eiszeit spukte. Die Entdeckung der Eiszeiten war damals noch sehr jung. Louis Agassiz hatte seine Eistheorie erst 1837 formuliert. In jedem der nächsten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts hatten Geologen weitere Indizien dafür ausgegraben, daß das Unglaubliche wirklich geschehen war: Ein bedeutender Teil der Erdoberfläche war nach geologischen Verhältnissen noch vor kurzem unter anderthalb Kilometer dicken Eisschichten begraben gewesen.

Zu der Zeit, als Arrhenius und Chamberlin ihre Aufmerksamkeit dem Kohlendioxyd und dem Treibhauseffekt zuwandten, wurde einigen Wissenschaftlern bewußt, daß sie möglicherweise in einer kurzen Unterbrechung einer langen Serie von Eiszeiten lebten. Aber sie wußten weder, wann sich die Gletscher zurückgezogen hatten, noch, wann sie wiederkommen mochten. Die »Kleine Eiszeit« warf ihren kalten Schatten über ihr Jahrhundert.

Unter diesen Umständen war es natürlich, daß sich Tyndall, Arrhenius und Chamberlin mehr für globale Abkühlung als für globale Erwärmungen interessierten.

Heute wissen die Geologen mehr über die Ursachen und die zeitliche Berechnung der Eiszeiten. Nach ihren günstigsten Schätzungen wird die nächste Eiszeit noch viele Jahrtausende oder sogar Zehntausende von Jahren auf sich warten lassen. Sie ist auf dem Weg, aber es scheint bis zu ihr noch genug Zeit für eine lange heiße Phase auf dem Planeten zu bleiben.

Seite 82 Abbildung Die Abbildung des Anstiegs und Falls des Kohlendioxyds in den letzten hundertsechzigtausend Jahren habe ich nach Barnola/Raynaud u.a., Vostock Ice Core Provides 160000 Year Record, S.410, erstellt.

Seite 82 Abbildung Die Abbildung des Anstiegs und Falls der Erdtemperatur in den letzten hundertsechzigtausend Jahren habe ich ebenfalls nach Barnola/ Raynaud u.a. Vostock ice core provides 160000 year record, S.410, erstellt.

Seite 83 Hauptregler Auch andere Gase sind Regler. Die »Datenbank« in den Eiskernen hat gezeigt, daß nicht nur der Gehalt an Kohlendioxyd, sondern auch der an Methan mit den globalen Temperaturen gestiegen und gefallen ist.

293

B. Stauffer/E. Lochbronner u. a., Methane concentration in the glacial atmo-sphere was only half that of the preindustrial Holocene, in: Nature 332 (28. April 1988), S. 812 ff.

B. Stauffer, G. Fischer u. a., Increase of atmospheric methane recorded in Ant-arctic ice core, in: Science 229 (27. September 1985), S. 1386ff.

M. A. Khalil/R. A. Rasmussen, Atmospheric methane: trends over the last 10 000 years, in: Atmospheric Environment 21 (1987), S. 2445-2452.

Seite 83 Syukuro Manabe Einer der überzeugendsten Aspekte dieses Versuchs besteht darin, daß er eine globale Eiszeit hervorruft: Er kühlt beide Hemisphären zugleich ab. Andere Theorien über die Ursachen von Eiszeiten lassen es möglich erscheinen, daß sich jeweils nur eine Hemisphäre abkühlt. A.J. Broccoli/S. Manabe, The influence of Continental ice, atmospheric CO₂, and land albedo on the climate of the last glacial maximum, in: Climate Dynamics 1 (1987), S. 87-99.

Seite 85 einen günstigen Nebeneffekt Callendar schrieb: »Zum Schluß sei noch angemerkt, daß sich die Verbrennung fossiler Brennstoffe, sei es Torf von der Oberfläche oder Öl aus dreihundert Meter Tiefe, vermutlich in verschiedener Hinsicht als segensreich für die Menschheit auswirken wird, über die Freigabe von Wärme und Kraft hinaus. Zum Beispiel wäre die oben erwähnte leichte Erhöhung der Durchschnittstemperatur an den nördlichen Grenzen der Bodenkultivierung wichtig, und das Wachstum bevorzugt angebaute Pflanzen verhält sich direkt proportional zum Kohlendioxyddruck. Auf jeden Fall sollte die Wiederkehr der tödlichen Eiszeiten für eine unbestimmte Zeit aufgeschoben sein.« Und dann fügt Callendar zuversichtlich hinzu: »Was die Reserven an Brennstoff betrifft, so sind diese in ausreichendem Maß vorhanden, um die Luft mit wenigstens zehnmals soviel Kohlendioxyd anzureichern, wie sie zur Zeit aufweist.« Callendar (1938), S.236.

Seite 87 Abbildung Die Kurve des Anstiegs und Falls der Erdtemperatur seit 1880 habe ich nach J. Hansen/S. Lebedeff, Global surface air temperatures: update through 1978, in: Geophysical Research Letters 15 (1987),

Seite 88 einen alarmierenden Bericht

Am Ende des Berichts steht eine Bitte um langfristige Wettervorhersage. »Nur ein paar akademische Zentren in den Vereinigten Staaten sind daran interessiert, Personal auf diesem Gebiet auszubilden, das heißt, daß wir nur geringe Aussicht haben, das Problem zu lösen, bis entscheidende Schritte unternommen werden.«

A Study of Climatological Research as it Pertains to Intelligence Problems, ein vom Office of Research and Development of the Central Intelligence Agency im August 1974 vorgelegtes Arbeitspapier.

[Kopien dieses kuriosen Dokuments sind durch den Photoduplication Service of the U.S. Library of Congress erhältlich.](#)

Seite 88 Kreideschrift auf einer weißen Wand

K. M. Meyer-Abich, Universität Essen, BRD. Zitiert in: Gene E. Likens (Hrsg.), Some Perspectives of the Major Biogeochemical Cycles, New York (John Wiley&Sons) 1981. Siehe auch: K.M. Meyer-Abich, Chalk on a white wall? On the transformation of climatological facts into political facts, in: J. Ausubel/A. K. Biswas (Hrsg.), Climatic Constraints and Human Activities, IIASA Proceedings Series 10, Elmsford, N.Y. (Pergamon Press) 1980, S. 61-73.

294

Seite 88 Wigley

P.D. Jones/T.M.L. Wigley u.a., Global temperature variations between 1861 and 1984, in: Nature 322 (1986), S. 430-434.

Seite 88 Hansen James Hansen/Sergej Lebedeff, Global trends of measured surface air temperatur, in: Journal of Geophysical Research 92 (20. November 1987), S. 13345-13372.

Seite 88 für die nördliche wie die südliche Hemisphäre P. D. Jones/T. M. L. Wigley u. a., Evidence for global warming in the past decade, in: Nature 332 (28. April 1988), S. 790.

Seite 90 Unsicherheitsbereich Hier ist nicht die Rede von Vorhersagen, sondern von »Hinterhersagen« von Ermittlungen, wie sehr die Erdtemperatur in Anbetracht des in die Luft geblasenen Kohlendioxyds in den letzten hundert Jahren gestiegen sein müßte.

Konservative Computermodelle — die der Konzentration von Treibhausgasen gegenüber verhältnismäßig unsensibel sind - ermitteln, daß sich der Globus nur geringfügig erwärmt haben müßte. Sensible Computermodelle hingegen gelangen zu dem Ergebnis, daß sich der Globus heftiger hätte erwärmen müssen.

In diesem Versuch sind die konservativen Modelle realitätsnäher, weil sich die Erde in den letzten hundert Jahren nur um ein halbes Grad Celsius erwärmt hat. Allerdings sagt dieser »Hinterhersagetest« vielleicht aus technischen Gründen nur wenig darüber aus, wie sich die Erde in Zukunft verhalten wird.

Angenommen, Sie heizen einen Ofen auf 225° Celsius vor und legen einen Braten hinein. Es ist leicht, vorherzusagen, wie heiß das Fleisch schließlich wird: 225°. Aber wie schnell wird die Oberflächentemperatur des Bratens im Ofen in den ersten fünf Minuten ansteigen? Um diese Frage beantworten zu können, müßten Sie eine Menge über das Fleisch wissen. Sie müßten eine Studie dessen anstellen, was Klimaexperten die »thermische Reaktionsträgheit« des Bratens nennen würden. Und selbst dann könnten Sie eine Stunde besser als fünf Minuten vorhersagen.

Nehmen wir jetzt an, Sie würden den Ofen nicht vorheizen, sondern den Schalter sehr, sehr langsam auf 225° drehen, und jemand anders würde die Ofentür einige Male öffnen und schließen, wenn Sie nicht hinschauen. Der Versuch, die Temperatur des Fleisches nach fünf Minuten vorherzusagen, wäre beinahe hoffnungslos; aber Sie könnten immer noch eine Stunde fast so verlässlich vorhersagen wie zuvor.

Was nun die Erde betrifft, so haben wir in den letzten zweihundertfünfzig Jahren in einer sich allmählich steigernden Rate Treibhausgase in die Atmosphäre geblasen, das meiste in den letzten dreißig Jahren. Es ist, als hätten wir den Schalter erst langsam gedreht, dann allmählich immer rascher, und wir drehen ihn immer noch. Wie lange wird der Planet brauchen, um die angezeigte Temperatur zu erreichen? wir wissen es nicht; aber wir wissen, daß wir den Planeten kochen.

In dieser Hinsicht sind Computermodelle um so verlässlicher in bezug auf die Erdtemperatur, je weiter sie vorausschauen können. Die langfristige Vorhersage ist ein ganz anderes und einfacheres Problem als die kurzfristige und die »Hinterhersage«. Diese Behauptung mag paradox klingen, aber für alle, die sich mit dem Studium des Wetters befassen, ist sie völlig klar. Der theoretische Meteorologe Edward Lorenz hat es so erklärt: Es ist leichter, eine präzise langfristige als eine präzise kurzfristige Vorhersage in bezug auf die Temperatur einer Tasse Kaffee zu machen.

295

»Wir könnten Schwierigkeiten haben, die Temperatur vorherzusagen, die eine Tasse Kaffee in einer Minute haben wird«, sagte Lorenz einmal zu einigen seiner Kollegen, »aber wir haben kaum Schwierigkeiten, die Temperatur des Kaffees in einer Stunde vorherzusagen.« Zitiert in: James Gleick, Chaos, New York (Viking Penguin Inc,) 1987, S. 25

Um es zusammenzufassen, Computermodelle vermögen wahrscheinlich leichter Vorhersagen für das 21. Jahrhundert zu erstellen als »Hinterhersagen« für das 20. Jahrhundert. Die Forscher, die solche Modelle benutzen, können mehr über die nächsten hundert Jahre sagen als über die nächsten zehn.

Seite 90 Mehrdeutigkeiten Viele Wetterstationen, die einst in ländlicher Umgebung standen, sind inzwischen von expandierenden Siedlungsgebieten umschlossen. Und diese sind in der Regel wärmer als Bauernhöfe und Wälder (Klimaexperten nennen sie »Wärmeinseln«).

»Eine expandierende Stadt ist phantastisch geeignet, einen warm zu halten«, erklärt J. Murray Mitchel. »Manhattan zum Beispiel hat schon vor Jahren den Umkehrpunkt erreicht: An einem typischen Wintertag gelangt durch Raum- und Fahrzeugheizungen mehr Wärme auf die Straßen von New York als durch die Sonneneinstrahlung!«

Tausende von Wetterstationen haben im 20. Jahrhundert durch den Wärmeineffekt höhere Temperaturen verzeichnet. In einigen Städten im Sonnengürtel des amerikanischen Westens beträgt der auf die urbanen Wärmeinseln zurückzuführende Temperaturanstieg nicht weniger als ein Drittel Grad Celsius pro Jahrzehnt. In Städten des Ostens beträgt der Anstieg mehr als ein Zehntel Grad pro Jahrzehnt. Thomas R. Karl/Robert G. Quayle, Climate change in fact and in theory: Are we collecting the facts? in: Climatic Change 13 (1988), S.5-17.

Im Durchschnitt erwärmten sich die in Städten gelegenen Wetterstationen Nordamerikas zwischen den Jahren 1941 und 1980 um etwa ein Zehntel Grad Celsius pro Jahrzehnt schneller als Stationen auf dem Land. G. Kukla/J. Gavin u. a., Urban warming, in: Journal of Climate and Applied Meteorology 25 (September 1986), S. 1265-1270.

Sogar kleinere Städte mit weniger als zehntausend Einwohnern können, so Thomas R. Karl vom National Climatic Data Center in Asheville, North Carolina, Wärmeinseln sein. Thomas R. Karl/Henry F. Diaz u. a., Urbanization: its detection and effect in the United States climate record, in: Journal of Climate 1 (November 1988), S. 1099-1123.

Selbst nach Abzug aller örtlichen Effekte stellten die Klimaexperten fest, daß sich der Planet eindeutig erwärmt. Die Gruppe in East Anglia schätzt, daß der Wärmeinseleffekt nur zu einem Zehntel Prozent an der Erwärmung der letzten hundert Jahre beteiligt ist. P. D. Jones/P. M. Kelly u. a., The effect of urban warming on the Northern Hemisphere temperature average, in: Journal of Climate 2 (März 1989), S. 285-290.

Karl, einer der strengsten Kritiker langfristiger Aufzeichnungen, glaubt, daß die Mehrdeutigkeiten in den Messungen der Wetterstationen mit höchstens zwei Zehntel Grad zu Buche schlagen. Aber auch er zweifelt nicht daran, daß die Erde in den vergangenen hundert Jahren wärmer geworden ist. »So realitätsfremd sind wir nicht«, sagte er im Herbst 1988 zu mir.

»Es geht darum, die Rate des Anstiegs zu bestimmen, nicht den Anstieg selbst in Frage zu stellen«, erläuterte Karl 1989 einem Reporter der Zeitschrift Science. Richard Kerr, The global warming is real, in: Science 243 (3. Februar 1989), S. 603.

296

Seite 90 zweitausendzweihundert Anfragen

D. E. Reichle u. a., Environmental Sciences Division Annual Progress Report for Period Ending September 30, 1986, ORNL-6327, Oak Ridge, Tennessee (Oak Ridge National Laboratory) 1987, S. 81.

Seite 90 »Aber auch schon jetzt ist er sehr schwer zu leugnen.«

Zitiert in: Philip Shabecoff, Temperature for world rises sharply in the 1980's, in: New York Times, 29. März 1988.

Seite 91 Mark Schoeberl Zitiert in: Richard A. Kerr, Is the greenhouse here? in: Science 239 (5. Februar 1988), S. 559ff.

Seite 91 paßte zu den Vorhersagen Seitdem wurden weitere Trends festgestellt, die mit den Vorhersagen übereinstimmen (obwohl auch sie zufällig sein könnten).

Satellitendaten zeigen, daß sich die Weltmeere während des größten Teils der achtziger Jahre jährlich um ein Zehntel Grad erwärmt haben. A. E. Strong, Grater global warming revealed by satellite-derived sea-surface-temperature trends, in: Science 338 (20. April 1989), S. 642-645.

Die Kontinente sind in den letzten Jahrzehnten feuchter geworden, was einer weiteren Vorhersage der Treibhausmodelle entspricht: Wärmere Meere führen zu mehr Verdunstung. Henry F. Diaz u. a., Journal of Geophysical Research (20. Januar 1989).

Die Ausdehnung des polaren Eismeers verringerte sich zwischen den Jahren 1973 und 1988 um sechs Prozent. Auch das paßt zur Erwärmung der Meere. Per Gloersen/William J. Campbell, Journal of Geophysical Research (15. September 1988). Zitiert in: R. Monastersky, Shrinking ice may mean warmer earth, in: Science News 134 (8. Oktober 1988), S.230ff.

Seite 92 erstmals seit mindestens fünfundsiebzig Jahren S. S. Jacobs/D. R. Macayeal u.a., The recent advance of the Ross Ice Shelf. Antarctica, in: Journal of Glaciology 32 (1986), S. 464-473.

Seite 92 die gelassensten und konservativsten »Die harmlose Natur des Eisbergs fließt unbeabsichtigt in seine offizielle Bezeichnung ein: B9«, schrieb ein unerschütterlicher Geophysiker, nachdem das Riesenkalb vom Ross-Eisschelf abgetrieben war. In: Eos (1. Dezember 1987).

Seite 92 Die alten Blätter weisen mehr Poren auf F. Jan Woodward, Stomatal numbers are sensitive to increase in CO₂ from pre-industrial levels, in: Nature (18. Juni 1987), S.6171

Seite 93 die neuesten Entdeckungen Woodwards Persönliche Mitteilung.

Seite 94 in den Bohrlöchern von Ölquellen in Alaska Arthur H. Lachenbruch/ B. Vaughn Marschall, Changing climate: geothermal evidence from permafrost in the Alaskan Arctic, in: Science 234 (7. November 1986), S. 689-696.

Seite 94 des Stabes ihrer Abteilung

Eine Erklärung: Damals arbeiteten Hough-ton und Stone in der Abteilung für Ökosysteme am Marine Biological Laboratory (MBL) in Woods Hole. Bald darauf gingen beide Männer zum Woods Hole Research Center (WHRC), dessen Direktor der Ökologe George Woodwell ist. Weder das MBL noch das WHRC ist der Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) angeschlossen.

297

Seite 94 Ein weiterer... Alptraum

Vor einigen Jahren entnahmen der Ökologe W. D. Billings und Kollegen behutsam Stücke des gefrorenen Bodens der arktischen Tundra bei Barrow, Alaska, und stellten Versuche damit an. Als sie die Temperaturen verdoppelten und damit den möglichen arktischen Sommer des 21. Jahrhunderts simulierten, konnte die Tundra nur noch halb so viel Kohlendioxyd einatmen wie zuvor. Eine geringfügige Senkung des Grundwasserspiegels hatte einen ähnlichen Effekt.

Die Ökologen schlossen daraus, daß eine Erwärmung des hohen Nordens die gesamte ausgedehnte Tundra »von eine Senke des atmosphärischen Kohlendioxyds in eine Quelle« verwandeln könnte. W. D. Billings/J. O. Luken u. a., Arctic tundra: a source or sink for atmospheric carbon dioxide in a changing environ-ment? in: Oecologia 53 (1982), S.7-11.

Seite 95 Abbildung Die Abbildung des Alters fossiler Brennstoffe habe ich, auf fünfzigtausend Jahre bezogen, nach M. King Hubbert, Energy from fossil fuels, in: Science 109 (1949), S. 108, erstellt.

Seite 96 »begann er..., sich zu entkleiden!« E.A.W. Budge, The Rise and Progress of Assyriology. Zitiert in: Edmond Sollberger, The Babylonian Legend of the Flood, London (The Trustees of the British Museum) 1971, S.11f.

Sollberger schrieb: »Smith' erregende Entdeckungen sorgten für eine solche Sensation, daß die Besitzer des Daily Telegraph ihm sofort tausend Guineen boten, damit er nach Ninive reisen und weitere Texte ausfindig machen konnte.« Der Telegraph erhielt den Gegenwert für sein Geld. Smith grub noch mehr Tafeln und damit weiteres Material für die Flutgeschichte aus.

Seite 98 Manche Leute wollen wissen Bernard Mendonca, The first twenty years; an unscientific remembrance, in: Miller (Hrsg.), Mauna Loa Observatory (1978), S. 17-23.

Seite 98 Ich war erschüttert Ulf Merbold, in: Kevin W. Kelley (Hrs.), The Home Planet, Reading, Massachusetts (Addison-Wesley Publishing Company), 1988.

Seite 99 «Führen Sie sechs... Substanzen auf» Zitiert in: Lydia Dotto/Harold Schiff, The Ozone War, Garden City, N.Y. (Doubleday& Company), 1978.

Seite 102 Abbildung Ein menschlicher Atemzug verursacht einen Zacken in der Mauna-Loa-Kohlendioxid-Aufzeichnung. Das ist nur ein winziger Bruchteil der langen Linie, die von Keelings altem Gasanalysator seit 1958 am Mauna Loa auf Papierrollen aufgezeichnet wurde. Quelle: John Chin, Mauna Loa Observatory.

298

6. Der erste Sommer des dritten Jahrtausends

Seiten 103 Zunahme der Gewaltverbrechen

Bloodiest Weekend, New Yorker Daily News, 12. Juli 1988. 11 Killed in 2nd Wave of Weekend Violence, New Yorker Newsday, 11. Juli 1988.

Seite 104 Städte in Iowa gingen... bankrott

Dennis Farney, Losing ground: in Iowa, the drought might seal the fate of the smallest towns, in: Wall Street Journal, 30. August 1988.

Seite 104 die verheerendsten Brände

Zahlen vom U.S. Forest Service. Zitiert in: David S. Wilson, Worst forest fire year appears to be at an end, in: New York Times, 20. November 1988.

Seite 104 die... eingeflogen worden waren Crews fighting the west's fires are Reinforced, in: New York Times, 23. August 1988.

Eine Hubschraubermannschaft bestand aus einem Dutzend Brandbekämpfern, »überführte Drogendealer, Einbrecher und Räuber«. David S. Wilson, Young in-mates form airborne firefighter force, in: New York Times, 23. August 1988.

Seite 104 alle großen Flüsse Die drei größten Flüsse des amerikanischen Kontinents - der Mississippi, der St. Lawrence und der Columbia - führten zusammengenommen fast nur halb soviel Wasser wie im Juni desselben Jahres. Es war ihr ausgeprägtestes Niedrigwasser in sechzig Jahren Aufzeichnung. 95% of nations large rivers flow below normal during drought, in: Eos (20. September 1988), S. 858.

Seite 104 alte Schiffswracks Tanya Barrientos, Drought brings buried river-boats to surface, in: Philadelphia Inquirer, 26. Juli 1988.

Frederick Way jr., Way's Packet Directory 1848-1983, Athens, Ohio (Omaha University Press) 1983.

Seite 104 Weizen verdarb John F. Bums, Drought also lays waste to Canada, in: New York Times, 3. August 1988.

Craig Whitney, Harvest in Russia worst in 3 years, in: New York Times, 17. Januar 1989.

Seite 104 China... verlor mehr als zehntausend Menschen Edward A. Gargan, Flash floods and drought ravage China, in: New York Times, 3. August 1988.

Seite 104 In Schanghai war es United Press International, Heat wave grips south China, in: Philadelphia

Inquirer, 21. Juli 1988.

Seite 104 Hurrikan Gilbert Joseph B. Treaster, Battered Jamaica begins to rebuild, in: New York Times, 16. September 1988.

Seite 104 Überschwemmungen in... Nigeria Brian Killen, Sub-Saharan rain inflicting misery, in Philadelphia Inquirer, 20. August 1988.

299

Seite 104 dreihunderttausend Tonnen Nahrungsmittel United Press International, U.N. agency appeals to nations for food to meet emergencies, in: Philadelphia Inquirer, 21. September 1988.

Seite 104 die schlimmste Dürre seit fünf Jahrzehnten Drought advisory 88/12, summary of conditions and impacts, NOAA Climate Analysis Center (29. September 1988). Worst drought since '36 spurs climate research, in: Eos (12. Juli 1988), S. 715.

Seite 104 Mutterboden wurde fortgeblasen Die Staubwolken waren so dunkel, daß man sie zehn Meilen weit sehen konnte«, sagte ein junger Farmer in Norddakota. William Robbins, Dry soil blows away, carrying hope with it, in: New York Times, 7. August 1988.

Seite 105 Staub in der Luft den Ort bestimmt T. S. Eliot veröffentlichte Little Gidding als Teil seiner Four Quartets.

Seiten 105 »Erinnert euch an diesen Tag« John L. Moore, Bad days at >Big Dry<, in New York Times Magazine, 14. August 1988, S. 26.

Seite 105 Die außergewöhnliche Hitze dauert an Zitiert in: Natural History (Januar 1989), S.43.

Seite 105 Die Harvard University Harvard and its ivy wilt in heat wave, in: New York Times, 6. August 1988.

Seite 106 zweihundert Menschen ermordet

Drogenkriege und der lange heiße Sommer machten 1988 zum Rekord-Mordjahr in der Geschichte der Stadt New York. David E. Pitt, New York City nears record for slayings, in: New York Times, 22. November 1988.

Ralph Blumenthal, Record year for murder in New York, in: New York Times, 26. Dezember 1988.

Seite 106 Klimaanlage Randolph E. Schmid, Aug. heat pushed up electric costs, in: Philadelphia Inquirer, 14. September 1988.

Seite 106 »Regenversicherungen« Säle of rain insurance strong, much to the insurer's regret, in: New York Times, 15. August 1988.

Seite 106 um den Verlust... auszugleichen Dan Gillmor, Off-season crop for seed com, in: New York Times, 23. August 1989.

Seite 106 »der Himmel rötete sich« William Wilkinson, Memorials of the Minnesota forest fires in the year

1894 (Crown Litho. 1895), auszugsweise in: Natural History (Januar 1989), S.54f.

Seite 107 auf jeweils achttausend Quadratmetern eine Tonne James S. Clark, The forest is for burning, in: Natural History (Januar 1989), S.51ff.

Der Artikel gehört zu dem ausgezeichneten Sonderkapitel The Long, Hot Summer of '88. Als ich über die nordamerikanische Dürre schrieb, habe ich jeden Abschnitt dieses Kapitels benutzt.

300

Seite 107 Jahrtausend-Sonnenuntergänge Dirk Johnson, Forest fires cast a persistent pall on much of west, in: New York Times, 12. September 1988.

Seite 107 Silo mit nuklearen Femlenkraketen Eigentlich kam das Feuer, das im Lewis and Clark National Forest in Great Falls wütete, dem Silo sogar noch näher, wie der bei den Löscharbeiten beteiligte Charles Rodgers erzählt, Logistics Support Coordinator, National Forest Service, Region 1: Aviation and Fire Management (persönliche Mitteilung).

Seite 107 für den sehr robusten Tabak »Tabak ist ein sehr zähes Kraut«, erklärte ein Farmer. »Meistens überlebt er sogar, wenn Gras verdorrt.« William Robbins, Hardy survivor in year of drought, in: New York Times, 8. September 1988.

Seite 107 in profitabler Sommer für die Wetterdienste Patrick Houston, Weather forecasters enjoy boom, in: New York Times, 18. Juli 1988.

Seite 107 für Spenden an Umweltschutzgruppen Clifford D. May, Pollution ills stir support for environmental groups, in: New York Times, 21. August 1988.

Seite 107 für amerikanische Hersteller von Klimaanlage Doron P. Levin, An Industry Overcome by the Heat.

Seite 107 Für Robert Haack... ein arbeitsreicher Sommer Robert A. Haack/ William J. Mattson, They nibbled while the forest burned, in: Natural History (Januar 1989), S.56f.

Seite 108 jungfräuliche Prärie Robert H. Mohlenbrock, Some plants slept, in: Natural History (Januar 1989), S. 58ff.

Seite 108 ein guter Sommer für Spinnmilben Gene Meyer, U.S. soybean crop diminished by drought-driven insects, in: Kansas City Times, 9. September 1988.

Seite 108 den stärksten Schwund an Samenvorräten In jenem Jahr, schreibt der Agrarökonom Lester R. Brown, »deckte die US-Getreideernte nicht einmal den Eigenverbrauch, vermutlich zum erstenmal in der Geschichte.« L. Brown, Reexamining the world food prospect, in: Brown u. a., State of the World 1989, New York (W.W. Norton) 1989, S. 41-58.

Der Sommer war für alle drei der größeren nahrungsmittelproduzierenden Länder schlecht. Brown schreibt: »Die chinesische Getreideernte fiel um 3 Prozent, die der Sowjetunion um 9 Prozent und die der Vereinigten Staaten um 30 Prozent geringer aus.« L. Brown, Our winter of disquiet, in: Worldwatch 2 (Mai/ Juni 1989), S.2.

Seite 108 der Milliardär Olacyr de Moraes Marlise Simons, Soybeans change the face of Brazil, in: New York Times, 25. Juli 1988.

Randall Hackley, Argentina and Brazil harvesting a bonanza from the U.S. drought, in: Philadelphia Inquirer, 23. Juli 1988.

Seite 108 An einer Stelle im nordwestlichen Iowa William Robbins, Despite scorched earth and parched crops, pockets of plenty can be found, in: New York Times, 13. September 1988.

301

Seite 108 ein guter Sommer für trockenen Humor Roger L. Welsch, Dry humor, in: Natural History (Januar 1989), S.70f.

Seite 108 Washington, D.C., achtunddreißig Grad Celsius Dem U.S. National Climatic Data Center zufolge betrug die Temperatur an jenem Tag am Flughafen von Washington nur sechsunddreißig Grad. Aber in der Innenstadt erhöhten Beton, Asphalt, Stahl und Marmor die Temperatur - der urbane Wärmeinseleffekt.

Seite 108/109 Klimaexperten... Greenhouse Effect and Global Climate Change, Hearing before the Committee on Energy and Natural Resources, U.S. Senate, June 23, 1988, Washington (U.S. Government Printing Office) 1988.

Seite 109 Wirkung einer weltweiten Verkündigung Philip Shabecoff, Global warming has begun, expert tells Senate, in: New York Times, 24. Juni 1988, S. 1.

Michael Weisskopf, Scientist: Greenhouse effect at work, in: Philadelphia Inquirer, 25. Juni 1988, S. 1.

Another long hot summer The greenhouse effect is here, Leitartikel in: Providence Journal, 28. Juni 1988.

Seite 109 »Bevorstehend« Bill McKibben, Is the world getting hotter? in: New York Review of Books, 8. Dezember 1988, S. 7.

Seite 110 »Gefühl drohenden Unheils« Frank Trippett, Talking about the weather, in: Time, 15. August 1988, S. 20.

Seite 110 »Wer glaubt, wir seien... machtlos« Auszüge aus der Rede Bushs wurden in New York Times, 24. September 1988, abgedruckt.

Seite 113 Trotzdem war Hansen froh Shabecoff, Global Warming Begun.

Seite 113 die Würfelmetapher Siehe zum Beispiel Stephen H. Schneider, Do-ing something about the weather, in: World Monitor (Dezember 1988), S. 38-37.

Seite 114 »Um... vollkommen sicher zu sein« Schneider, Doing Something, S.35.

Seite 114 mit einem Zielfotovorprung R. Monastersky, '88 set warm record; '89 looks cooler, in: Science News (11. Februar 1989), S.84f.

Richard A. Kerr, 1988 ties for wärmest year, in: Science (17. Februar 1989), S. 891.

Seite 114 erläuterte John Maddox... noch einmal John Maddox, Jumping the greenhouse gun, in: Nature 334 (7. Juli 1988), S.9.

Seite 114 Der Analyse Trenberths zufolge

Kevin E. Trenberth / Grant W. Branstator u. a., Origins of the 1988 North American drought, in: Science 242 (23. Dezember 1988), S. 1640-1645.

Ein das Verständnis erleichterndes Diagramm dieser globalen Wetterzusammenhänge finden Sie in: William K. Stevens, Scientists link '88 drought to natural cycle in tropical Pacific, in: New York Times, 3. Januar 1989.

302

Seite 117 »Ich bestreite, daß er bereits eingetreten ist« Associated Press, Scientists dispute >greenhouse< claims, in: St. Paul Pioneer Dispatch, 8. Dezember 1988.

Namias wiederholte diese Aussage im nächsten Frühjahr. »Eines ist absolut klar«, schrieb er, »die Dürre war eine Folge normaler atmosphärischer Schwankungen und hängt in keiner Weise mit dem Treibhauseffekt zusammen.« Jerome Namias, Cold waters and hot Summers, in: Nature 338 (2. März 1989), S.15f.

Seite 119 würde eine neue Eiszeit einleiten Imbrie u. Imbrie, Ice Ages, S. 11.

Seite 119 außerhalb der Erfahrung unserer Art Eine konzentrierte Geschichte der Erdklimate finden Sie in dem Artikel Climate History of the Earth: The Last Million Years, in: Clark, Carbon Dioxide Review, 1982, S.447ff.

Ausgezeichnete Tabellen der Temperaturlaufzeichnungen der letzten 100,1000, 10 000 und 850 000 Jahre finden sich in dem Artikel von Samuel W. Matthews, What's happening to our climate?, in: National Geographie (November 1976), S.614f.

Eine Tabelle der Temperaturlaufzeichnung über längere Zeiträume, die Millionen von Jahrzehnten umfassen, befindet sich in: Preston Cloud, Oasis in Space, New York (W.W. Norton & Company) 1988, S.417. Eine übersichtliche Tabelle der Klimageschichte des Planeten seit seiner Entstehung finden Sie in: Schneider/Londer, Coevolution, S.15.

Seite 119 Manabe wagt Persönliche Mitteilung. Siehe auch Syukuro Manabe, Carbon dioxide and climatic change, in: Advances in Geophysics 25, San Diego (Academic Press, Inc.) 1983, S.39-82.

Seite 121 bemerkte Roger Revelle Esther/Wanning, Interview: Roger Revelle, in: Omni (März 1984).

Seite 121 Roberts Walter Orr Roberts, It is time to prepare for global climate Changes, in: Conservation Foundation Letter (April 1983), S.1-8.

Seite 122 »Der Schnee wird soviel früher im Jahr schmelzen« Manabe (persönliche Mitteilung). Manabe betonte diesen Punkt auch in seiner Aussage vor dem Senat am 23. Juni 1988. Hearings, S. 105 ff.

Siehe auch: S. Manabe/R. T. Wetherald, Reduction in summer soil wetness induced by an increase in atmospheric carbon dioxide, in: Science 232 (2. Mai 1986). S.626ff.

Seite 122 Tatsächlich... alle westlichen Flüsse Roger Revelle, Carbon dioxide and world climate, in: Scientific American 247 (August 1982), S. 35-43.

Die Anfälligkeit des amerikanischen Westens für Dürren wurde sehr detailliert von dem Klimaexperten Peter Gleick untersucht. Siehe zum Beispiel P. H. Gleick, Regional hydrologic consequences of increases in atmospheric CO₂ and other trace gases, in: Climatic Change 10 (1987), S. 137-160.

Seite 123 was die Erwärmung für den »Maisgürtel« Linda Mearns/Richard W. Katz u.a., Extreme high-temperature events: changes in their probabilities with changes in mean temperature, in: Journal of Climate and Applied Meteorology 23 (Dezember 1984), S. 1601-1613.

303

Seite 123 Hitzeperioden in Washington Robert H. Boyle, Forecast for disaster, in: Sports Illustrated 67 (16. November 1987), S. 79.

Seite 124 mehr als sechzig Prozent heftiger werden Kerry A. Emanuel, The dependence of hurricane intensity on climate, in: Nature 326 (2. April 1987), S. 483 ff.

Seite 124 Heuschreckenschwärme Ian Simpson, African locust swarms invade the Caribbean, in: Philadelphia Inquirer (22. Oktober 1988).

Seite 124 »etwa zehn Zentimeter höher« Den globalen Anstieg des Meeresspiegels zu messen ist noch komplizierter als die Messung des globalen Temperaturanstiegs. Wie so häufig auf diesem Planeten können Trends in einer Sphäre die Trends in anderen verschleiern.

Während der letzten Eiszeit trug die nördliche Hemisphäre so viel Eis, daß es die Erdkruste hinabdrückte. Geophysiker nennen die geometrische Gestalt des Planeten das Geoid. Die Eiszeit verformte das Geoid. Sie verlieh dem Planeten eine leichte Birnenform.

Jetzt, nachdem soviel Eis geschmolzen ist, beult sich die Kruste (sehr langsam) wieder aus. Alaska und Skandinavien, die zwanzigtausend Jahre lang eine so schwere Eislast trugen, heben sich jährlich um ungefähr zwei Millimeter an.

Da Teile der Kontinente sinken und andere steigen, ist es, als versuchten die Forscher, die durchschnittliche Höhe des Meeresspiegels von sieben großen kippenden und wackelnden Felsen aus zu messen. Es ist sehr schwierig, das Signal aus dem Rauschen auszufiltern.

Der erfolgreichste Meßversuch legt die Annahme nahe, daß der Meeresspiegel zur Zeit um etwa 2,5

Millimeter pro Jahr steigt, plus/minus einen Millimeter. »Dieses Signal könnte als Hinweis auf eine globale Erwärmung gewertet werden«, sagen die Forscher. W. R. Peltier/A. M. Tushingham, Global sea level rise and the greenhouse effect: might they be connected? in: Science 244 (19. Mai 1989), S. 806-810.

Eine kurzgefaßte Übersicht über diese Ergebnisse finden Sie in: Rising seas may herald global warming, in: Science News 135 (10. Juni 1989), S. 367, und in: Identifying the sea level Signal: surf's up, in: Eos (4. April 1989,) S. 209.

Seite 124 kleine globale Veränderungen in große lokale

Mein Lieblingsbeispiel ist die Koralleninsel Okinotorishima, Japans südlichstes Territorium. Bei Flut bleiben von Okinotorishima nur zwei Felsen, die den Meeresspiegel um ein paar Handbreit überragen. 1988 leiteten die Japaner eine Viertel-Milliarde-Dollar-Operation ein, um die Insel zu retten, indem sie Schutzwälle um sie errichteten. Wenn die Felsen untergehen, wird Japan nach den Worten David Swinbanks' von der Zeitschrift Nature »ungefähr 400.000 Quadratkilometer seiner 320-Kilometer-Exklusiv-Zone und damit alle Fischrechte und Mineralien in diesem Bereich verlieren«. Ein hoher Preis für eine kleine Erhöhung des Meeresspiegels. Swinbanks, Saving Japanese rocks out at sea, in Nature 333 (9. Juni 1989), S.487.

Seite 125 mit einem von ein paar Säulen gestützten Dach

Ann Henderson-Sellers/Kendall McGuffie, The threat from melting ice caps, in: New Scientist (12. Juni 1986), S. 24 f.

304

Seite 126 Die Hälfte des Staates Florida
Revelle, Carbon Dioxide and World Climate, S. 40.

Seite 126 Stadtgebäude haben
Revelle, Carbon Dioxide an World Climate, S.40.

Seite 126 unerwartet kurzfristige Ereignisse
Glenn A. Jones/Lloyd D. Keig-win, Evidence from fram straight (78 degrees N) for early glaciation, in: Nature 336 (3. November 1988), S. 56-59.

Seite 126 den Hubbert-Blip der Treibhausgase
C. D. Keeling/R. B. Bacastow, Imact of industrial gases on climate, in: Energy and Climate, Report of Panel on Energy and Climate, Washington, D.C. (National Academy of Sciences) 1977, S. 72-95.

Die erste Abbildung des Hubbert-Blips zeigt die Belastung der Erdatmosphäre durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, bezogen auf fünfzigtausend Jahre. Erstellt nach Hubbert, Energy, S. 108.

Die zweite Tabelle zeigt, wie das durch die Verbrennung dieser Brennstoffe freigewordene Kohlendioxyd wahrscheinlich in der Atmosphäre bleibt. Erstellt nach C. Keeling/R. B. Bacastow, Impact of industrial gases on climate in: Energy and Climate, Washington, D. C. (National Academy of Sciences) 1977, S. 82.

Seite 127 Nach uns die Sintflut

Die Masse des Eises, das die Ostantarktis bedeckt, stellt das Äquivalent für einen Anstieg des Meeresspiegels um fünfundfünfzig Meter, das Eis auf Grönland um acht Meter und das Eis der Westantarktis um fünf oder sechs Meter dar. Henderson-Sellers/McGuffiel The Threat, S. 24.

Die Autoren schätzen, daß ein Anstieg von zehn Metern mehr als zehn Millionen Quadratkilometer Land versenken würde, »ein Landgebiet, dessen Gesamtgröße dem der Vereinigten Staaten oder China entspräche«.

Seite 128 solche Werte

Im Jahr 1988 betrug die mittlere Temperatur des ganzen Sommers 23° Celsius. Im Vergleich dazu beträgt die durchschnittliche Sommertemperatur (bezogen auf den gesamten amerikanischen Kontinent und den Zeitraum von einem Jahrhundert) 22,1°. Somit hatten wir im Sommer 1988 einen Anstieg von nur 0,9° Celsius.

Dieser Anstieg machte den Sommer 1988 zum drittheißesten seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen (die sich bis zurück ins Jahr 1895 erstrecken). Der heißeste Sommer in diesen Aufzeichnungen war 1936 (das schlimmste Jahr der Dust Bowl). Im Sommer 1936 betrug die Durchschnittstemperatur 23,5°. Der zweitheißeste aufgezeichnete Sommer war 1934, ein weiteres Dust-Bowl-Jahr. Es wies eine mittlere Temperatur von 23,29° auf.

Der kälteste Sommer der Aufzeichnungen war 1915 mit im Durchschnitt 20,85°.

Demnach beträgt der Unterschied zwischen dem (bisher) kältesten und dem heißesten Sommer 2,65°. Gegenwärtige Klimamodelle lassen erwarten, daß sich auf diesem Kontinent die Durchschnittstemperatur für alle vier Jahreszeiten um vielleicht 5° Celsius erhöhen wird. Wenn das eintritt, wird der durchschnittliche Sommer auf diesem Kontinent in den nächsten Jahrzehnten so heiß, daß der Sommer 1988 wie der von 1915 wirkt: sehr kühl.

Diese Temperaturstatistiken stammen von Richard Heim, einem Meteorologen am National Climatic Data Center in Asheville, N.Y. (Heim beschreibt seine Arbeit als »heutige Klimaanomalien in den USA in historische Perspektive rücken«, persönliche Mitteilung.)

Seite 128 Die Sowjets können hoffen, Gewinner zu sein

Das ist es, was Budyko, Doyen der sowjetischen Klimatologen, zu glauben scheint. 1988 vertrat Budyko das sowjetische Staatskomitee für Hydrometeorologie bei einer Konferenz mit dem Thema Klima und Entwicklung in Hamburg, einer der vielen internationalen Konferenzen jenes Jahres über den Treibhauseffekt.

Der größte Teil der Gespräche betraf eine globale Ökostrategie: Wie bringt man die Nationen der Welt dazu, daß sie ihre Kohlendioxidemissionen reduzieren? Budyko aber sprach von den großen Vorteilen der Treibhausgase für die Landwirtschaft in der Tundra. Ein Delegierter sagte danach, Budykos Argumente seien »wie Flüche in der Kirche« aufgenommen worden.

Christine McGourty, Global warming becomes an international political issue, in: Nature 336 (17. November

1988), S. 194.

305-306

Anmerkungen 2 (7-11) und Quellenangaben

7. Die sieben Sphären

306

Seite 132 dehnt sich das Eis... aus

Detaillierte Daten und eine Reihe großartiger Satellitenbilder von der Expansion und Kontraktion der Eisdecke finden Sie in:

Claire L. Parkinson/Josefino C. Comiso u.a., Arctic Sea Ice, 1973-1976: Satellite Passive-Microwave Observations, Washington, D.C. (National Aeronautics and Space Administration), 1987.

Seite 132 Budyko erkannte als erster

M. I. Budyko, Polar ice and climate, in: Izvestiya Akademika Nauk 6 (1962), S. 3-10. Zitiert in: Hermann Flohn, Climate change and ice-free arctic ocean, in: Clark, Review (1982), S. 145-179.

Seite 133 »Grundeis«-Film Parkinson u. a., Arctic Sea Ice, S. 3.

Seite 133 ausgezeichnete Reflektoren Parkinson u.a., Arctic Sea Ice, S.30.

Seite 134 etwa zwölf Grad wärmer Flohn, An Ice Free Arctic, S. 159.

Nach dem National Climatic Data Center in Ashville, N.C., beträgt die langfristige jährliche Durchschnittstemperatur in Miami 24,22° Celsius. In New York City sind es 11,78°. Der Unterschied, 12,44°, entspricht fast ziemlich dem Unterschied zwischen den Temperaturen am Nordpol und am Südpol.

Seite 134 da die antarktische Eisdecke sehr stabil ist

»Aus der Sicht eines Klimatologen sollte sie noch mindestens für 100.000 Jahre stabil bleiben«, schätzt Flohn. Flohn, An Ice-Free Arctic, S. 163.

Seite 135 das Wasserrad im Meer

William W. Kellog, Feedback mechanisms in the climate System affecting future levels of carbon dioxide, in: Journal of Geophysical Research 88 (20. Februar 1983), S. 1263-1269.

Seite 135 verwandelt sich Methangas in solides Eis

Dieses Phänomen ist noch nicht genau untersucht. Es existieren zwei grundlegende Arbeiten: P. R. Bell, Methane hydrate and the carbon dioxide question, in: Clark, Review 1982, S. 401¹⁰⁶, und Roger Revelle, Methane hydrates in Continental slope Sediments and increasing atmospheric carbon dioxide, in: Changing Climate, Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee, Washington, D. C. (National Academy Press) 1983, S. 252-261.

Seite 136 wie Geschosse

Revelle, Methane Hydrates, S. 254.

Seite 136 »aus dem Schlamm entweichen«

Revelle, Methane Hydrates, S.257.

Seite 137 Methangehalt der Atmosphäre zu verdoppeln

Nach der Vorhersage Revelles könnten sich im Verlauf eines Jahrhunderts etwa fünfzig Gigatonnen Methan aus dem Schlamm der Kontinentalsockel befreien. Das wäre rund zehnmal so viel Methan in der Atmosphäre wie jetzt. Deshalb mag sich ein aufmerksamer Leser fragen, wieso Revelle nur von einer Verdopplung spricht.

Anders als Kohlendioxyd zerfällt Methan rasch in der Atmosphäre. Vorausgesetzt, die Atmosphäre entledigt sich dieses Gases auch künftig ebenso schnell wie bislang, würde die halbe Gigatonne, die jährlich zusätzlich in die Luft gelangt, die atmosphärische Last an Methan in hundert Jahren um ungefähr fünf Gigatonnen vermehren, also etwa verdoppeln.

Seite 137 Wenn die arktische Eiskappe verschwindet Auch das ist Revelles Vermutung. Revelle, Methane Hydrates, S. 259.

Seite 137 Der Methangehalt der Atmosphäre R. A. Rasmussen/M. A. K. Kha-lill, Atmospheric Methane: trends and seasonal cycles, in: Journal of Geophysical Research 86 (1981), S. 9826-9832.

Seite 137 wird es in Wasser und Kohlendioxyd zerlegt Ehhalt, Methane, S. 33.

Seite 139 Brookhaven R. A. Houghton, Terrestrial Metabolism.

Ders., Biotic changes consistent with the increased seasonal amplitude of atmospheric CO₂ concentrations, in: Journal of Geophysical Research 92 (20. April 1987), S. 4223²³⁰.

G.M. Woodwell, Forest and climate: surprises in store, in: Oceanus 29 (Winter 1986/87), S. 71-75.

G. M. Woodwell/W. R. Dykeman, Respiration of a forest measured by carbon dioxide accumulation during temperature inversions, in: Science 154 (1966), S. 1031-1034.

Richard A. Houghton/George M. Woodwell, Global climatic change, in: Scientific American 260 (April 1989), S. 36-44.

Seite 139 aus dem Gleichgewicht Es gibt Anzeichen dafür, daß dieser Prozeß bereits begonnen hat. Während des heißen Jahres 1988 stieg die Kohlendioxyd-konzentration den Messungen Keelings vom Mauna Loa und am Südpol zufolge um fünf Milliarden Tonnen Kohlenstoff an. In normalen Jahren war die Konzentration des

Gases nur um drei Milliarden Tonnen angestiegen.

Woher war 1988 der zusätzliche Kohlenstoff gekommen? Woodwell und Houghton glauben, daß er aus der Biosphäre kam. Nach einem langen, heißen Jahrzehnt hatte ein Prozeß eingesetzt, in dem mehr Kohlendioxyd von den Böden und Wäldern der Welt ausging. Diese Annahme ist aber für sich nicht beweiskräftig. Wir werden sehen. Wenn Houghton und Woodwell recht haben und wenn die Oberflächentemperaturen des Planeten weiterhin steigen, dann sollten wir immer größere Sprünge im Kohlendioxyd Gehalt der Atmosphäre erleben, Houghton/Woodwell, Global Climatic Change, S. 41.

307

Seite 140 die Atmung der Welt am tiefsten Die tiefe Atmung findet in der nördlichen Hemisphäre statt. Und in dieser Hemisphäre verbrennen die Menschen naturgemäß viel mehr Brennstoffe als im Süden, um sich im Winter zu wärmen. Könnte das die tiefe Atmung erklären? Könnte die Menschensphäre und nicht die Biosphäre für die Atmung der Welt verantwortlich sein?

Der verstorbene Ralph Rotty aus Oak Ridge hat sich mit dieser Möglichkeit befaßt. Rotty entdeckte, daß es tatsächlich einen jahreszeitlichen Zyklus in der Verbrennung fossiler Brennstoffe gibt. Wir verbrennen im Winter mehr als im Sommer. Im Januar blasen wir mehr Kohlendioxyd in die Luft als im Juli. Allerdings ist dieser Unterschied zu gering, um den mächtigen von Keeling gemessenen jahreszeitlichen Zyklus zu erklären.

Die Biosphäre scheint demnach für die Atmung verantwortlich zu sein.

Ralph M. Rotty, Estimates of seasonal Variation in fossil fuel CO₂ emissions, in: Tellus 39B (1987), S. 184-202.

Seite 142 »Die plötzliche Vernichtung« Woodwell, Forests and Climate, S.74.

Seite 144 ERBE V. Ramanathan/R.D. Cess u.a., Cloud-radiative forcing and climate: results from the earth radiation budget experiments, in: Science 243 (6. Januar 1989), S. 57-63.

Richard A. Kerr, How to fix the clouds in greenhouse models, in: Science 243 (6. Januar 1989), S.28f.

V.Ramanathan/Bruce R.Barkstrom u.a., Climate and the earth's radiation budget, in: Physics Today 42 (März 1989), S. 22-32.

Seite 145 Tests mit einem Dutzend verschiedener Klimamodelle Diese Studie wurde von den Erbauern der Modelle überwacht und von Robert Cess von der State University in Stony Brook (einem der Autoren der ERBE-Studie) geleitet. »Die Modelle sind nicht schlecht, außer in bezug auf Wolken«, schloß Cess. Zitiert in: Kerr, Fix the Clouds.

R. D. Cess/G. L. Potter u. a., Interpretation of cloud-climate feedback as produced by 14 atmospheric general circulation models, in: Science 245 (4. August 1989), S. 513-516.

Seite 146 von einer Auflistung Stephen P. Maran, The inconstant sun, in: Natural History (April 1982), S. 62.

Seite 146 Solar Max R. C. Wilson/H. S. Hudson u. a., Long-term downward trend in total solar irradiance, in: Science 234, S. 1114-1117. Richard A. Kerr, The sun is fading, in: Science 231 (24. Januar 1986), S. 339 f.

Seite 146 Altithermal Die Ursache des Altithermals ist umstritten, wie J. M. Mitchell bemerkt. Diese Wärmeperiode wurde von einer Gruppe unter Leitung von John Kutzbach von der University of Wisconsin in Madison in ein globales Computermodell eingegeben. Kutzbach und seine Kollegen glauben, überzeugende Hinweise dafür zu haben, daß die Wärme jener Ära aus einer günstigen

308

Umlaufbahn und Achsenneigung der Erde resultierte (derselbe sogenannte »Milankovitch-Faktor« scheint auch die Eiszeiten im Pleistozän ausgelöst zu haben). Dieses Ergebnis läßt gewisse Zweifel an der Theorie größerer Sonnenhelligkeit aufkommen: Wenn Kutzbach recht hat, ist keine Erhöhung der Sonnenhelligkeit nötig, um das Altithermal zu erklären.

Eine leicht verständliche Einführung in den Milankovitch-Faktor bietet mein Buch Planet Erde.

Seite 147 Mediävales Optimum Schneider/Londer: Coevolution, S. 111-114.

Seite 148 Schlagzeilen der Lithospähre Diese Schlagzeilen wurden zum erstenmal in SEAN Bulletin 13 (31. Dezember 1988) veröffentlicht. Zusammengefaßt erschienen sie in Eos 70 (7. Februar 1989), S.90.

Seite 148 Vulcano David Attenborough, The First Eden, Boston (Little, Brown) 1987, S. 14.

Seite 149 Vulkan Tambora Bei meiner Abhandlung über die Geschichte der Vulkane und des Klimas war meine Hauptquelle ein sehr schönes Buch von Henry und Elizabeth Stommel: Volcano Weather: The Story of 1816, the Year Without a Summer, Newport, R.I. (Seven Seas Press), 1983.

Seite 149 »Die... Finsternis war so absolut« Lyell und die betroffenen Farmer werden in H. u. E. Stommel, Volcano Weather, zitiert.

Seite 149 Fußnote Die Idee, daß ein Zusammenhang zwischen Thera und der ägyptischen Finsternis bestehen könnte, ist sehr alt. Allan Chen, The Thera theory, in: Biscover (Februar 1989), S.83.

Seite 150 den meisten ausgezeichneten größeren Ausbrüchen

Aber wie J. Murray Mitchell, der sich sehr stark für Vulkanwetter interessiert, bemerkt, gibt es Ausnahmen. »Wigley und andere würden mir darin zustimmen«, schreibt er, «daß der Abkühlungseffekt größerer Vulkanausbrüche nur eine Tendenz darstellt, >wenn alle anderen Voraussetzungen der unaufhörlichen Klimaschwankungen >gleich bleibend Der große Ausbruch des El Chichon 1982 stellte eine oft erwähnte, aber keineswegs beispiellose Ausnahme von der Regel dar; die Welt blieb während der beiden dem Ausbruch des El Chichon folgenden Jahre sehr warm, weil sich kurz nach dem Ausbruch ein extremer El Nino im Pazifik aufbaute. (Es erhebt sich die faszinierende und noch nicht geklärte Frage, ob El Chichon El Nino ausgelöst haben könnte.) Persönliche Mitteilung Mitchells.

Siehe auch Michael R. Rampino/Stephen Seif, The atmospheric effects of El Chichon, in: Scientific American (Januar 1984), S. 48-57.

Seite 150 eine deutliche Abkühlung C. B. Sear, P. M. Kelly u. a., Global sur-face-temperature responsens to major volcanic eruptions, in: Nature 330 (26. November 1987), S. 365 ff.

Erst nach Fertigstellung dieses Artikels wurde das stärkste Indiz entdeckt. Eine Zusammenfassung und Hinweise finden Sie in: Richard A. Kerr, Volcanoes can muddle the greenhouse, in Science 245 (14. Juli 1989), S.127f.

309

Seite 151 die Vulkane haben die Erwärmung bekämpft Reid A. Bryson/Brian M. Goodman, Volcanic activity and climatic changes, in: Science 207 (7. März 1980), S. 1041-1044.

Seite 151 von dem empfindlichen Gleichgewicht Die Stommels fügen hinzu: »Daß jeder dieser Mechanismen ausreicht, das Klima über erträgliche Grenzen hinaus zu verändern, zeigt, wie wichtig es ist, mit dem Versuch fortzufahren, die Basis dieser Prozesse in wissenschaftlichem Sinne zu verstehen.« H. u. E.Stommel, Volcano Weather, S. 157.

Seite 153 Kellogg vom NCAR Kellogg, Feedback Mechanism.

Seite 153 Dan Lashof Daniel A. Lashof, The dynamic greenhouse. Feedback processes that may influence future concentrations of atmospheric trace gases and climatic change, in: Climatic Change 14 (1989), S. 213-242.

8 Ozonlöcher

Seite 155 Miner's Circular J. J. Forbes/C. W. Owings, u. a. Central Mine Res-cue Stations, prepared for the Bureau of Mines of the U.S. Department of the Interior, Washington, D.C. (Government Printing Office), 1939.

Seite 157 »werden nicht in Form von Ereignissen auftreten« Revelle, Carbon Dioxide, S. 43.

Seite 157 Überschallflugzeuge Bei dem, was ich über die frühen Jahre der Kontroverse schrieb, habe ich mich hauptsächlich auf Dotto/Schiff, Ozone War, verlassen.

Seite 159 Beteigeuze, wenn er zur Supernova wird Der Astronom Marshall L. McCall von der Universität Toronto sprach diese Vermutung bei einem gemeinsamen Treffen der American Astronomical Society und der Canadian Astronomical Society in Vancouver im Jahr 1987 aus. E. E. Thomsen, End of the world: You won't feel a thing, in: Science News 131 (20. Juni 1987), S. 391.

Ungeachtet dessen halten die meisten Astronomen nach der nächsten Supernova Ausschau. Sie bezweifeln, daß sie der Erde schaden wird (und wollen zusehen). Laurence A.Marschall, The Supernova Story, New York (Plenum Press) 1988, S.276.

Seite 159 Schlacht von Vimy Ridge Encyclopaedia Britannica, 12. Aufl., Stichwort Poison Gas Warfare.

Seite 160 »Es gab keinen besonderen Moment« Robert H. Boyle, Forecast for Disaster, S.82.

Seite 161 »Arrid Extra Dry« Dotto/Schiff, Ozone War, S. 292.

Seite 161 A. Gorsuch Burford Zitiert in: Paul Brodeur, In the face of doubt, in: The New Yorker (9. Juni 1986), S. 85.

310

Seite 163 NASA Wettersatellit Nimbus-7 R. S. Stolarski/A. J. Krueger u.a. Nimbus 7 satellite measurements of the springtime Antarctic ozone decrease, in: Nature 322 (28. August 1986), S. 808-811.

Seite 164 Endlich verfaßten Farman J.C. Farman/B.G. Gardiner u.a., Large losses of total ozone in Antarctic reveal seasonal C IOx/NOx interaction, in: Nature 315 (15. Mai 1985), S. 207-210.

Seite 164 »Ozon: Die nicht stattgefundene Krise.« Ozone: the crisis that wasn't, in: Science Digest (August 1984), S.30.

Seite 164 »keine definitive Antwort« Questions without answers, in: New York Times (2. Februar 1986).

Nicht, daß die Times übervorsichtig gewesen wäre. Die Ursache des Ozonlochs war immer noch heftig umstritten und sollte es noch länger als ein Jahr bleiben. Siehe zum Beispiel Ellen Ruppel Shell, Weather versus chemicals, in: Atlantic (Mai 1987), S. 27-31. Shell zitiert Mark R. Schoeberl, einen Atmosphärenforscher der NASA: «Ich glaube, die Atmosphärenwissenschaftler, die behauptet haben, das Ozonloch sei durch FCKWs verursacht worden, haben einen sehr gravierenden Fehler gemacht. Ich bin erstaunt zu sehen, wie viele Leute ihre wissenschaftliche Objektivität aufgrund politischen und finanziellen Drucks verloren haben.»

Seite 165 Robotergehirn Rowland kommentiert: »Das ist eine gute Story, und in sich selbst ist sie wahr. Allerdings hätte es keinen Unterschied gemacht, wenn die abnorm niedrigen Werte ausgenommen worden wären. Niemand hat sich die Daten angesehen, und es gab keine Roboterglocke, die im Fall eines ungewöhnlichen Ergebnisses jemanden alarmiert hätte.«

Seite 166 Als die Neuigkeiten 1985 endlich durchgedrungen waren Stolarski u. a., Nimbus 7.

Seite 167 ein Vulkan habe das Loch in den Himmel gestanzt Susan Solomon und einer ihrer Kollegen haben die Hinweise dafür überprüft, und sie glauben, daß der El Chichon Anfang des Jahres 1983 der Ozonschicht einen gewissen Schaden zugefügt hat. David J. Hofmann/Susan Solomon, Ozone destruction through heterogeneous chemistry following the eruption of El Chichon, in: Journal of Geophysical Research 94 (20. April 1989), S. 5029-5041.

Siehe auch Robert B. Symonds/William I. Rose u. a., Contribution of Cl- and F-bearing gases to the atmosphere by volcanoes, in Nature 334 (4. August 1988), S. 415-418.

Seite 168 Winde hätten das Loch in den Himmel gerissen Die Schlußfolgerung der Herausgeber einer Sonderveröffentlichung der Geophysical Research Letters, die über vierzig Arbeiten über antarktisches Ozon umfaßte. GRL 13 (1986), S. 1191-1326.

Seite 168 Die Sonne war... hyperaktiv L. B. Callis/M. Natarajan in: Journal of Geophysical Research 91 (20. September 1986), S. 10 771.

Seite 168 eines der größten solaren Maxima Es handelte sich um das zweitgrößte Maximum in zweihundertfünfzig Jahren. Das größte fand 1958 während des

311

IGY statt und ist in Farmans Daten überhaupt nicht erfaßt. Die Sonne schien damals gar kein Ozon vernichtet zu haben. Ein Argument gegen die solare Theorie.

Seite 169 »Chicken Little-Syndrom« Zitiert in: Gary Taubes/Allen Chen, Made in the shade?, in: Discover (August 1987), S. 68.

Seite 169 Fußnote Eine illustrierte Geschichte der ersten Löcher an den Polen bieten Herman J. Viola/Carolyn Margolis (Hrsg.), Magnificent Voyagers, Washington, D.C. (Smithsonian Institution Press) 1985.

Symmes' Brief wird zitiert in: John Noble Wilford, The Mapmakers, New York (Alfred A. Knopf), 1981.

Seite 171 Fußnote Carl Stormer, Remarkable clouds at high altitudes, in: Na-ture 123 (16. Februar 1929), S.260f.

Seite 171 der Faktor gewesen sein, den Rowland... vernachlässigt hatte 1974, in ihren ersten Arbeiten, hatten Rowland und Molina betont, daß sie diese Art chemischer Reaktionen aus Mangel an Informationen bei ihren Berechnungen generell vernachlässigten. Im Winter 1983 hatten sie angefangen, sich über solche Reaktionen Gedanken zu machen. Sie begannen eine Serie von Labortests, die ergaben, daß die Ozonfresser viel schneller sind, wenn sie auf Oberflächen festgehalten werden, als wenn sie frei in der Luft schweben.

Seite 171/172 »Ich dachte oft« Susan Solomon, The Hole in the Sky«. Vortrag vor einem Symposium anlässlich der National Science and Technology Week, 5.-11. April 1987.

Seite 172 »Wir vermuten« Zitiert in: S.Weisburd, Pole's ozone hole: who NOZE?, in: Science News (25. Oktober 1986), S.261.

Seite 172 »wenn nicht irrig, dann gewiß verfrüht« Zitiert in: S. Weisburd, Who NOZE, S.261.

Seite 172 »ein Zirkus« Zitiert in: Taubes u.a., Made in the Shade, S.69.

Seite 173 Gerüchten zufolge Ellen Ruppel Shell, Solo flights into the ozone hole reveal its causes, in: Smithsonian (Februar 1988), S. 142-155.

Seite 173 Chloroxydwerte Reaktives Chlor ist Chloroxyd (ClO). Die Chloroxydwerte waren erhöht, aber die Gesamtmenge an Chlor in der Luft war normal.

Seite 173 »vom Mars aus sehen« Zitiert in: Taubes/Chen, Made in the Shade, S.63.

Seite 173 »Schwankung des Ozongehalts« Michael McElroy, zitiert in: Harvard Alumni Gazette (8. Januar 1988).

Seite 174 Sie kamen zum denkbar schlimmsten Schluß Richard A. Kerr, Strato-spheric ozone is decreasing, in: Science 239 (25. März 1988), S. 1489ff.

312

Seite 174 so dünn wie ein Sonnenschirm Wenn die gesamte Ozonschicht auf die Erdoberfläche gebracht würde, wäre sie nur drei Millimeter dick.

Seite 174 eine zehnpromtente Abnahme des Ozons Ralph J. Cicerone, Chan-ges in stratospheric ozone, in: Science 237 (3. Juli 1987), S. 35-42.

Seite 175 gummiartigen Elastinbändern Rick Weiss, Wrestling with wrinkles, in: Science News 134 (24. September 1988), S. 200 ff.

Seite 175 bis eine chemische Bindung bricht Mark J. Rosker/Marcos Dantus u.a., Femtosecond clocking of the chemical bond, in: Science 241 (2. September 1988), S.1200ff.

Einige der vielen Arten, auf die UV-Strahlen DNS-Stränge durchtrennen können, sind in Nonmelanoma skin tumors beschrieben. In: John S. Hoffman (Hrsg.), Assessing the Risks of Trace Gases That Can Modify the Stratosphere, Office of Air and Radiation, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (Dezember 1987), S. 7-22

Seite 175 Bräunungsröhren »Long-UV light may cause Cancer... and destroy natural carcinogens.« In: Science News (3. Mai 1986), S.281.

Seite 176 »Sonneist gut für die Seele« Zitiert in: Susan Fitzgerald, Good for the soul, bad for the skin: Tans lose their summertime appeal, in: Philadelphia Inquirer (5. August 1988).

Seite 177 Die EPA schätzt Statistiken von Hoffman, Assessing the Risks, und Skin Cancer Facts and Figures, Newsletter, The Skin Cancer Foundation (Mai 1988).

Seite 177 Fußnote Gina Kolatas, Eye protection urged after new study links cataracts to sun rays, in: New York Times (1. Dezember 1988).

Seite 178 um Bakterien und Viren zu töten Ozon wurde sogar schon bei Versuchen, das AIDS-Virus zu töten, durchs Blut gepumpt. Associated Press, Ozone tested against AIDS, in: Philadelphia Inquirer (27. Oktober 1988).

Seite 178 Höchstmenge Marjorie Sun, Tighter ozone Standard urged by scientists, in: Science 240 (24. Juni 1988), S. 1724f.

Seite 178 Großstadtzonen Hoffman, Assessing the Risks, 14/3.

Seite 178 Jüngere Studien lassen vermuten Hoffman, Assessing the Risks, 14/3.

Seite 178 auf einem Ferienlager Diese Studie wurde zitiert in: Tighter Ozone Standard.

Seite 179 Altern der Lungen

Laura Masnerus, How the lung reacts to ozone pollution, in: New York Times (31. August 1988).

313

Seite 180 mit Chinahut und dunkler Sonnenbrille

Ein hübsches Foto von Scheuer in seiner Verkleidung findet sich in: Taubes/Chen, Made in the Shade, S.62.

Seite 180 die Biosphäre mehr gefährden

»Beim Thema der Ozonminderung galt die größte Aufmerksamkeit dem Hautkrebs, weil es immer die Aufmerksamkeit aller erregt, wenn man das Wort »Krebs« ausspricht«, bemerkt Margaret Kripke, Vorsitzende der Abteilung Immunologie an der University of Texas, Houston. Sie glaubt, daß die langfristigen

Folgen zusätzlichen UV-Lichts auf das Ökosystem der Erde ein weit ernsteres Problem sein könnten, besonders, wenn die Strahlung den Meeresorganismus schädigt, der »die Basis der Nahrungskette und der Versorgung der Welt mit Nahrung darstellt« (persönliche Mitteilung).

Seite 180 das Gras des Meeres

Sayed Z. El-Sayed, Fragile life under the ozone hole, in: Natural History (Oktober 1988), S. 73-80.

Seite 180 / D. Hooker

Zitiert in: El-Sayed, Fragile life, S. 76.

Seite 181 Wenn dem Krill etwas passiert«

Zitiert in: Philip Shabecoff, As ozone is depleted, much of life could go with it, in: New York Times (17. April 1988).

Seite 182 die Weizenenerträge auf Experimentalfeldern Jon R. Luoma, Crop study finds severe ozone damage, in: New York Times (21. Februar 1988).

Seite 182 mehr Wasser für mehr hohe Wolken Donais R. Blake/F. Sherwood Rowland, Continuing worldwide increase in tropospheric methane, 1978 to 1987, in: Science 239 (4. März 1989), S. 1129ff.

Eine Übersicht über die Arten, wie diese Wolken zur Verminderung des Ozons beitragen könnten, finden Sie in: Richard Monastersky, Clouds without a silver lining, in: Science News (15. Oktober 1988), S. 249ff.

Seite 183 grandiose Schauspiele In den folgenden Jahren sollen diese Schauspiele heller und ausgedehnter werden, und sie sollen immer länger dauern. (Es gibt Anzeichen dafür, daß dies bereits stattfindet.) Gary E. Thomas, John J. Olivero u.a., Relation between increasing methane and the presence of ice clouds in the mesopause, in: Science (6. April 1989), S. 490ff.

Eine Anmerkung: Thomas zufolge wurde über die ersten nachts leuchtenden Wolken 1885 berichtet, kurz nach dem Ausbruch des Krakatau. Die Wissenschaftler merken an, daß in jenen Jahren der Methangehalt der Luft bereits stieg und die Atmosphäre sich mit mehr Wasserdampf auflud. Sie haben den Verdacht, daß der Vulkan gerade genug Dampf machte, damit die ersten nachts leuchtenden Wolken entstehen konnten.

Seite 183 Das geschah 1988 1988 betrug der Ozonschwund etwa fünfzehn Prozent, nachdem er im Vorjahr fünfzig Prozent erreicht hatte - das tiefste je aufgezeichnete Loch in der Ozonschicht. J. Raloff, Ozone hole of 1988: weak and eccentric, in: Science News 134 (22. Oktober 1988), S. 260.

Seite 184 Abbildung Das Wachstum des Ozonlochs von 1979 bis 1984. Erstellt nach TOMS Satellitendaten in: R. T. Watson/M. A. Geller u. a., Present State of Knowledge of the Upper Atmosphere: An Assessment Report, NASA Reference Publication 1162 (Mai 1986).

Seite 184 »nach all dem« Zitiert in: Brodeur, Face of Doubt, S. 83.

314

9 Lovejoys Inseln

Seite 185 bei ihrer globalen Buchführung Peter M. Vitousek/Paul R. Ehrlich u.a., Human appropriation of the products of photosynthesis, in: BioScience 36 (Juni 1986), S. 368-373.

Eine kurze Zusammenfassung und Verteidigung dieser Berechnungen finden Sie in: Jared M. Diamond,

Human use of world resources, in: Nature 328 (6. August 1987), S.479f.

Bei der Beschreibung dieser Forscherarbeit hielt ich mich an die Darstellung von Paul R. Ehrlich, The loss of diversity, in: Biodiversity, Washington, D. C. (National Academy Press) 1988, S.23f.

Seite 186 »impliziert das den Glauben« Ehrlich, The loss of diversity, S. 23

Seite 187 Halbinseln auf der ganzen Erde Jared M. Diamond, The Island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves, in: Biological Conservation 7 (1975), S. 129-146. Ders., Islands in the stream, in: The Science (Mai/Juni 1984), S. 58-62.

Seite 188 Abbildung Die Abbildung zeigt, wie die Wälder von Cadiz, Wisconsin, zwischen 1831 und 1950 abgeholzt wurden. Erstellt nach John T. Curtis, The modification of mid-latitude grasslands by man, in: Man's Role in Changing the Face of the Earth, Chicago (University of Chicago Press) 1956, S. 726.

Seite 189 E. O. Wilson

Eine kurze Einführung in seine Theorie und deren Entstehung finden Sie in Wilsons eigenem Bericht in seinem wundervollen Buch Biophilia (Cambridge, Mass., Harvard University Press), 1984, S. 68-74.

Wilson's Interesse an Inseln reicht weit zurück. Er bekam einmal einen Fragebogen, auf dem eine Frage lautete: »Was haben Sie als Junge gelesen?« Er schrieb unter anderem: »The Lost World von Conan Doyle entflammte meine Phantasie, und danach war ich ein »Nesophiler«; ich liebte Inseln, die wirklichen Symbole für neue Welten, die darauf warten, erforscht zu werden. Dieser Trieb war einer der geistigen Faktoren, die mich in späteren Jahren dazu bestimmten (zusammen mit Robert H. MacArthur), die Theorie der Insel-Biogeographie zu entwickeln.«

From Plato to Pavlov, what the well-read scientist reads, in: The Sciences (September/Okttober 1986), S. 18.

Seite 190 Die Ökologen brauchten einen Testfall Es hat viele Testfälle und Feldversuche in bezug auf diese Theorie gegeben, aber keiner war so ehrgeizig wie Lovejoys Unternehmen. Zwei Klassiker werden oft zitiert. Edward O. Wilson und Daniel S. Simberloff, Experimental zoogeography of islands: defaunation and monitoring techniques, in: Ecology 50 (Frühjahr 1969), S. 267-278, und die sich unmittelbar daran anschließende gemeinsame Arbeit: Edward O. Wilson/Daniel S. Simberloff, Experimental zoogeography of islands: the colonization of empty islands, in: Ecology 50 (Frühjahr 1969), S. 278-289.

315

Edwin O. Willis, Population and local extinctions of Birds on Barro Colorado Island, Panama, in Ecological Monographs 44 (1974), S. 153-169.

Kürzlich führte ein junger Ökologe ein einfaches Inselbiogeographie-Experiment aus, indem er Goldrutenstauden zu langen Reihen und in Schachbrettmustern schnitt. Aufgrund dieses Eingriffs wurden die Blattlausbevölkerungen größer und instabiler. P. Kareiva, Habit fragmentation and the stability of predator-prey interactions, in: Nature 326 (26. März 1987), S. 388 ff. Ein Kommentar zu diesem Versuch: John H. Lawton, Fluctuations in a patchy world, in: Nature 326, S. 328 f.

Seite 190 In der Weihnachtszeit des Jahres 1976

Es wurden mehrere lesenswerte Artikel über Lovejoys Projekt veröffentlicht. Siehe zum Beispiel: David Quammen, Brazil's jungle blackboard, in: Harper's (März 1988), S. 65-70.

Jake Page, Clear-cutting the tropical rain forest in a bold attempt to salvage it, in: Smithsonian (April 1988),

S.106f.

Sam Iker, Islands of life in a forest sea, in: Mosaic (September/Oktober 1982), S. 25-30.

E. O. Wilson beschreibt einen Besuch auf Lovejos Inseln in: The superorganism, in: Biophilia, Kapitel 3, S. 23-37.

Seite 190 In der Praxis wurde dieses Gesetz oft übertreten Glücklicherweise wurde diese Gesetzeslücke, wie Lovejoy anmerkt, inzwischen geschlossen.

Seite 191 Innerhalb der Stadtgrenzen Thomas E. Lovejoy, The Transamazonica: highway to extinction?, in: Frontiers (Frühjahr 1973).

Seite 191 mehr als dreißig Millionen Arten Diese Schätzung erschien zuerst in: T. L. Erwin, Tropical forest: Their richness in Coleoptera and other Arthropod species, in: Coleopteris Bulletin 36 (1982), S.74f.

Seitdem hat sie mehrere Kommentare und Widersprüche herausgefordert. Eine Besprechung: Terry L. Erwin, The tropical forest canopy, in: Biodiversity, Kapitel 13, S. 123-129.

Seite 191 »die größte Lebensäußerung des Planeten« Thomas E. Lovejoy, The tropical forest-greatest expression of life on earth, in: Primates and the Tropical Forest, Sitzungsberichte eines Seminars am California Institute of Technology, ermöglicht durch den World Wildlife Fund U.S. und die L.S.B. Leaky Foundation, 21. September 1982, S. 45-48.

Seite 192 »zerschlissenes Teppichstück« Quammen, Jungle Blackboard, S. 65.

Seite 192 eine Unzahl von Effekten Die ersten Ergebnisse des Projekts stehen in: T. E. Lovejoy/R. O. Bierregaard u. a., Ecological dynamics of tropical fragments, in: S.L. Sutton, T. C. Whitmore u.a. (Hrsg.), Tropical Rain Forest: Ecology and Management, Special Publication Number 2 der British Ecological Society, Oxford (Blackwell Scientific Publications) 1983, S. 337-384.

Eine ausführlichere Übersicht über den Fortschritt bis heute bieten T. E. Lovejoy/R. O. Bierregaard u. a., Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments, in: Michael E. Soule (Hrsg.), Conservation Biology, Sutherland, Mass. (Sinauer Associates) 1980, Kapitel 12, S. 257-285.

316

Seite 194 »Ökosystemverfall« »Und es gibt zwar ein Gesetz von der Erhaltung der Materie, aber keines von der Erhaltung der Arten.« Charles S. Elton, The Ecology of Invasions by Animals and Plants, Science Paperbacks, London (Chap-man and Hall), 1972, S.51.

Seite 195 einer Unzahl lokaler Variationen Der Inseleffekt gefährdet auch die Indianerstämme des Amazonasgebiets. Das Territorium der Yanomami-Indianer zum Beispiel wurde in den vergangenen Jahren von Zehntausenden von Goldgräbern überschwemmt. Jetzt hat die brasilianische Regierung entrüsteten Anthropologen der Universität Brasilia zufolge die Zerstückelung des Yanomami-Gebiets in neunzehn kleine »Inseln« beschlossen. Da die Indianer »zu gewalttätig [sind]... müssen sie separiert werden, um >zivilisiert< zu werden, wie General Bayna Denys, der militärische Befehlshaber dieser Maßnahmen vor kurzem äußerte...« Bruce Albert/Alcida Rita Ramos, Yanomami Indians and anthropological ethics, in: Science 244

(12. Mai 1989), S.632.

Seit der Ankunft Columbus' sind wegen Vorgängen dieser Art rund achtzig Prozent der Eingeborenenkulturen in Nord- und Südamerika verschwunden. Napoleon Chagnon, Yanomamo survival, Brief in: Science 244 (7. April 1989), S. 11.

Seite 195 Riesenpandas Stephen J. O'Brien/John A. Knight, The future of the giant panda, in: Nature 325 (26. Februar 1987), S.758f.

John Noble Wilford, Intense scientific efforts fail to reverse the panda's decline, in: New York Times (17. März 1987).

Can the panda be saved? in: Scientific American 255 (Mai 1986), S.62f.

Seite 195 Panther Barry Bearak, Saving the Florida panther, in: Current Contents (10. März 1986), S. 15. Zusammenfassung aus Barry Bearak, in: Los Angeles Times (9. Januar 1986).

Seite 195/196 Gabelantilopen Die Gefahr für die Gabelantilopen und der Tod der Antilope E werden beschrieben in: Steve Yates, A pronghorn needs freedom to feel at home on the ränge, in: Smithsonian (Dezember 1986), S. 87-95.

Seite 197 Nationalparks... zu klein William D. Newmark, A land-bridge is-land Perspektive on mammalian extinctions in western North American parks, in: Science 325 (29. Januar 1987), S.430ff.

Siehe auch William D. Newmark, Legal and biotic boundaries of western North American parks: a problem of congruence, in: Biological Conservation 33 (1985), S. 197-208.

Seite 197 Winter in den Tropen Roger F. Pasquier/Eugene S. Morton, For avian migrants a tropical vacation is no bed of roses, in: Smithsonian (Oktober 1982), S. 169-187.

Seite 198 amerikanischen Wälder merklich stiller Robert F. Whitcomb, Island biogeography and >habitat islands< of eastern forest, in: American Birds (Januar 1977), S.3f.

George V. N. Powell/John H. Rappole, The hooded warbler, in: Arnos S. Enos u. a., Audubon Wildlife Report 1986, New York (The National Audubon Society) 1986, S. 827-853.

Paul Kerlinger/Craig Doremus, Habitat disturbance and the decline of dominant

317

avian species in pine barrens of the northeastern United States, in: American Birds (Januar 1981), S. 16-20.

Stanley H. Anderson, Changes in forest bird species composition caused by transmission-line corridor cuts, in: American Birds (Januar 1979), S. 3-6.

Es gibt aber auch Singvögel, die an anderen Stellen Vorteile aus den Veränderungen der Lebensräume ziehen. Die Verbreitungsgebiete der nördlichen Spottdrossel und des nördlichen Kardinals scheinen sich zu vergrößern. Bill Law-ren, Something to sing about, in: National Wildlife 27 (Dezember 1988), S. 20-26.

Seite 198 sich ausdehnenden Vorstädte Jon R. Luoma, Nation's surburbs bla-med for songbird decline, in: New York Times (21. Juni 1988).

John W. Aldrich/Winthrop Coffin, Breeding bird populations from forest to suburbia after thirty-seven years, in: American Birds (Januar 1980), S. 3 — 7.

Seite 199 Die Inseln des Monarchfalters Colin Norman, Mexico acts to protect overwintering monarchs, in: Science 233 (19. September 1986), S. 1252f.

Monarchs now protected in ecological reserve, in: Focus, Bulletin des World Wildlife Fund (November/Dezember 1986), S.3.

Seite 201 Fußnote Eric D. Fajer/M. Deane Bowers u. a., The effects of enriched carbon dioxide atmospheres on plant-insect herbivore interactions, in: Science 243 (3. März 1989), S. 1198 ff.

Seite 201 »Meistervariablen« Budyko erinnert uns außerdem daran, daß die Bodenfeuchtigkeit den Pflanzentyp bestimmt. M. I. Budyko, The Evolution of the Biosphere. [Ins Englische] übersetzt von M. I. Budyko, S. F. Lemashko u. a., Dordrecht, Holland (D. Reidel Publishing Company) 1986.

Seite 201 diese Grenzen neu ziehen Leslie Roberts, Is there life after climate change?, in: Science 242 (18. November 1988), S.1010ff.

Seite 201 Peters und Darling Robert L. Peters/Joan D.S. Darling, The green-house effect and nature reserves, in: BioScience 35 (Dezember 1985), S. 707-717.

Seite 202 könnte der Rückzug abgeschnitten gewesen sein Neuerdings ist der »glazialen Ausrottungshypothese« widersprochen worden. Siehe J. M. Adams/ F. I. Woodward, Patterns in tree species richness as a test of the glacial extinction hypothesis, in: Nature 339 (29. Juni 1989), S.699ff.

Seite 203 Abbildung Wie sich die Fichtenwälder Nordamerikas in den vergangenen zwölftausend Jahren nach Norden zurückgezogen haben, als die Eiszeit endete und der Planet sich erwärmte. Nach P. M. Anderson/C. W. Bamosky u. a., Climatic changes of the last 18 000 years: observations and model simulations, in: Science 241 (26. August 1988), S. 1048.

Seite 203 Bäume wandern Die meistzitierte Abhandlung über Baumwanderungen ist von Margaret Bryan Davis: Holocene vegetational history of the eastern United States, Kapitel 11 in: H. E Wright jr. (Hrs.), Late Quaternary Environments of the United States, Band 2: The Holocene, Minneapolis (University of Minnesota Press) 1983, S. 166-181.

318

Die Wanderung von Bäumen ist ein komplexes Thema, und Zusammenbrüche von Wäldern könnten weit früher stattfinden als erwartet. Wenn sich zum Beispiel die Mischung der Baumarten in den Wäldern ändert, ändert sich auch der Boden, und das wiederum fördert Veränderungen der Baumpopulationen. John Pastor/W. M. Post, Response of northern forests to CO₂-induced climate change, in: Nature 334 (7. Juli 1988), S. 55-58.

Seite 204 Birnams Wald William Shakespeare, Macbeth, 5. Aufzug, 5. Szene, Übersetzung von Schlegel/Tieck.

Seite 204 Dürren und Brände Die Geschichte zeigt nach Meinung des Ökologen James S. Clark, daß Waldbrände »einen sehr starken Einfluß auf das Klima haben«. In den letzten Jahrhunderten haben die Wälder im nordwestlichen Minnesota häufiger und heftiger gebrannt, wenn das Klima warm und trocken

war, als bei einem kalten und feuchten Klima. Clark sagt voraus, daß die Brände heftiger werden, wenn sich die Welt weiterhin erwärmt. Das wird ein besonderes Problem in Naturschutzgebieten sein, wo die Brände unterdrückt worden sind, um die letzten Fleckchen Wildnis oder die letzten Bestände gefährdeter Arten zu schützen; hier »wird die Brennmaterialanhäufung heftigere und/oder häufigere Feuer zur Folge haben«. James S. Clark, Effect of climate change on fire regimes in northwestern Minnesota, in: Nature 334 (21. Juli 1988), S. 233 ff.

R. Monastersky, Climate influence on forest fires, in: Science News 134 (23. Juli 1988), S.55.

Unglücklicherweise können Waldbrände Naturschutzgebiete sogar dann schädigen, wenn das Feuer tausend Kilometer entfernt ist. Der Verlust großer Anlagen für gewerbliches Nutzholz kann Regierungsvertreter zwingen, zu erlauben, daß in geschützten Gebieten Holz geschlagen wird. In China zum Beispiel zerstörte ein großer Waldbrand mehr als 3,7 Millionen Hektar Wald in der Mandschurei. Das zwang die Regierung Chinas, zu gestatten, daß in Reservaten Holz geschlagen wurde, zu denen auch die letzten Wohninseln des mandschurischen Tigers gehörten. Kathy Johnston, Forest fire threatens Manchurian tiger, in: Nature 327 (11. Juni 1987), S. 454.

Seite 205 der pazifische Zugweg Peter Steinhart, Empty the Skies, in: Audubon (November 1987), S. 71-99.

Seite 205 die Stillwater-Niederungen George Laycock, What water for Stillwa-ter?, in: Audubon 90 (November 1988), S. 14-25.

Dying tract in west is named a bird's refuge, in: New York Times (21. August 1988), S. 31.

Seite 205 »wie ein Trittstein« Diese außergewöhnlichen Versammlungsorte lösen, wie J. P. Myers bemerkt, »den üblichen Zusammenhang zwischen dem Zahlenreichtum einer Art und ihrer Immunität gegen Auslöschung«. Erick Eckholm, Spring rite of gluttony fattens birds for journey, New York Times (20. Mai 1986).

Seite 207 Die Bäume sind Regenmacher Thomas E. Lovejoy/Eneas Salati, Pre-cipitating change in Amazonia, in: Emilio F. Moran (Hrsg.), The Dilemma of Amazonian Development, Boulder, Col. (Westview Press) 1983, Kapitel 8, S. 211-219.

319

Bayard Webster, Forest's role in weather documented in Amazon, in: New York Times (5. Juli 1983).

Seite 210 durch Hunger und Schulden »Dies kann (mit einiger Mühe) durch ökonomische Gründe gerechtfertigt werden, aber es ist, als verbrenne man ein Gemälde der Renaissance, um Essen zu kochen.« Wilson, Biophilia, S. 25.

Das Abholzen der Regenwälder ergibt auf lange Sicht selbst aus ökonomischen Gründen keinen Sinn. Der Wald ist lebendig von größerem Nutzen als tot. Siehe Charles M. Peters/Alwyn H. Gentry u. a., Valuation of the Amazonian rainforest, in: Nature 339 (29. Juni 1989), S.655f.

Seite 210 Der FAO-Bericht United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), Forest Resources Division, Tropica! Forest Resources, Forestry Paper 30 (Rom 1982). Zitiert in: Sandra Postel, Protecting forests, in: Lester R. Brown u. a., State of the World 1984, New York (W. W. Norton) 1984, S. 74-94.

Seite 210/211 Satellitenfotos von Indien »Alarmierende Ergebnisse der letzten Landsat-Bilderserie zeigen, daß die Entwaldung in Indien weit rascher fortschreitet, als noch vor kurzem befürchtet. Das indische

Forstamt hatte geglaubt, daß Wälder etwa zweiundzwanzig Prozent des Landes bedeckten, aber Landsat zeigt eine Bewaldung von nur zehn Prozent.« Radhakrishna Rao, Rising above forest decline, in: Nature 323 (25. September 1986), S.284L

Sandra Postel/Lori Heise, Reforesting the earth, in: Lester R. Brown u. a., State of the World 1988, New York (W.W. Norton) 1988, S.85.

Seite 213 »hübsches Sinnbild« Walter A. McDougall, ..the Heavens and the Earth, New York (Basic Books) 1985.

Seite 213 der Strandammern im Sumpfland Über die Bedrohung der Strandammern wurde in der Presse laufend berichtet.

Norman Boucher, Whose eye is on the sparrow? in: The New York Times Magazine (13. April 1980), S. 44.

A bird in the hand, in: New Scientist (17. Juli 1980), S. 185.

John P. Wiley jr., Phenomena, comment, notes, in: Smithsonian (Mai 1981).

John Noble Wilford, Last dusky sparrow struggles on, in: New York Times (29. April 1986).

Peter Steinhart, Synthetic species, in: Audubon 88 (September 1986), S. 8-11.

Ein wissenschaftlicher Nachruf: John C. Avise/William S. Nelson, Molecular genetic relationships of the extinct dusky seaside sparrow, in: Science 243 (3. Februar 1989), S. 646 ff.

10 Das Orakel Gäas

Seite 215 James Hutton

Donald B. McIntyre, James Hutton and the philosophy of geology, in: The Fabric of Geology, Reading, Mass. (Addinson-Wesley) 1963.

Seite 216 Maury, ein Pionier

Siehe Maurys Klassiker: The Physical Geography of the Sea; zum Beispiel seine Folgerung, mikroskopische Muscheln und andere Meeresorganismen (die er »maritime Insekten« nennt) »könnten aufgrund der Aufgaben, die sie erfüllen, als Kompensatoren in dem ausgeklügelten System physikalischer Mechanismen betrachtet werden, durch das die Natur ihre Harmonien bewahrt«.

320

»Kürzliche Studien«, schreibt Maury, »...lassen die Insekten des Meeres in einem neuen und noch erstaunlicheren Licht erscheinen. Wir betrachten sie jetzt nicht mehr nur als Kompensatoren, dank derer die Bewegungen des Wassers in seinen Zirkulationsbahnen reguliert und die Klimate gemäßigt werden, sondern außerdem als Bewahrer des Gleichgewichts zwischen der festen und der flüssigen Materie auf Erden.

Sollte sich herausstellen, daß diese mikroskopischen Geschöpfe tatsächlich an der Oberfläche leben und nur auf den Grund des Meeres sinken, wenn sie tot sind, dann können wir sie als Konservatoren des Ozeans betrachten; denn in Erfüllung ihrer Aufgaben tragen sie dazu bei, den Zustand des Ozeans zu erhalten,

indem sie die von den Flüssen und Regenfällen mitgeführten Salze aussondern und für die Reinheit des Meereswassers sorgen.«

Maurys Sicht des lebenden Planeten war teils wissenschaftlich und teils religiös (wie bei vielen frühen Forschern und Philosophen, bis zurück zu den Griechen). Er schreibt: »Und daß die Regen zu den rechten Zeiten geschickt werden, wird uns von der Höhe versichert; und wenn wir uns in Erinnerung rufen, wer es ist, der uns den Regen >sendet<, fühlen wir die starke Gewißheit in uns, daß Er, der den Regen sendet, sich der Winde als Boten bedient; und daß Land und Meer in ihrer Verteilung und in ihrem Verhältnis zueinander derart geschaffen wurden, daß sie Sein Gebot erfüllen.«

Matthew Fontaine Maury, *The Physical Geography of the Sea and its Meteorology*, Hrsg.: John Leighly, Cambridge, Mass. (Harvard University Press) 1963. Neuveröffentlichung der 8. und letzten Ausgabe (New York: Harper and Brothers, 1861).

Seite 216 lange Landspaziergänge R. K. Balandin, Vladimir Vernadsky. [Ins Englische] übersetzt von Alexander Repyev, Moskau (Mir Publishers) 1982, S. 23 f.

Seite 216 auf einen alten Grund Die Geschichte der Gää-Vorstellung ergäbe ein umfangreiches und faszinierendes Buch. Hier folgen ein paar weitere Vorgänger:

Herbert Spencer, Remarks upon the theory of reciprocal dependence, in: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 24 (1844), S. 90-94

Alfred Lotka, *The Elements of Physical Biology*, Baltimore (Williams and Wilkins) 1925, S. 16.

Alfred C. Redfield, The biological control of chemical factors in the environment, in: *American Scientist* 46 (1958), S. 205-211.

Einen Abriß dieser Vorstellung im alten Griechenland und Rom finden Sie in: J. Donald Hughes, Gaia: an ancient view of our planet, in: *The Ecologist* (1983), S. 54-60. Reprinted in: *Environmental Review* 6 (1982).

Seite 216 nur als eine Maschine

James Hutton, *Theory of the earth, or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the globe*, in *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 1, S. 215. – Zitiert in: McIntyre, Hutton, S. 7. – [Hutton fragt: »\[Beinhaltet\] die Konstitution dieser Welt einen Wiederherstellungsmechanismus, der eine geschädigte Konstitution reparieren könnte?«](#)

321

Seite 217 in der medizinischen Forschung

Meine Quellen in bezug auf diese Phase seiner Laufbahn sind persönliche Gespräche mit Lovelock, außerdem seine kurzen Memoiren. James E. Lovelock, The electron capture detector - a personal Odyssey, in: *Chemtech* (September 1981), S. 531-537.

Eine technische Einführung in die Erfindung selbst findet sich in Lovelocks Monographie: *Ultrasensitive chemical detectors*, in: *Applied Atomic Collision Physics* 5 (1982), S.2-29

Seite 219 »in keiner Hinsicht eine Gefahr« J. E. Lovelock/R. J. Maggs u. a., Halogenated hydrocarbons in and over the Atlantic, in: *Nature* 241 (1973), S. 194 ff.

Seite 220 Lovelock brütete monatelang Lovelock erzählt diese Geschichte in seinem Buch *Gaia*, Oxford,

(Oxford University Press), 1979.

Es sind außerdem einige lesenswerte populärwissenschaftliche Artikel über Lovelock und Gäa erschienen, so Roger Bingham, The marverick and the earth goddess, in: Science 81 (Dezember 1981), S. 77-82.

Lawrence E. Joseph, Britain's whole earth guru, in: The New York Times Magazine (23. November 1986), S. 66

Seite 220 stark erhitzten James Lovelock, The Ages of Gaia, New York (W. W. Norton) 1989, S. 28

Seite 224 Ein weiteres planetares Geheimnis Vergleiche über dieses Thema Lovelock (Lovelock, The Sea, Kapitel 6 in Gaia) mit Maury (Anmerkungen weiter oben). Der Glaube an die Harmonie der Natur kann zu ähnlichen Schlußfolgerungen und Vermutungen führen, ob der Glaube nun wissenschaftlicher oder religiöser Herkunft ist.

Seite 224 Und doch ist die Sonne... heller geworden Anderer Geowissenschaftler haben behauptet, ein anorganischer Thermostat könne den Planeten vor der vermehrten Helligkeit der Sonne geschützt haben. Das bedeutet, daß die Funktion von nur fünf der Sphären, nämlich des Feuers, der Erde, der Luft, des Meeres und des Eises, ohne Mitwirkung der Sphäre des Lebens für eine annähernd stabile Temperatur des Planeten gesorgt hätten. Wenn es so wäre, bestünde keine Notwendigkeit für die Gäa-Hypothese - zumindest nicht, um die langfristige Stabilität der Erdtemperatur zu erklären. Siehe zum Beispiel James F. Kasting/ Owen B. Toon u.a., How climate evolved on the terrestrial planets, in: Scientific American 258 (Februar 1988), S. 90-97.

Beide Thermostattheorien, die »animistische« wie die »nichtanimistische«, sind umstritten. Aber vielleicht tragen diejenigen, die sich für einen anorganischen Thermostat aussprechen, die größere Beweislast. Immerhin hat sich das Leben entwickelt, und das Leben besitzt sehr großen Einfluß auf die Chemie der übrigen Sphären. Wenn der Einfluß der Biosphäre auf die Erdtemperatur zufallsbedingt ist, dann muß der anorganische Thermostat fähig sein, nicht nur mit der vermehrten Helligkeit der Sonne, sondern auch mit einer Atmosphäre und einer Hydrosphäre fertig zu werden, deren Azidität und sogar deren Zusammensetzung selbst durch Aktivitäten der Biosphäre verändert werden können. Das ist eine hohe Anforderung, denn die Sphäre des Lebens kann das System innerhalb von Jahren, Jahrzehnten und Jahrhunderten verändern. Daher muß ein unbelebter Thermostat nicht nur rasch und heftig reagieren können, er muß zudem fähig sein, plötzlichen, zufälligen und ständigen Veränderungen in vielen seiner funktionellen Teile zu begegnen.

322

Seite 225 ohne Plan oder Voraussicht

W. Ford Doolittle, Is nature really motherly?, in: The CoEvolution Quarterly (Frühjahr 1981), S. 58-63. Dem Artikel folgen Antworten Lovelocks und des amerikanischen Mikrobiologen Lynn Margulis.

Seite 225 Hugh Loftings Buch Doolittle, Motherly, S. 60.

Seite 226 Gänseblümchenwelt Andrew J. Watson/James E. Lovelock, Biological homeostasis of the global environment: The parable of Daisyworld, in: Tettus 35B (1983), S. 284-289.

James E. Lovelock, Daisyworld, in: The CoEvolution Quarterly (Sommer 1983), S. 66-72.

Ders., Exploring Daisyworld, in: Ages of Gaia, Kapitel 3, S. 42-64. Siehe auch: What is Gaia?, Kapitel 2, S. 35¹¹.

Seite 228 »für fast alle Chemikalien« Lovelock, Ages, S. 40.

Seite 229 G steht für Golem H. D. Block, Learning in some simple nonbiological Systems, in: American Scientist 53 (1965), S. 59-79. Jonathan Weiner, in Gaia's garden, in: The Sciences (Juli/August 1986), S. 2-5.

Seite 237 Abbildung Eine Computersimulation der auf- und absteigenden und allmählich außer Kontrolle geratenden Temperaturen eines imaginären Planeten. Rechte bei J. Lovelock.

Seite 237 Abbildung Die Temperaturen des imaginären Planeten schießen über die vorhergesehenen Werte hinaus. Rechte bei J. Lovelock.

11. Die neue Frage

Seite 239 in der Nähe von Alamogordo, New Mexico

Meine Hauptquelle über Trinity war das grundlegende Buch von Richard Rhodes, [The Making of the Atomic Bomb](#), New York (Simon & Schuster) 1988.

Seite 241 die nächsten tausend Jahre

Die Konzentrationen an Treibhausgasen werden auch im Jahr 3000 noch erhöht sein, und ihr Erwärmungseffekt auf die polaren Eisdecken und die Tiefen der Ozeane wird vermutlich noch mindestens ein Jahrtausend brauchen, bis er sich voll auswirkt.

Seite 241 »die restlichen Eiskappen«

John Maddox, How to tackle global calamity, in: Nature 335 (15. September 1988), S. 191f.

Seite 241 viele Experten als Entzündungspunkt bezeichnen

Ein prominenter arabischer Hydrologe meint dazu: »Wasser bedeutet die Zukunft des gesamten Gebiets. Die Lage ist sehr kritisch.« Und ein prominenter israelischer Experte erklärt: »Ich kann nicht versprechen, daß genügend Wasser einen Krieg verhütet. Aber Wassermangel wird zum Krieg führen - daran gibt es keinen Zweifel.« Alan Cowell, Next flashpoint in Middle East: water, in: New York Times (16. April 1989).

323

Seite 243 mindestens fünfzehn internationale Konferenzen

Wie einer der Delegierten es ausdrückte: »Der >Wanderzirkus< der Treibhausdiskussion hat begonnen.« Christine McGourty, Global warming becomes an international political issue, in: Nature 336 (17. November 1988), S.194.

Wir sind Zeugen der Entstehung eines neuen Berufszweiges: der »Öko-Diplomaten«. Robert C. Cowan, The rise of eco-diplomacy, in: Technology Review (Mai/ Juni 1988), S. 18

Seite 243 gemäß einer dieser drei Kurven

Diese Tabelle basiert auf den Ergebnissen der 1987 in Villach und Bellagio unter der Schirmherrschaft des Beijer-Instituts in Stockholm abgehaltenen internationalen Konferenz. Jill Jaeger, Developing Policies for Responding to Climate Change. World Climate Programme Impact Studies (April 1988), S. 4.

Siehe auch Irving M. Mintzers Model of warming commitment in seinem Büchlein A Matter of Degrees: The Potential for Controlling the Greenhouse Effect, Research Report No. 5 of the World Resources Institute (April 1987).

Philip Shabecoff, Major >Greenhouse< impact is unavoidable, experts say, in: New York Times (19. Juli 1988).

Seite 245 Aufstellung der... verbrannten Kohlenstoffmengen

Gregg Marland, Fossil fuels CO2 emissions: three countries account for 50% in 1986, in: CDIAC Communications, Bulletin of the Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory (Winter 1989), S. 1-4.

Seite 245 Energiespargesetze Howard Geller/Jeffrey P. Harris u.a., The role of federal research and development in advancing energy efficiency: a \$ 50 billion contribution to the US economy, in: Annual Review of Energy 1987, 12 (1987), S. 357-395.

Christopher Flavin/Alan B. Durning, Building on Success: The Age of Energy Efficiency, worldwatch paper 82, Washington, D.C. (Worldwatch Institute), März 1988.

Bill Keepin/Gregory Kats, Global warning, Brief in: Science 241 (26. August 1988), S. 1027.

William U. Chandler/Howard S. Geller u. a., Energy Efficiency: A New Agenda, Washington, D.C. (The American Council for Energy-Efficient Economy), Juli 1988.

Seite 246 In Japan wurden... Sparvorschriften erlassen

Lester R. Brown/ Christopher Flavin u. a., No time to waste, a global agenda for the Bush administration, in: Worldwatch 2 (Januar/Februar 1989), S. 13. Ich habe in diesem Kapitel viele Teile des Artikels benutzt.

Seite 246 eine Geheimwaffe

»1986 verwandten die Vereinigten Staaten zehn Prozent ihres Bruttonationalprodukts darauf, die nationale Treibstoffrechnung zu bezahlen, und Japan brauchte nur vier Prozent. Die Differenz betrug zweihundert Milliarden Dollar, Geld, das die Vereinigten Staaten zu Investitionen in anderen Bereichen und zur Verringerung ihres Defizits hätten verwenden können. Flavin/ Durning, Success, S.9.

324

Seite 246 Amerikanische Autos zum Beispiel

Jim MacKenzie, World Resources Institute, Washington, D.C. Relative releases of carbon dioxide from synthetic fuels, unveröffentlichtes Memorandum, 10. Juni 1987, zitiert in: Flavin/Durning, Success, S.23.

Seite 246 senkte auch die Regierung die Norm wieder

Ironischerweise wurde die Entscheidung dafür unmittelbar nach dem langen heißen Sommer 1988 getroffen. John Holusha, Government agrees to relaxation of auto mileage Standard for '89, in: The New York Times (4. Oktober 1988).

Guy Darst, Let 'em eat gas: EPA list shows guzzlers are growing, in: Philadelphia Inquirer (23. September 1988).

Seite 247 hundert neue Wasserkraftwerke Marilise

Simons, Brazil Wants Its dams, but at what cost?, in: New York Times (12. März 1989).

Seite 247 »Armut eine ebenso wichtige Ursache«

Jessica Tuchman Matthews, Global climate change: toward a greenhouse policy, in: Issues in Science and

Technology 3 (1987), S. 66.

Seite 248 alle zehn Jahre ein neues Indien

Bevölkerungsstatistik aus: 1988 World Population Data Sheet, vierteljährlich von The Population Reference Bureau, Inc., Washington, D.C, herausgegebenes Bulletin (April 1988).

Seite 249 erdbebengefährdete Gebiete

Roger Bilham, Earthquakes and urban growth, in: Nature 336 (15. Dezember 1988), S.6251

Roger Bilham/Robert Yeats u.a., Space geodesy and the global forecast of earthquakes, in: EOS (31. Januar 1989). S. 65.

Seite 249 seit den ersten fahren der Renaissance Die Tabelle basiert auf The Greenhouse Gases, UNEP/GEMS Environmental Library No. 1, Nairobi (United Nations Environment Programme) 1987, S. 18.

Seite 250 dreitausendfünfhundert Prozent

Barry B. Hughes, World Futures, Baltimore (John Hopkins University Press) 1985, S. 58.

Seite 250 »Verzicht auf alle Kleidung« H. Brown, The Challenge of Man's Future.

Seite 251 die Bevölkerungen Bangladeschs und der Malediven

Jodi L. Jacobson, Swept away, in: Worldwatch 2 (Januar/Februar 1989), S. 20-26.

Seite 251 »eine gefährdete Nation«

Zitiert in: Sandra Postel, A green fix to the global warm-up, in: Worldwatch 1 (September/Okttober 1988), S. 30.

Seite 251 Japan... China Brown, Waste, S. 17.

Seite 252 eine Kontrolle unserer eigenen Anzahl

Der Ökologe Mark Kosmo behauptet, die Energiepreise würden von den Regierungen künstlich niedrig gehalten; das fördert die Verschwendung und bietet keinen Anreiz zur Entwicklung von Alternativen. Mark Kosmo, Money to Burn? The High Costs of Energy Subsidies, Washington, D.C. (World Resources Institute), Oktober 1987.

325

Seite 252 produzieren kein Kohlendioxyd

Das heißt, sie produzieren es nicht direkt. Aber natürlich erfordert die Herstellung (und Erhaltung) der für die Gewinnung jeder Art von Energie nötigen Stahlbetongebäude zunächst einmal selbst Energie. Deshalb würden auch geothermale oder solare Kraftwerke Kohlendioxyd produzieren (wenn auch weniger als Kohlekraftwerke). Und neue Wege der Energieversorgung pflegen einen Bedarf an immer mehr Energie zu wecken. Letztlich können wir dieses Spiel nicht gewinnen, selbst nicht mit alternativer Energie. Die einzige Möglichkeit, es zu gewinnen, besteht darin, den Betrag an Energie zu vermindern, die wir nutzen.

Seite 253 Berg Yucca Meine Hauptquelle war ein Forschungsbericht von Dan Grossman und Seth Shulman: Nuclear dump: the experiment begins, in: Dis-cover (März 1989), S. 48-56.

Seite 255 Die Salzwände der Höhlen tropften

Ein Geologe an der Universität von New Mexico sagte zu einem Reporter, Carlsbad sei »übereilt ausgewählt worden und habe für eine Menge geologischer Überraschungen gesorgt«. Alun Anderson, Congress goes for

Nevada as site for nuclear waste storage, in: Nature 330 (24./31. Dezember 1987), S. 682.

Hintergrundinformationen zu der Kontroverse in bezug auf die tropfenden Wände in: R. Monastersky, Concern over leaks at radwaste site, in: Science News 133 (23. Januar 1988), S. 54.

Die USA sind natürlich nicht das einzige Land mit Problemen der Endlagerung von Atommüll. Die Bundesrepublik Deutschland pflegt ihre verbrauchten Brennelemente nach Frankreich zu verfrachten und hat bis heute noch keine geeigneten Lagerstätten im eigenen Land. Die Atommüll-Transportfirma Transnuklear versuchte das Problem zu lösen, indem sie Tausende verstrahlter Fässer als »harmlos« etikettierte. Steven Dickman, Scandal rocks nuclear power industry in West Germany, in: Nature 331 (14. Januar 1988), S. 106; auch die deutsche Presse hat den Fall ausführlich behandelt.

Seite 255 der Physiker Freeman Dyson

Die frühen Schriften: Freeman J. Dyson, Can we control the carbon dioxide in the atmosphere?, in: Energy 2 (1977), S. 287-291.

Freeman J. Dyson/Gregg Marland, Technical Fixes for the Climatic Effects of CO₂, in: William P. Elliott/Lester Machta (Hrsg.), Workshop on the Global Effects of Carbon Dioxide from Fossil Fuels, Miami Beach, Fla., 7.-11. März 1977, U.S. Department of Energy, CONF-770385 (Mai 1979), S. 111-118.

Seite 255 »kein Gesetz der Physik«

Dyson, Control, S. 290.

Seite 255 diese Vorstellung zu überprüfen

Die zweite Generation von Berichten: Gregg Marland, The Prospect of Solving the CO₂ Problem Through Global Reforestation, Office of Energy Research, Office of Basic Energy Sciences, Department of Energy, DOE/NBB-0082 (Februar 1988).

Ders., The Role of U.S. Forestry in Addressing the CO₂ Problem, vorbereitete Aussage, Senate Committee on Energy and Natural Resources (19. September 1988).

Sandra Postel/Lori Heise, Reforesting the Earth, Worldwatch Paper 83, Washington, D.C. (Worldwatch Institute), April 1988.

Postel, A Green Fix.

326

Seite 257 – hundert Millionen Bäume

Die American Forestry Association nennt ihren Versuch »global ReLeaf«, Gregory Byrne, Let 100 million trees bloom, in: Science 242 (21. Oktober 1988), S. 371.

Natürlich wird es nicht möglich sein, alle diese Bäume zu pflanzen und am Leben zu erhalten, wenn die Bevölkerung der dritten Welt weiterhin so rasch wächst wie zur Zeit. Schon heute, schreibt der Ökologe Daniel H. Janzen, »leben in den Tropen wenigstens eine Milliarde Menschen von Land, dessen Bebauung nur gerade eben noch lohnt«. Auf solchen Gebieten Bäume zu pflanzen, würde die Erträge der Bauern und Holzfäller schmälern: Es würde reduzieren, was die Ökologen die »Belastbarkeit« der Wälder nennen. »Es scheint klar«, fügt Janzen hinzu, »daß die Belastbarkeit der Tropen mit Menschen, die einen vertretbaren Lebensstandard halten können, weit überschritten ist.« D.H. Janzen, CO₂ reduction and reforestation, in: Science 242 (16. Dezember 1988), S. 1493.

Seite 258 – Diese Entwaldung geschieht... oft unüberlegt

Als planetare Bewirtschafter stehen uns drei Möglichkeiten frei, behauptet Richard Houghton vom Woods Hole Research Center.

Die erste Möglichkeit ist die, daß wir wie bisher weitermachen. In diesem Fall sind die Regenwälder in fünfzig bis hundert Jahren verschwunden, und wir blasen allein durch Entwaldung ungefähr hundert weitere Gigatonnen Kohlenstoff in die Luft.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, daß wir die Entwaldung stoppen und anfangen, aufzuforsten. Das hat zur Folge, daß ab sofort eine oder zwei Gigatonnen Kohlenstoff weniger pro Jahr in die Luft gelangen und ein Teil davon sogar gebunden wird. Aber nur für eine gewisse Zeit. Ist der Wald erst einmal ausgewachsen, hört er auf, Kohlendioxyd zu binden.

Die dritte Möglichkeit ist die, daß wir anfangen, aus Holz gewonnene Brennstoffe wie Methan zu verwenden, aufhören zu entwalden, mit dem Aufforsten beginnen und dafür sorgen, daß immer genügend Holz in den Wäldern nachwächst, damit wir genug zum Verbrennen haben. Auf diese Art ist ein Gleichgewicht möglich: Die Menschensphäre fügt der Luft keinen neuen Kohlenstoff hinzu.

Gregg Marland weist darauf hin, daß Houghtons Szenario verlangt, neuen Wald etwa von der Größe Australiens anzupflanzen.

Houghton erwidert: »Es handelt sich dabei um ein Drittel des Umfangs der heutigen Anbaugelände. Also haben wir bereits Erfahrung darin, so große Gebiete zu bewirtschaften. Aus dieser Sicht klingt es weniger entmutigend.«

Seite 258 – bis es kaum noch einen gab

In vielen Teilen des Amazonasgebiets schreitet die Abholzung exponentiell fort. Aber es sind ungünstige Zeiten, um über die Folgen dieses exponentiellen Abholzens nachzudenken, bemerkt der Ökologe Philip M. Fearnside. »In Brasilien«, schreibt er, »herrscht seit Menschengedenken eine zwanzigprozentige Inflationsrate, und in den letzten Jahren war es eine dreißigprozentige Rate. Und doch sind die Käufer bei ihrem wöchentlichen Marktbesuch jedesmal von der Größenordnung überrascht. Die Vorstellung, daß ein älterer Mensch ein Haus für weniger als den heutigen Preis für eine Flasche Coca-Cola gekauft hat, ruft immer noch Staunen hervor, selbst nach einer lebenslangen Erfahrung mit der exponentiellen Inflationsrate.« Den Menschen fällt es einfach schwer, »sich vorzustellen, daß ein relativ kleines gerodetes Gebiet einmal die Ausdehnung des ungeheuren Amazonasgebiets einnehmen wird«. Philip M. Fearnside, Deforestation in the Brazilian Amazon: how fast is it occurring?, in: Inter-scienza 7 (März/April 1982), S.82f.

327

Seite 258 versteigert routinemäßig Einschlagrechte

Robert Repetto, The Forest for the Trees? Government Policies and the Misuse of Forest Resources, Washington, D.C. (World Resources Institute), Mai 1988.

Hintergrundinformationen stehen auch in Philip Shabecoffs Artikel Forest Service accused on Alaska timber pact, in: New York Times (29. April 1986).

Ders., Commercial timber leasing threatens old forest in Oregon, in: New York Times (4. Januar 1987).

Seite 259 »Atmosphärenveredlung«

William J. Broad, Scientists dream up bold remedies for ailing atmosphere, in: New York Times (16. August 1988). Der Untertitel des Artikels entlarvt die Ambivalenz des Autors (und zugleich die Ambivalenz vieler Wissenschaftler, die er interviewt hat): »Die Vorschläge mögen nicht ausführbar, riskant oder zu kostspielig sein, aber sie sind Herausforderungen.«

Seite 259 einen gigantischen Sonnenschirm

Budykos Vorschlag wird diskutiert in: Wallace Broecker, How to Build a Habitable Planet, Palisades, N.Y (Eldigio Press), 1985, S.274f.

Seite 260 »reichlich spekulativ«

Zitiert in: Broad, Bold Remedies.

Seite 260 Hurrikane umzuleiten

Der theoretische Meteorologe Jule Charney war bei einem dieser überschwenglichen Gespräche zugegen. »Ich fand die Vorstellung in der Atmosphäre explodierender Atombomben generell abscheulich und suchte nach Gegen Gründen«, erinnerte er sich später. J. Smagorinsky, Jule Gregory Charney, Bowie Laureate, in: Eos (15. November 1988), S.1582.

Seite 260 vermehrte Methanemission

Kathy Johnston, UK publishes report on CFCs based on old data, in: Nature 328 (13. August 1987), S. 568.

Seite 260 »solche Fragen«

Der Spiegel, Nr. 26/1988.

Seite 261 ist die Anregung großartig

Ihre Attraktivität ist zum Teil Sache des Temperaments. Budyko zum Beispiel, der ausgezeichnete sowjetische Meteorologe, ist ohne Vorbehalt für die Terraformung. Für ihn gehört zu den Zielen der neuen Wissenschaft der globalen Ökologie denn auch die »Entwicklung von Methoden zur Beeinflussung langfristiger Prozesse in der Biosphäre, um zum Wohl der menschlichen Gesellschaft ein globales System der Kontrolle der Biosphäre zu schaffen« (Budyko, Evolution, xiv). Budyko ist auch in bezug.auf die Folgen der Treibhauserwärmung optimistisch.

Forscher, die anders denken, argumentieren so: »Selbst wenn wir die Zukunft unseres Klimas vorhersagen könnten, wäre Klimakontrolle ein riskantes Unternehmen ... Wir haben den Eindruck, daß für die Klimakontrolle mehr Pläne vorgeschlagen werden als für die Kontrolle der Klimakontrolleure.« W.W. Kellogg / S.H. Schneider, Climate stabilization: for better or for worse?, in: Science 186 (27. Dezember 1974), S. 1163-1172.

Seite 262 eine Presseinformation

Zitiert in: Hendrik Hertzberg, That's oil, folks, in: The New Republic (24. April 1989), S. 4.

Seite 263 Frank Murkowski

Zitiert in: Hertzberg: That's Oil.

Seite 264 hinter halb geschlossenen Türen

Einen kurzen Blick auf die frühe Geschichte des Programms ermöglichen:

David Dickson, NASA floats a global plan, in: Science 217 (1982), S. 916.

Lewis Thomas, On global habitability and NASA, in: Discover (Juni 1983), S.65f.

M. Mitchell Waldrop, An inquiry into the State of the earth, in: Science 226 (1984), S. 33ff.

Seite 264 vierteljährlich erscheinendes Nachrichtenblatt

Empfehlenswert: Die Sonderausgabe global change and public policy, EarthQuest 3 (Frühjahr 1989).

Seite 264 »Mission zum Planeten Erde«

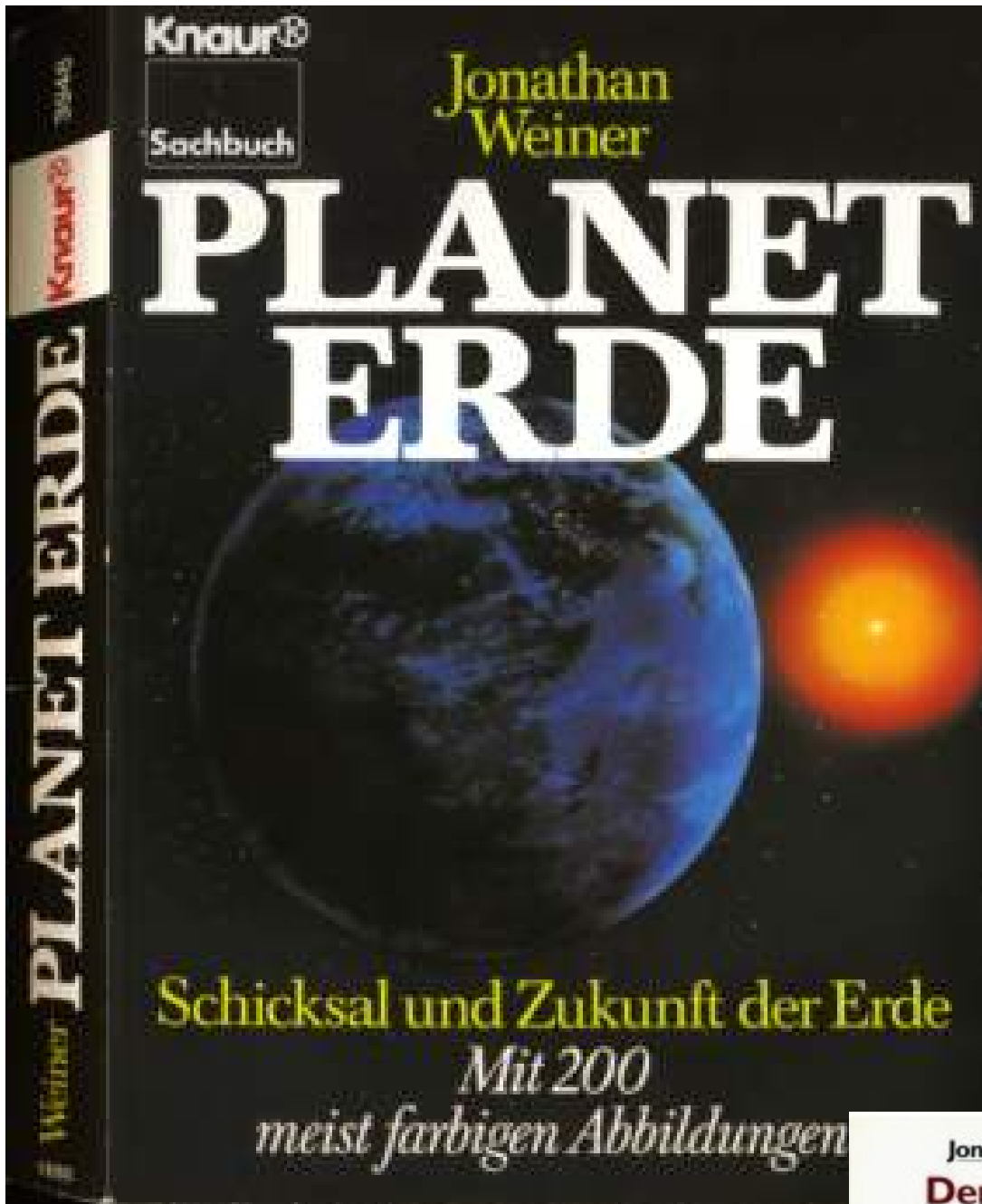
Einen Überblick (mit anschaulichen Graphiken) in: Earth System Science, Earth System Sciences Committee, NASA Advisory Council, Washington, D.C., NASA, Mai 1986.

Seite 266 Eine Gruppe von Experten des Treibhauseffekts

William C. Clark / Kerry H. Cook u.a., in: Clark, Review '82, S.30f.

328-329

#



"BRILLIANT!"—OLIVER SACKS

LONG FOR THIS WORLD

THE STRANGE SCIENCE
of IMMORTALITY

JONATHAN WEINER

PULITZER PRIZE—WINNING AUTHOR OF

The Beak of the Finch

Jonathan Weiner *Zeit, Liebe, Erinnerung*



Auf der Suche nach den
Ursprüngen des Verhaltens

