

RINGVORLESUNG AN DER TU BRAUNSCHWEIG

AGENDA 21 **Herausforderung für Forschung und Gesellschaft**

Klimakatastrophe und Energiewirtschaft

Prof. Dr. techn. Reinhard Leithner
Institut für Wärme- und Brennstofftechnik der
Technischen Universität Braunschweig

18. Dezember 2000

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Einleitung.....	3
Die Klimakatastrophe in den Medien.....	4
Klimageschichte und mögliche Ursachen von Massenaussterben.....	5
Treibhauseffekt und Klimamodelle	17
Wirtschafts- und Weltmodelle und Katastrophenszenarios	21
Prognosen des IPCC, Politik und CO ₂ -Handel	25
CO ₂ -Emissionen, Energiebedarf, Bevölkerungswachstum, Globalisierung	28
Zukünftige Energiewirtschaft	38
Methoden der CO ₂ -Entsorgung	60
Zusammenfassung	61
Literatur	62

Einleitung

Dieser Vortrag im Rahmen der Ringvorlesung der TU Braunschweig im WS 2000/2001 über die Agenda 21 - Herausforderung für Forschung und Gesellschaft - befaßt sich mit drei Themenkreisen, nämlich mit

- der Klimakatastrophe
- der Energiewirtschaft und damit auch der gesamten Wirtschaft und
- der Bevölkerungsentwicklung als Themenkreis, der hinter den Wirtschaftsthemen steckt.

Dem unvoreingenommenen Betrachter wird die Kombination Klimakatastrophe und Energiewirtschaft seltsam vorkommen. Die Verbindung wird durch die These des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) geschaffen, daß die anthropogenen CO₂-Emissionen, die größtenteils eine Folge der heutigen Methoden der Energieversorgung durch Verbrennung fossiler Primärenergieträger wie Gas, Öl und Kohle sind, zu Klimaänderungen führen können. Zwar betont auch das IPCC nach wie vor, daß die Klimaänderungen in den letzten Jahren keineswegs über eine normale Variabilität hinausgehen, aber es werden Tendenzen extrapoliert, die eine Erwärmung des Klimas auf der Erde zeigen, und diese Erwärmung wird mit katastrophalen Auswirkungen wie z. B. Erhöhung des Meeresspiegels, stärkeren Stürmen und Unwettern, Überschwemmungen etc. verknüpft und jedes aktuelle Unwetter als Beweis für diese Prognosen gewertet.

Wir werden sehen, daß es in der Erdgeschichte häufig Klimaänderungen gab, auch mit einem Tempo, das mit dem prognostizierten Tempo vergleichbar ist, und daß dafür verschiedene andere Ursachen außer den Treibhausgasen eine Rolle spielen können und auch in der Vergangenheit gespielt haben, ja daß eine erhöhte CO₂-Konzentration in der Atmosphäre vielleicht sogar die Folge und nicht die Ursache einer Erwärmung ist bzw. war.

Solange die Klimaprognosen nur als solche gehandelt würden, wäre diese Wissenschaft relativ harmlos. Über den Einfluß auf die Politik versucht das IPCC jedoch, massiv die Weltwirtschaft zu beeinflussen, und das Instrument dazu ist der CO₂-Emissionshandel, der bereits begonnen hat. Damit ist eine Situation entstanden, in der nach eigenen Aussagen unbewiesene Tendenzen bereits einen starken Einfluß auf das Leben der Menschheit ausüben.

Unabhängig von einer befürchteten Klimakatastrophe ist es natürlich immer sinnvoll, mit Ressourcen, dazu gehören auch fossile Energieträger, sparsam umzugehen, um diese nicht allzu schnell zu erschöpfen, d.h. auch künftigen Generationen noch ihren Gebrauch zu ermöglichen, die Umwelt durch Vermeidung anderer Emissionen etc. zu schonen und die Umstellung auf andere Ressourcen und andere Methoden in einem allmählichem Vorgang gestalten zu können.

Die Klimakatastrophe in den Medien

Liest man das folgende Interview in Vivian Nr. 46/2000 mit Hans-Joachim Schellnhuber, dem Direktor des Potsdamer Instituts für Klimafolgenforschung und Vorsitzenden des Beirats „Globale Umweltveränderungen“ der Bundesregierung, so erkennt man, wie Herr Schellnhuber wissenschaftlich korrekt bleiben und gleichzeitig mit den Katastrophenmeldungen Politik machen möchte.

Vivian: Überschwemmungen in Großbritannien und kürzlich in Norditalien, weltweit häufen sich Katastrophen. Sind das Folgen des Klimawandels?

Schellnhuber: Solche Katastrophen sind kein Beweis, wir brauchen noch mindestens zehn Jahre Klimafolgenforschung, um die Frage eindeutig beantworten zu können. Die Ereignisse passen aber gut ins Gesamtbild. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Atmosphäre erwärmt. Die Folgen sind extreme Niederschläge, stärkere Gewitter, häufigere Blitze.

Vivian: Drohen uns in Zukunft also noch mehr solcher Naturkatastrophen?

Schellnhuber: Ja, es wird sicher in Zukunft mehr Überschwemmungen geben und stärkere Stürme. Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß heutzutage immer mehr Menschen in gefährdeten Regionen siedeln, die früher aus gutem Grund gemieden wurden.

Vivian: Was sind die Hauptgründe für die Wetter-Kapriolen?

Schellnhuber: Zum Teil natürliche Klimaschwankungen, wie sie in der Erdgeschichte immer vorkamen. Deutlich mehr als 50 Prozent gehen aber vermutlich auf das Konto der Menschen. Durch unsere Abgase – besonders die Verfeuerung fossiler Brennstoffe durch Autos, Industrie und Heizungen – haben wir etwa ein halbes Grad Erderwärmung im vorigen Jahrhundert auf dem Gewissen. Auch das Abholzen der tropischen Regenwälder trägt entscheidend zum Treibhauseffekt bei....

Viel skrupelloser geht natürlich Vivian mit den Katastrophenmeldungen um:

Z. B. kann doch nicht unter „Klimasünden“ geschrieben werden, daß das Waldsterben durch entsprechende emissionsmindernde Maßnahmen in Kraftwerken und durch die Katalysatoren in den Autos heute keine große Rolle mehr spielt. Die bereits weitgehend eingestellte FCKW-Produktion hat mit dem Klima wenig zu tun, da die Hauptwirkung die Zerstörung der Ozonschicht und damit der Zutritt von UV-Strahlung bis auf die Erdoberfläche ist, und das auch nur zu bestimmten Jahreszeiten in der Umgebung der Pole. Die großen CO₂-Sünder im Straßenverkehr aufzuzählen trägt mehr zur Desinformation bei, da sich das CO₂ aus den Autos nicht von den anderen CO₂-Emissionen unterscheidet. Auch ist el nino keine Folge der Erderwärmung, sondern ein bekanntes Klimaphänomen; und die Gletscher in den Alpen waren auch im Mittelalter und davor schon viel kleiner, sonst hätte sich der „Ötzi“ nicht in die Regionen gewagt, wo er gefunden wurde. Und daß Malariaerkrankungen zunehmen, hat damit zu tun, daß kein DDT mehr verwendet werden darf (aus guten anderen Gründen), sich die Anopheles Mücken wieder ausbreiten, die Erreger der Malaria gegen die Medikamente resistent geworden sind, was auch eine Folge des Tourismus ist, und viele Touristen schlecht bzw. völlig unvorbereitet in Gegenden reisen, in die sie sich früher nicht gewagt hätten. Auch die neueste Zeitungsmeldung, daß am Nordpol Wasserflächen gesichtet wurden, sollte keinen Kenner überraschen, denn dieses Phänomen ist schon immer aufgetreten und wurde sogar im Reiseprospekt der Reise, die Anlaß für diese Katastrophenmeldung war, mit der witzigen Bemerkung angekündigt, daß man dort vielleicht auch ein Bad nehmen könnte, wenn einem das Wasser nicht zu kalt wäre.

Auch in Büchern wie „Wir Klimamacher“ von Graßl, H. und Klingholz, R. oder „Klimazeugnisse der Erdgeschichte von Huch, M. et al. werden Schlagwörter gebraucht wie

- Der Mensch als Störfaktor im System Erde
- Wie die Erde ins Schwitzen kommt
- Am Anfang der Heißzeit
- Vom Ende der Eisbären
- Die Ingenieurslösung – Umweltschutz mit der Brechstange
- Sonne in den Tank
- Zu viele Menschen (Bildunterschrift)

Ich halte diese Art von Berichterstattung für sensationslüstern, und ein Wissenschaftler sollte eigentlich verhindern, daß seine, wie er selbst zugibt, sehr vagen Kenntnisse zu solchen Sensationsberichten aufgebauscht werden. Andernfalls setzt er sich dem Verdacht aus, daß er die Medien und die Politik dazu benutzt, um Macht und Einfluß zu gewinnen und Forschungsmittel locker zu machen.

Diese Berichterstattung könnte die heutige Jugend in ihrer Skepsis und Ablehnung der Technik und Naturwissenschaften bestärken, was fatale Folgen für unsere Gesellschaft hätte; allerdings hat sicher auch die Arbeitslosigkeit von jungen Maschinenbau- und Elektroingenieuren in den vergangenen Jahren dazu beigetragen, daß diese Studienrichtungen derzeit unter einem Mangel an Studenten leiden.

Klimageschichte und mögliche Ursachen von Massenaussterben

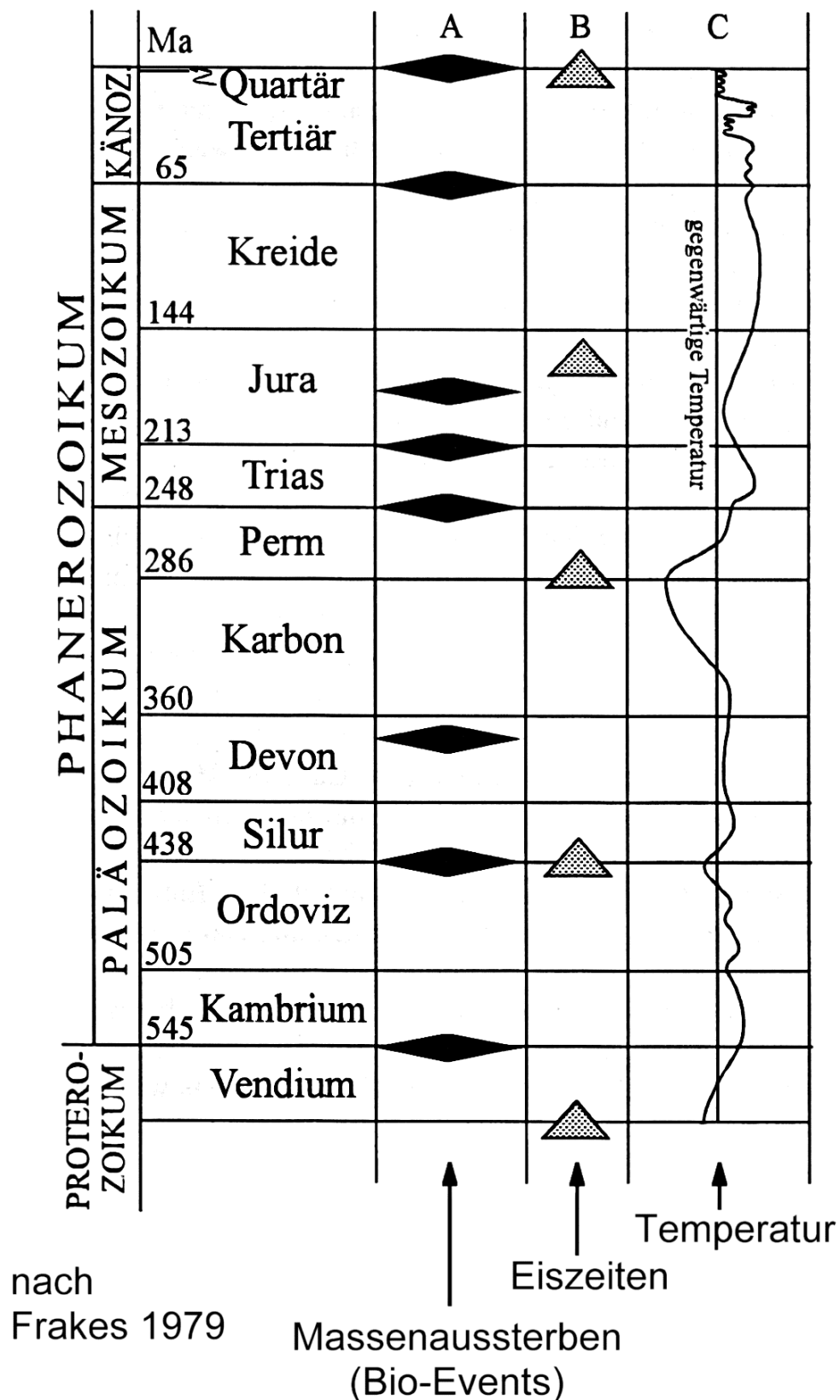
Klimaänderungen gab es wiederholt in der Erdgeschichte, wie dies auch Bild 1 zeigt, wobei Massenaussterben von Arten, sogenannte Bio-Events, häufig mit Kaltzeiten korrelieren, jedoch nicht nur durch diese verursacht worden sind.

Als Ursache für Massenaussterben kommen in Frage

- Kosmische Strahlung
- Klimaänderungen als Folge von plattentektonischen Vorgängen (Kontinentalverschiebung) begleitet von Meeresspiegeländerungen
- Vulkanausbrüche (mit kurzzeitigen Klimaänderungen)
- Einschläge extraterrestrischer Körper (Meteoriten, Kometen, Planetoiden, mit kurzzeitigen Klimaänderungen)
- Änderungen der chemischen und physikalischen Parameter des Meeres und der Atmosphäre

Trotz umfangreicher Forschung sind viele Fragen offen; offensichtlich ist aber jedes Massenaussterben individuell abgelaufen (Huch, M. et. al 2001 und Steven M. Stanley 1988).

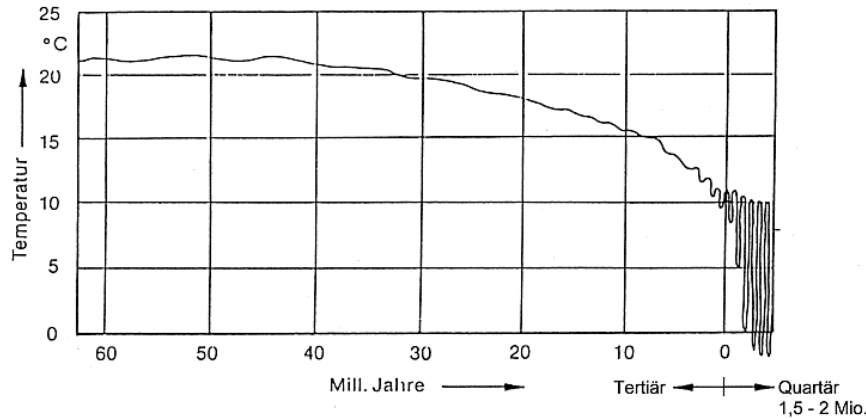
Aus Bild 1 kann man auch noch den Temperaturverlauf bzw. dessen Abweichung von der gegenwärtigen mittleren Erdtemperatur erkennen, wobei die Bestimmung dieser Temperatur sicherlich mit Fehlern behaftet ist, Fehlern sowohl der Größe der Abweichung nach als auch der genauen Zeit. Erkennbar ist aber, daß es in der Erdgeschichte nur selten kälter als heute war und i. allg. um einiges wärmer.



Quelle: Huch, M. et. al: Klimazeugnisse der Erdgeschichte. S.40

Bild 1: Events in der Erdgeschichte. Daten zur Klima- und Event-Geschichte im Phanerozoikum. A (Rauten): Die 7 großen Faunenschnitte (Bio-Events) im Phanerozoikum; B (Dreiecke): Eiszeiten; C: Temperaturverlauf im Phanerozoikum (nach Frakes, 1979)

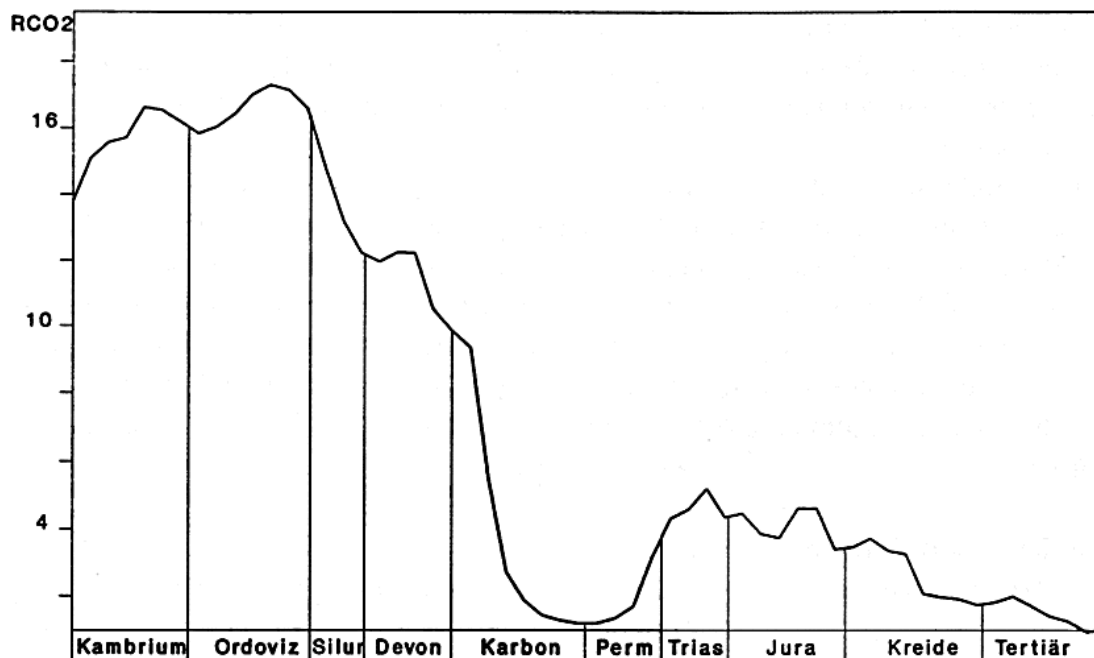
Genauere Auskunft über die Temperaturen in Mitteleuropa in den letzten 60 Mio. Jahre gibt das Bild 2. Hier fallen insbesondere die schnellen und starken Schwankungen im Quartär, also in den letzten 1,5-2 Mio. Jahren, auf, in denen bereits Menschen bzw. unmittelbare Vorläufer lebten und die als Eiszeiten und Zwischenzeiten bekannt sind.



Quelle: R. Roth: Wie genau kennen wir unser Klima, VGB – Kraftwerkstechnik 71(1991), Heft 9.

Bild 2: Temperatur in Mitteleuropa im Tertiär und Quartär. Letzteres beginnend bei 0, und ab da nach rechts ist die Zeitachse im Bild 5fach gedehnt (schematisch nach Frenzel, 1967)

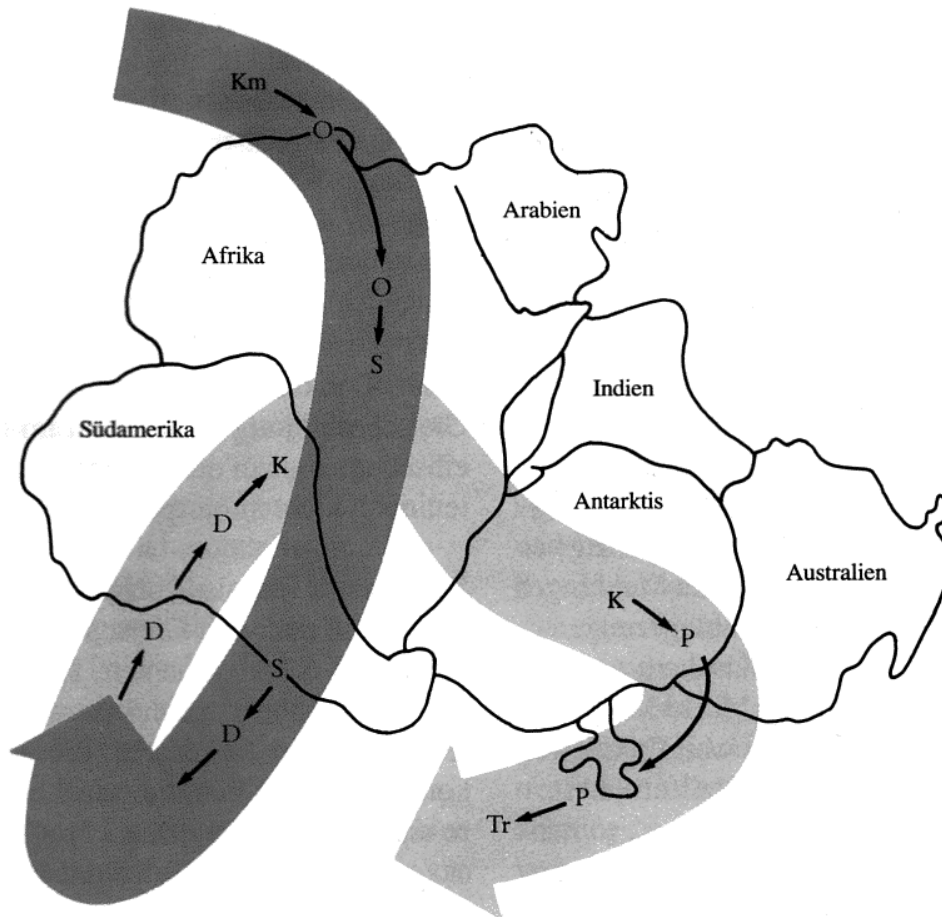
Bild 3 gibt Auskunft über den CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre. Verglichen mit dem heutigen CO_2 -Gehalt von ca. 300 ppm ist wiederum zu erkennen, daß mit Ausnahme einer Zeit zwischen Karbon und Perm, zu der der CO_2 -Gehalt etwa so hoch war wie heute, dieser ansonsten wesentlich höher lag.



Quelle: Huch, M. et. al: Klimazeugnisse der Erdgeschichte; S.162.

Bild 3: Durch Rechenmodelle ermittelte RCO_2 -Entwicklung im Phanerozoikum nach Berner (1994). RCO_2 ist das Verhältnis des CO_2 -Anteils in der Atmosphäre vergangener Zeiten zum heutigen CO_2 -Gehalt (300 ppm)

Plattentektonische Vorgänge werden insbesondere für die Kaltzeiten im Oberordovizium und im Oberdevon verantwortlich gemacht. Wie Bild 4 zeigt, glitt damals das Gondwanaland über den Südpol, wodurch sich auf dem Gondwanaland riesige Eiskappen bildeten, was auch zu sehr tiefen Meeresspiegeln führte.

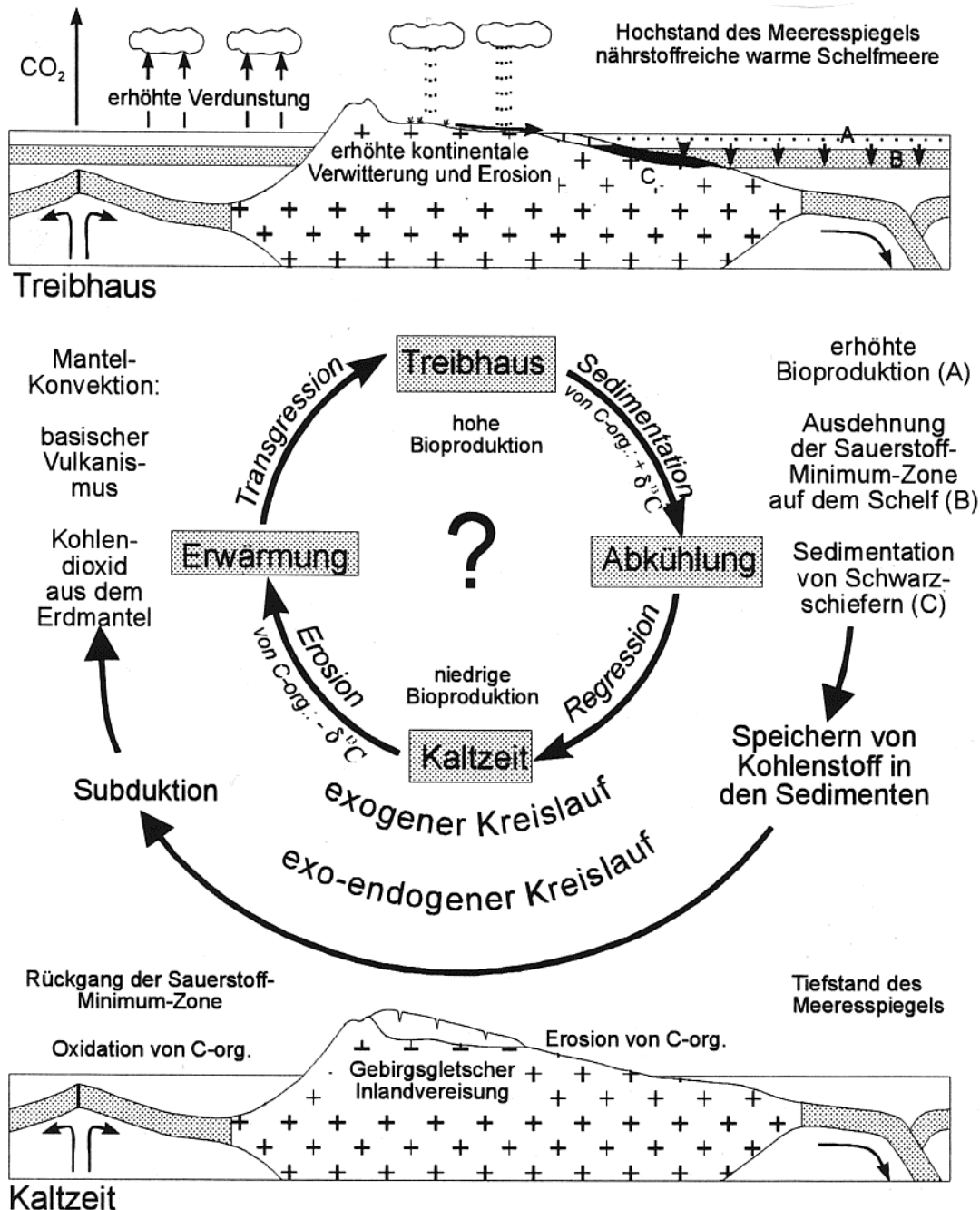


Km = Kambrium O = Ordovizium S = Silur D = Devon K = Karbon P = Perm Tr = Trias

Quelle: Steven M. Stanley: Krisen der Evolution; S. 98.

Bild 4: Relativbewegung des Südpols bezüglich Gondwanaland während des Paläozoikums. Natürlich bewegte sich in Wirklichkeit Gondwanaland; es glitt zweimal, im Oberordovizium und im Oberdevon, über den Pol.

Es gibt auch Forscher, die einen zyklischen Ablauf von Warm- (Treibhaus) und Kaltzeiten annehmen, wie dies in Bild 5 dargestellt ist. Dabei spielt auch das Speichern von Kohlenstoff in Sedimentgesteinen und dessen Freisetzung durch Vulkanismus eine Rolle. Diese Aussagen werden auch durch neuere Forschungsergebnisse von Prof. Jan Veizer (Lehrstuhl für Sedimenten- und Isotopengeologie am Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum) gestützt, der auf Grund der O_{16} zu O_{18} Isotopenverhältnisse in den Schalen von Fossilien die Wassertemperaturen 540 Mio. Jahre zurück ermitteln und feststellen konnte, daß sich Kalt- und Warmzeiten ablösten und der CO_2 -Gehalt auch bei Eiszeiten 10 bis 20 mal so hoch war wie heute (VDI-Nachrichten 19.01.2001, Nr. 2, Nature Vol. 408, 7.12.2000)



Quelle: Huch, M. et. al: Klimazeugnisse der Erdgeschichte; S.41.

Bild 5: Schematische Darstellung von klimasteuernden Kreisläufen.

Es ist aber offensichtlich, daß in Warmzeiten (Treibhaus) eine hohe Bioproduktion stattgefunden hat, d.h., das Leben auf der Erde ist erblüht, während andererseits in Kaltzeiten Massenaussterben von Arten stattgefunden haben.

Dies bedeutet, daß die Warmzeiten keine Bedrohung für das Leben darstellen, sondern im Gegenteil, das Leben fördern, während die Kaltzeiten das Leben auf der Erde bedrohen. Insofern ist die Angst vor einer „Klimakatastrophe“ infolge einer Erderwärmung völlig unberechtigt.

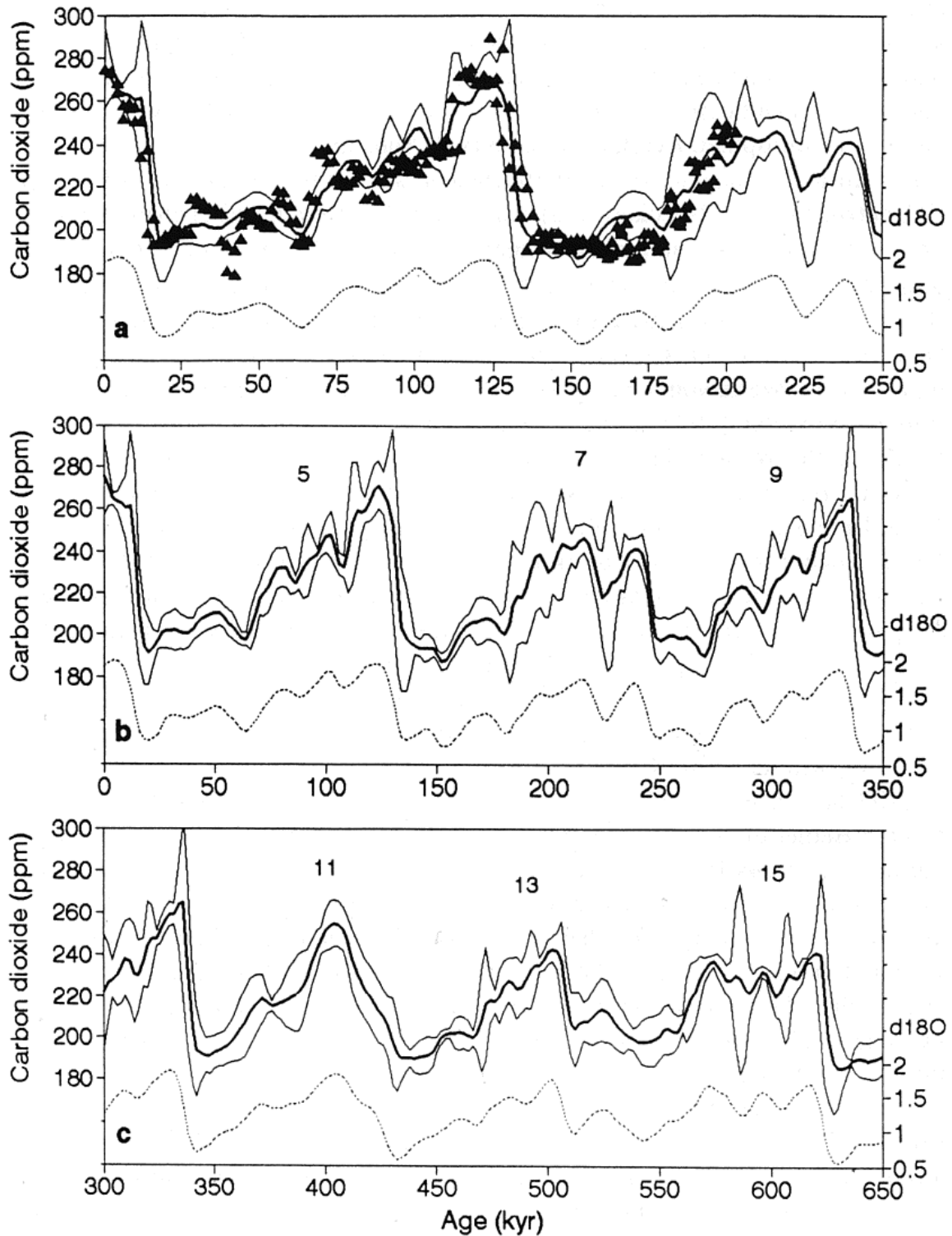
Neben den bisher genannten Einflüssen auf das Klima wirken außerdem:

- **Erdbewegung um die Sonne** (von Milankovitch schon 1920 veröffentlicht)
 - Exzentrizität der Erdbahn (Periode ca. 100.000 Jahre)
 - Neigung der Erdachse gegenüber der Bahnnormalen (Schiefe der Ekliptik $22,1^\circ$ bis $24,5^\circ$) (Periode ca. 40.000 Jahre – stärkere Neigung erhöht Gegensatz zwischen Sommer und Winter)
 - Erde ist keine ideale Kugel → Präzessionsbewegung (Periode ca. 26.000 Jahre), zusätzlich Verschiebung der Bahnellipse etc.- → Schwebung mit einer Periode zwischen 19.000 und 23.000 Jahren

Diese drei Perioden 100.000, 40.000, 23.000 sind in Tiefseesedimenten nachweisbar (Hays et. al 1976) und werden insbesondere als Ursache für die quartären Eiszeitalter angesehen (Roedel, W. 2000).

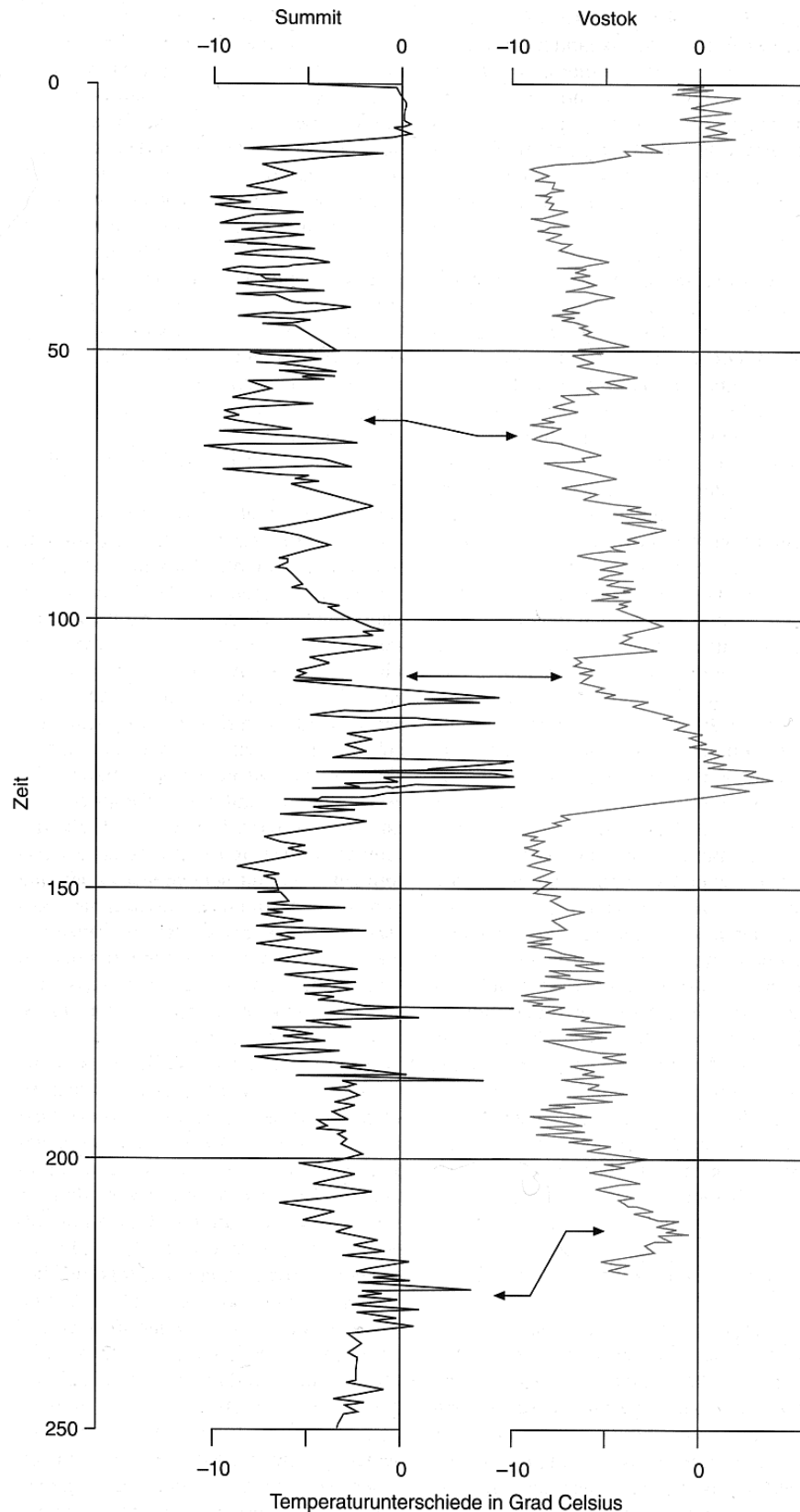
- **Sonnenflecken** (9-15 Jahre Rhythmus, 1640 und 1720 Jahre ohne Sonnenflecken mit extrem kaltem Wetter) (Maxeiner, D., Miersch, M. 1998)
- **Magnetfeld der Sonne** hat sich seit 1900 mehr als verdoppelt – könnte mitverantwortlich für die Erwärmung sein (Prof. Sami Solanki vom Max-Planck-Institut für Aeronomie in Katlenburg/Lindau bei Göttingen, Braunschweiger Zeitung 25.11.2000)
- **Verlagerung von Meeresströmungen** (Warum es im Eishaus plötzlich warm wird, Störungen der Atlantikströmung führen zu Klima-Kapriolen, VDI-Nachrichten 19.01.2001, Nr. 3, S.19) ausgelöst durch Sonnenzyklus mit 1500 Jahren Periodendauer

Zyklen von ca. 100.000 Jahren kann man auch aus dem Bild 6 erkennen, in dem der CO_2 -Gehalt in den letzten 650.000 Jahren aufgetragen ist aus Berechnungen des O_{16} zu O_{18} Sauerstoffisotopenverhältnisses in planktischen Foraminiferen. Ähnliche Werte ergeben sich auch aus den Eisbohrkernen in der Antarktis (Vostok) und auf Grönland (Summit) für die letzten 250.000 Jahre (Bild 7).



Quelle: Huch, M. et. al: Klimazeugnisse der Erdgeschichte; S.86.

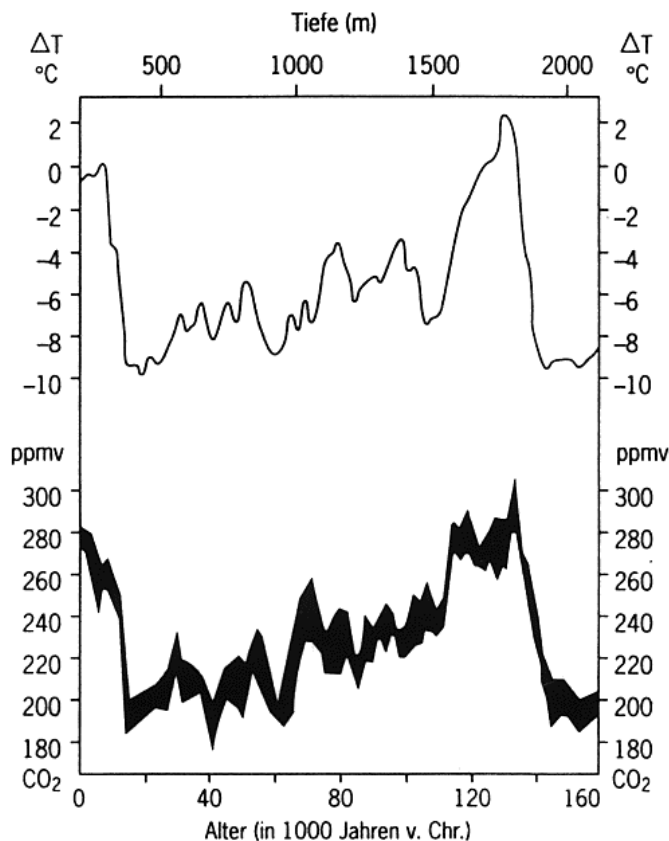
Bild 6: Abschätzung des atmosphärischen CO₂-Gehaltes anhand von δ¹⁸O-Werten planktischer Foraminiferen und Vergleich mit dem Meeresspiegelverlauf für die letzten 650.000 Jahre. Die dicke Linie zeigt die CO₂-Abschätzung, die dünnen Linien den 95% - Vertrauensbereich. Der Meeresspiegelverlauf ist unten (gestrichelte Linie) dargestellt (aus Berger et al. 1996, modifiziert)



Quelle: Jacoby H.D., Prinn R.G., Spektrum der Wissenschaft. Dossier: Klima und Energie; S.41.

Bild 7: Aus Eisbohrkernen in der Antarktis (Vostok) und auf Grönland (Summit) läßt sich das Klima 250.000 Jahre zurückverfolgen. Dargestellt sind für beide Punkte die Temperaturabweichungen in Grad Celsius zu heutigen Werten.

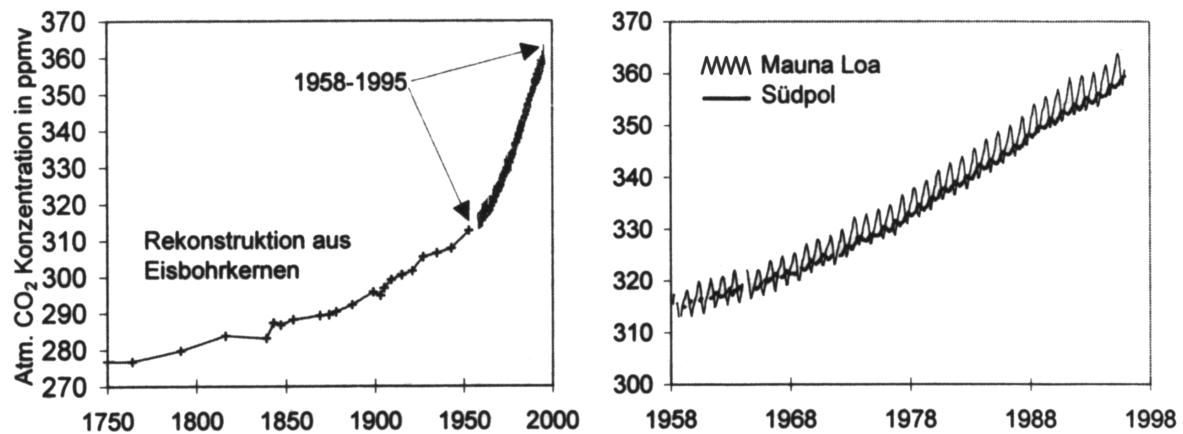
In Bild 8 ist für die letzten 160.000 Jahre die Lufttemperatur aufgetragen abgeleitet aus den Sauerstoffisotopenverhältnissen des Wassers des Eises und die Kohlendioxidkonzentration in der Luft gemessen in den Luftblasen in den Eisbohrkernen in Vostock (Antarktis). Auch hier zeigt sich wieder ein Zyklus von 100.000 Jahren. Es ist jedoch nicht eindeutig bestimmbar, ob der Temperaturanstieg vor dem CO₂-Anstieg erfolgte oder umgekehrt. In neueren Forschungen scheint sich jedoch ersteres zu bestätigen. So könnte auch eine aus anderen Gründen ansteigende mittlere Atmosphärentemperatur eine ansteigende Ozeantemperatur zur Folge haben, und diese ansteigende Ozeantemperatur zu geringeren CO₂-Gehalten in den Ozeanen führen unter Abgabe von CO₂ an die Atmosphäre.



Quelle: Quelle: Huch, M. et. al: Klimazeugnisse der Erdgeschichte; S.9.

Bild 8: Nach den Ergebnissen der Bohrung Vostok in der Antarktis wiesen die Lufttemperatur, abgeleitet aus der Analyse der Isotope im Wasser des Eises, und die Kohlendioxidkonzentration in der Luft, gemessen in Luftblasen, im Verlauf der letzten 160.000 Jahre parallel verlaufende Schwankungen auf (aus Joussaume 1996)

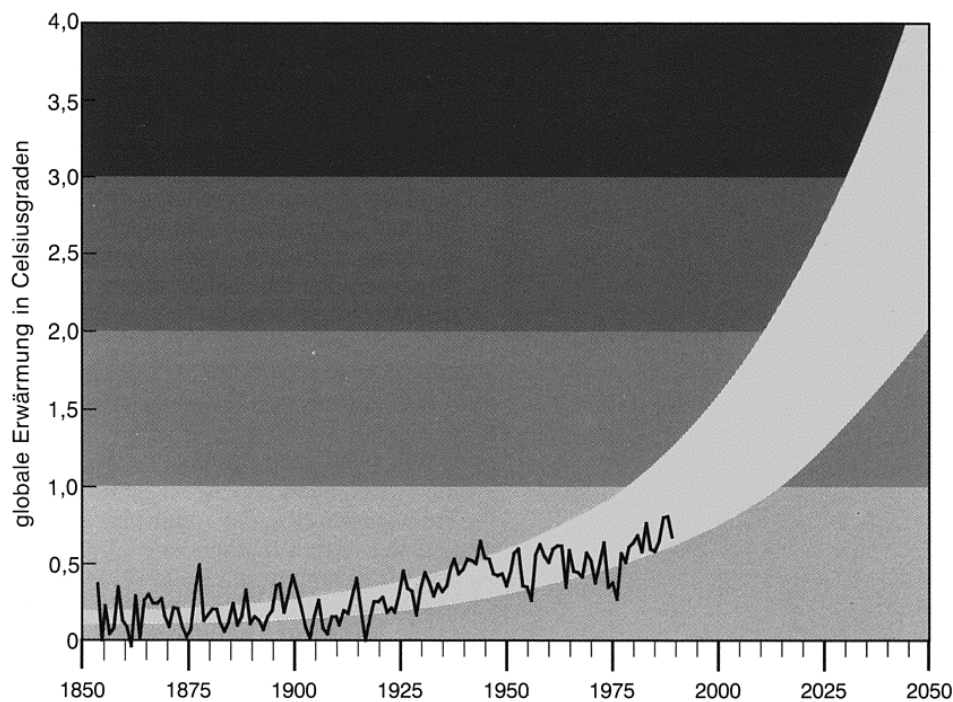
Sieht man sich die letzten 250 Jahre (Bild 9) an, wobei seit 1958 Messungen auf dem Mauna Loa auf Hawaii und am Südpol aufgetragen sind, so kann man in dieser Zeit einen sich beschleunigenden Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre erkennen. Auffällig sind dabei die jährlichen Schwankungen der Messungen auf dem Mauna Loa, die durch die Bioaktivität der Nordhemisphäre verursacht wird, während bei den Messungen auf dem Südpol diese Schwankungen nur sehr abgeschwächt erkennbar sind.



Quelle: Göttlicher G.: Energetik der Kohlendioxidrückhaltung in Kraftwerken, VDI – Forschungsbericht Reihe 6, Nr. 421; S. 153

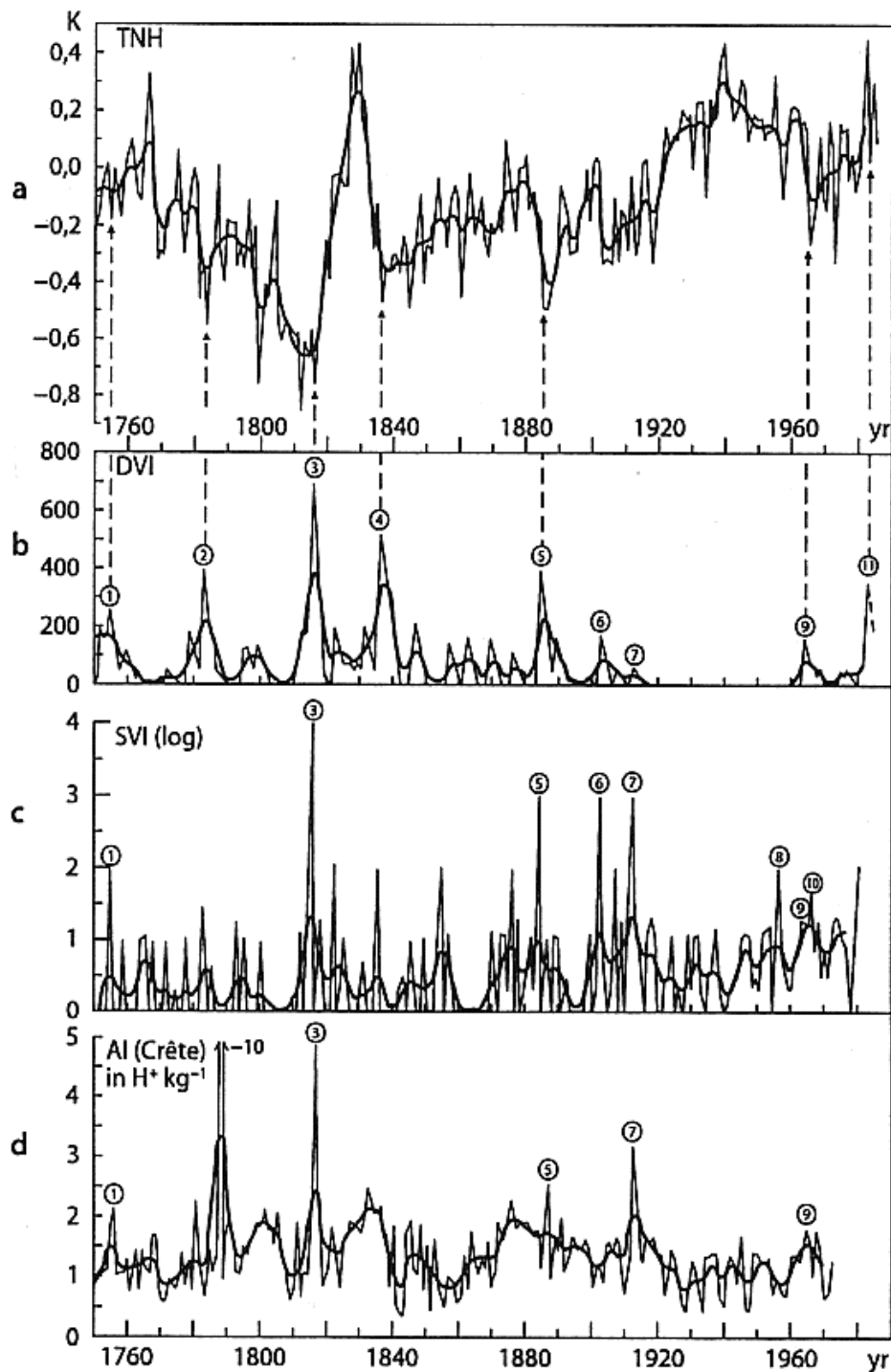
Bild 9: Entwicklung der CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre: 1750 bis 1995 und 1958 bis 1995.

Eigenartig ist allerdings schon, daß von den Klimaforschern, die eine Klimakatastrophe befürchten, der Temperaturanstieg immer erst ab 1850 angeführt wird (Bild 10) und dann noch obendrein extrem pessimistisch extrapoliert und mit den CO₂-Emissionen der Industriegesellschaft korreliert wird. Dies steht im Gegensatz zu dem stetigen Anstieg des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre seit 1750 und den mittleren Temperaturen auf der Nordhalbkugel, die von 1750 bis ca. 1820 abfielen und ab 1840 allmählich wieder anstiegen, allerdings mit Unterbrechungen und mit einer sehr kurzen Wärmeperiode 1830 (Bild 11). Aus Bild 11 sind auch kurzfristige Kälteeinbrüche aufgrund vulkanischer Ereignisse erkennbar.



Quelle: Paul J. Crutzen (1996): Atmosphäre, Klima, Umwelt; Spektrum der Wissenschaft; S.184

Bild 10: Die aus den überlieferten Temperaturdaten erschlossenen Klimaentwicklung liegt einigermaßen im Trend – derzeit allerdings im unteren Bereich – der Prognosen von etlichen Computernmodellen (hellgrau), die eine starke zunehmende Erwärmung voraussagen.

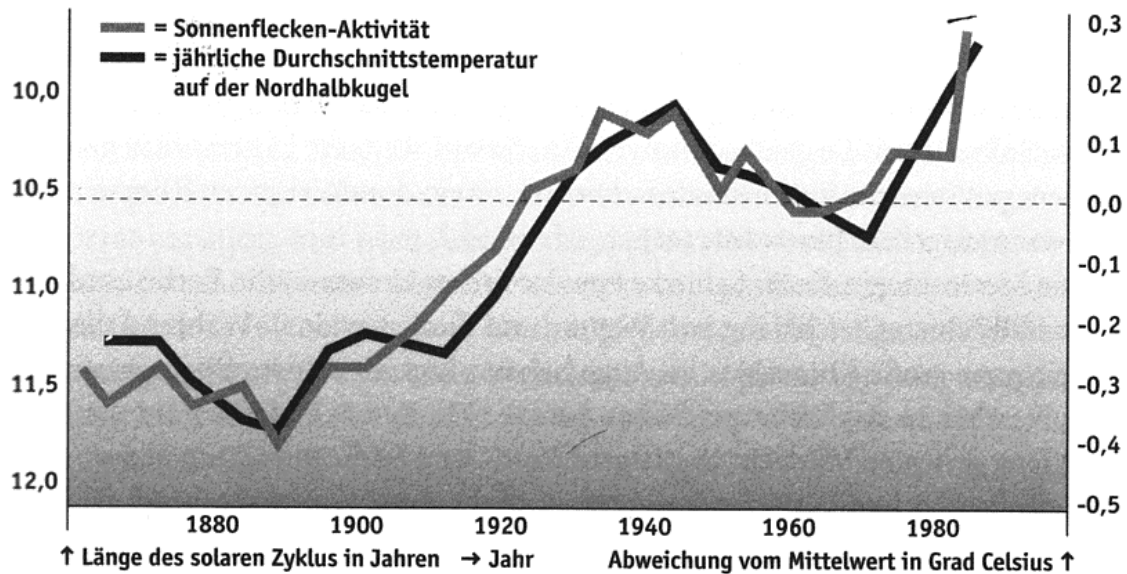


Quelle: G. Warnecke: Meteorologie und Umwelt; S.25

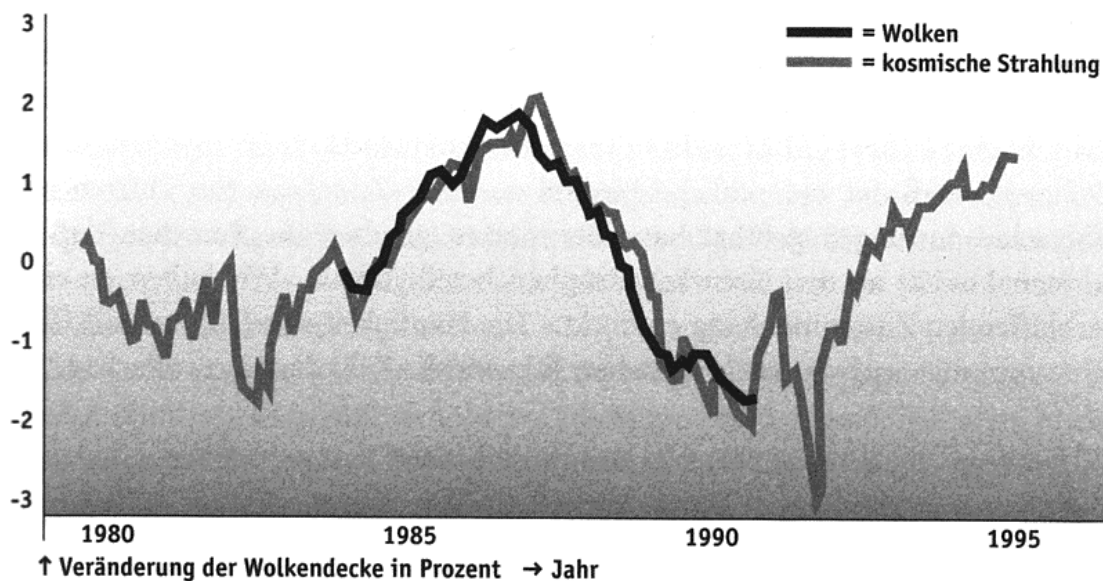
Bild 11: a Abweichungen der Nordhemisphären-Jahresmitteltemperatur [K] vom Mittel der Periode 1951 – 1970, dicke Linie: 10-jährig gefiltert; b Stratospheric Dust Veil Index (DVI); c Smithsonian Volcanic Index (SVI), logarithmische Skala; d Acidity Index (AI = Säuregehalt von Eiskernbohrungen) (nach Labitzke 1988)

Bild 12 zeigt eine verblüffende Übereinstimmung zwischen der Länge der Sonnenfleckenzyklen und jährlichen Mitteltemperaturen, die mindestens genauso signifikant sind wie die sogenannten Fingerprints der Klimaforscher, die an die Klimakatastrophe glauben.

Sonnenflecken-Aktivität und jährliche Durchschnittstemperatur



Wolkendecke und kosmische Strahlung



Quelle: Maxeiner, D., Miersch, M.: Lexikon der Öko-Irrtümer; S.147.

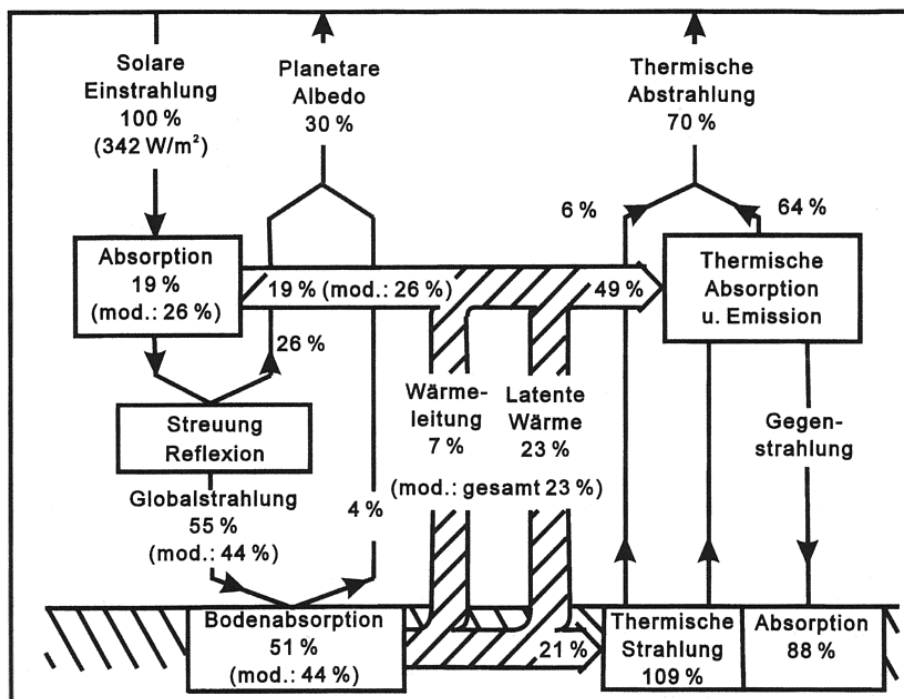
Bild 12: Die verblüffende Übereinstimmung zwischen der Länge der Sonnenfleckenzyklen und jährlichen Mitteltemperaturen spricht für einen dominanten Einfluß der Sonne. Dafür könnte ein Einfluß der kosmischen Strahlung auf die Wolkenbildung verantwortlich sein (untere Grafik). Die physikalischen Zusammenhänge sollen jetzt in einer Wolkenkammer im europäischen Forschungszentrum „Cern“ untersucht werden. (Aus: N.Calder 1997/Svensmark/Friis-Christiansen 1997)

Abschließend kann man unseren Ausflug in die Erdgeschichte folgendermaßen zusammenfassen:

Das Klima hat sich schon immer geändert, und es wird sich auch in Zukunft ändern. Die Einflüsse sind zahlreich und wenig überschaubar und auch heute noch kaum erforscht. In vielen Fällen wird auch in Zukunft der Einfluß des Menschen völlig ausgeschlossen sein, wie z. B. bei der Plattentektonik, bei Vulkanausbrüchen, bei der Erdbewegung und der Sonnenaktivität. Der CO_2 -Gehalt der Atmosphäre scheint eher die Folge als die Ursache von Klimaänderungen zu sein.

Treibhauseffekt und Klimamodelle

Da von den Einflüssen auf das Klima in der heutigen Diskussion eigentlich nur der sogenannte Treibhauseffekt intensiver diskutiert wird, ist es notwendig, sich mit dieser Thematik näher zu befassen.

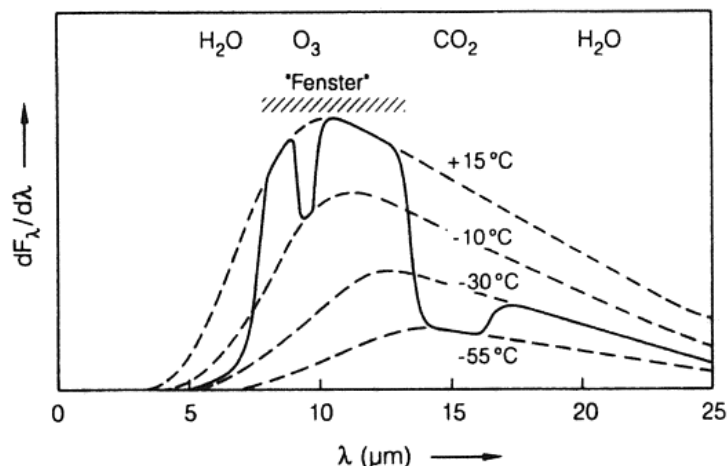


Quelle: W. Roedel: Physik unserer Umwelt – Die Atmosphäre; S.51.

Bild 13: Zusammenfassende Darstellung der Strahlungs- und Energieflüsse in dem System von Atmosphäre und Erdoberfläche: in Klammern durch erhöhte Absorption in Wolken modifizierte Werte.

Es ist klar, daß die solare Ein- und Abstrahlung der Erde im Gleichgewicht sein muß, sonst würde sich die Erde aufheizen oder abkühlen; und natürlich verändert sich die mittlere Temperatur auf der Erde, wenn sich die Sonnenstrahlung ändert. Nach den bisherigen Modellen und Messungen strahlt die Erde ca. 30 % der solaren Einstrahlung unmittelbar wieder in den Weltraum ab. Diese Abstrahlung wird auch Albedo genannt und kommt zu 26% aus der Atmosphäre und zu 4% von der Erdoberfläche. Die restliche Abstrahlung (70%) erfolgt als thermische Abstrahlung. Dieser Vorgang ist sehr komplex, vor allem, wenn man bedenkt, daß Tag und Nacht, unterschiedliche Jahreszeiten und verschiedene Bewölkungen und Bodentemperaturen sowie Bodenbeschaffenheiten zu mitteln sind. Diese komplexen Zusammenhänge sind im Bild 13 stark vereinfacht dargestellt.

Die Intensität der Abstrahlung des Systems Atmosphäre/Erdoberfläche in den Welt-
raum als Funktion der Wellenlänge ist in Bild 14 vereinfacht dargestellt (durchgezo-
gene Linie). Gestrichelte Linien geben die Schwarzkörperstrahlungsverteilung bei
den angegebenen Temperaturen an. Man erkennt in diesem Bild das sogenannte
Fenster, das dadurch entsteht, daß Wasserdampf und CO₂ als Gase Bandenstrah-
ler sind und im Bereich des Fensters keine Strahlungsbanden liegen. Dafür liegt in
diesem Fenster eine Ozon-Bande. Diese Verteilung legt aber die Vermutung nahe,
daß der Einfluß von CO₂ auf die Abstrahlung des Systems Atmosphä-
re/Erdoberfläche durch eine Zunahme des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre gar
nicht mehr so stark beeinflußt werden kann, da die Abstrahlung im Bereich der
CO₂- und H₂O-Banden ohnehin schon sehr niedrig ist.



Quelle: W. Roedel: Physik unserer Umwelt – Die Atmosphäre; S.52.

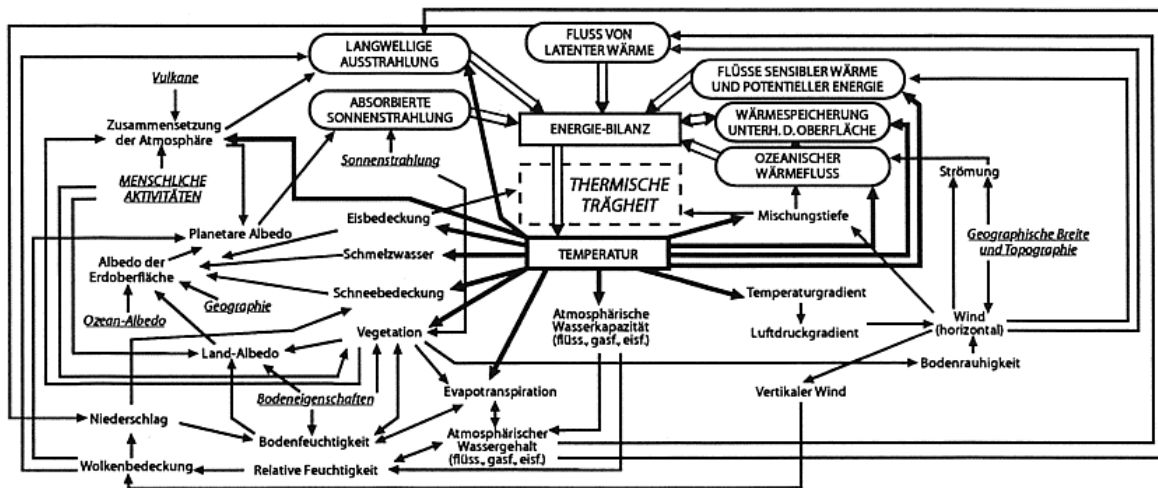
Bild 14: Intensität der Abstrahlung des Systems Atmosphäre/Erdoberfläche in den
Weltraum als Funktion der Wellenlänge.(Nach Hanel et al. 1972, sehr ver-
einfacht)

Zudem ist der Einfluß des Kohlendioxids auf den Treibhauseffekt nur dann sehr
groß, wenn man den Einfluß des Wasserdampfes herausrechnet und nur den zu-
sätzlichen Treibhauseffekt der anderen Gase berücksichtigt. In der nachfolgenden
Tabelle erkennt man, daß beim „normalen Treibhauseffekt“, der das Leben auf der
Erde überhaupt erst ermöglicht, CO₂ nur mit 22% beteiligt ist, daß aber durch die
Nullsetzung des Wasserdampfeinflusses der Einfluß des CO₂ auf 60% hochgetrie-
ben wird.

Substanzen	Anteil am Treibhauseffekt		zusätzlicher Treibhauseffekt
Wasserdampf	20,6 Grad	62,0 %	0 (!) %
Kohlendioxid (CO ₂)	7,2 Grad	22,0 %	57,9 %
Ozon	2,4 Grad	7,0 %	18,4 %
N ₂ O (Lachgas)	1,4 Grad	4,0 %	10,5 %
Methan	0,8 Grad	2,5 %	6,6 %
Andere Spurengase	0,6 Grad	2,5 %	6,6 %
Zusammen	33,0 Grad		

Quelle: Maxeiner, D., Miersch, M.: Lexikon der Öko-Irrtümer

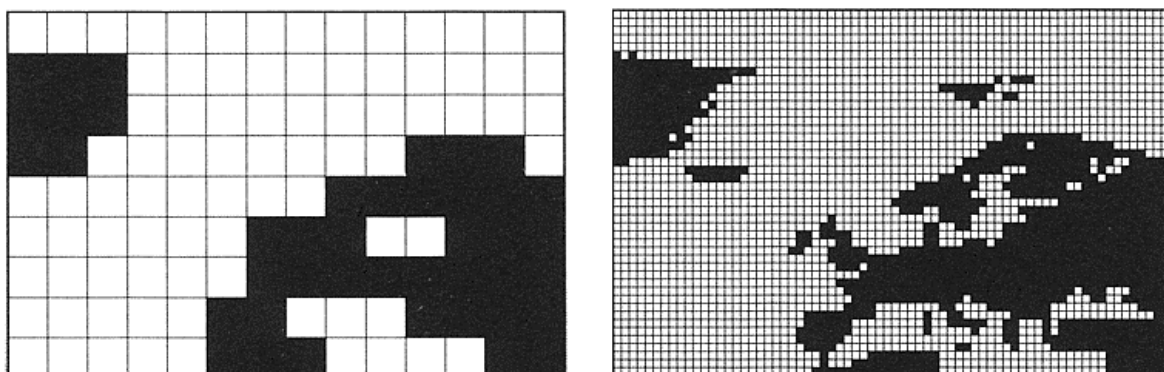
Tabelle 1: Treibhauseffekt



Quelle: Huch, M. et. al: Klimazeugnisse der Erdgeschichte; S.2

Bild 15: Beziehungsschema zwischen den Klimaelementen, den äußeren Antriebskräften (in Schrägschrift), den Energieflüssen (rund umrandet) und der Temperatur (deren Wirkungen als Pfeile besonders hervorgehoben) im Rückkopplungssystem Klima (aus Warnecke 1997)

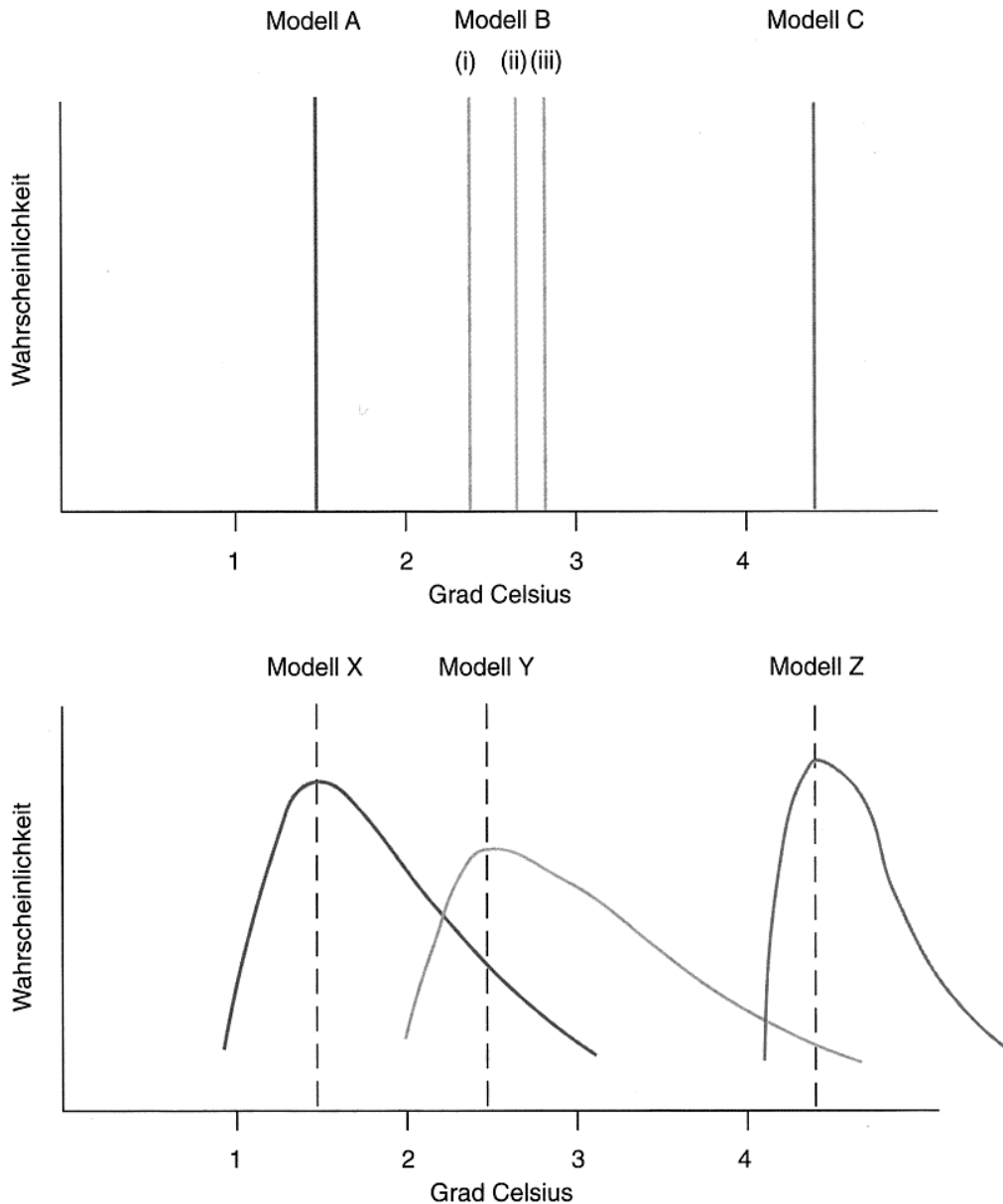
Svante August Arrhenius, der von 1859-1927 lebte, hat diesen Treibhauseffekt mit sehr einfachen Mitteln bereits vor ca. 100 Jahren berechnet. Heute verwendet man dazu die größten verfügbaren Computer und sehr komplizierte Modelle, die allerdings – verglichen mit der Wirklichkeit – noch immer ungeheure Vereinfachungen beinhalten und kommt zu kaum anderen Ergebnissen. Die Zusammenhänge in einem solchen Klimamodell sind vereinfacht in Bild 15 dargestellt. Die Volumenelemente, in die diese Klimaprogramme die Atmosphäre unterteilen, sind auch heute noch sehr grob, wie dies in Bild 16 dargestellt ist. Auf Grund der Größe dieser Volumenelemente, unterschiedlicher Modellvorstellungen, unterschiedlicher Annahmen und verschiedenartiger Vereinfachungen sind auch die Ergebnisse sehr unterschiedlich, was z. B. die Mitteltemperatur betrifft (Bild 17) oder die Niederschläge (Bild 18). Vereinfachungen und daraus resultierende Einschränkungen der Gültigkeit und Aussagekraft von Klimamodellen sind detailliert in Roth [1991] beschrieben.



Quelle: Maxeiner, D., Miersch, M.: Lexikon der Öko-Irrtümer; S.139.

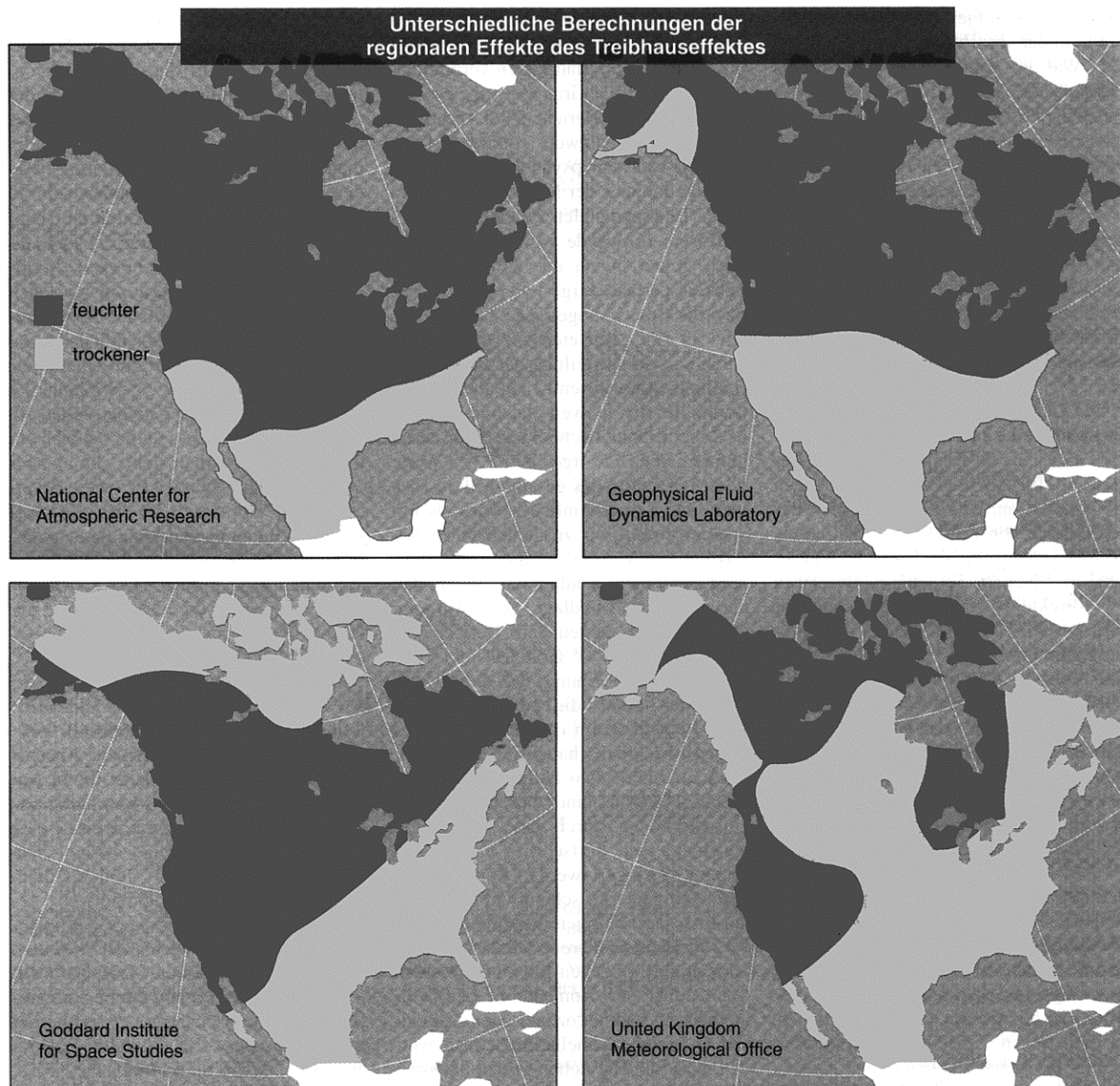
Bild 16: So grob sehen Computer Europa: Die besten Klimarechner der Welt können den Globus maximal in Quadraten mit 300 Kilometer Seitenlänge darstellen. Klimaeinflüsse wie Berge, Seen, Wolken etc. unterhalb dieser Größe können nicht berücksichtigt werden. (Aus: H. Hug 1997; Physikalische Blätter 1995)

Was auch auffällt, ist, daß bisher keine Fehlerabschätzungen und Sensibilitätsuntersuchungen dieser Klimamodelle bekannt geworden sind, und es nicht gelingt, über längere Zeiträume das Klima der Erdgeschichte nachzuvollziehen. Unter diesen Umständen ist es sehr gewagt, Prognosen für das Klima auf der Erde abzugeben, und es ist natürlich auch nicht verwunderlich, daß diese Prognosen sehr große Bandbreiten haben. Denn je größer die Bandbreite desto sicherer werden die tatsächlichen Ereignisse innerhalb der Bandbreite der Prognose liegen; allerdings wird die Aussage einer Prognose mit zunehmender Bandbreite zunehmend irrelevant.



Quelle: Jacoby H.D., Prinn R.G., Spektrum der Wissenschaft, Dossier: Klima und Energie; S.39.

Bild 17: Allgemeine Zirkulationsmodelle widersprechen einander in der Frage, inwiefern die globale Erwärmung sich auf die Erdregionen auswirken wird. Zwar sind die hier gezeigten vier Modelle hinsichtlich der Auswirkung einer CO₂-Verdoppelung auf die mittlere globale Oberflächentemperatur einig, sie widersprechen sich aber in der Voraussage regionaler Veränderungen der Bodenfeuchtigkeit.



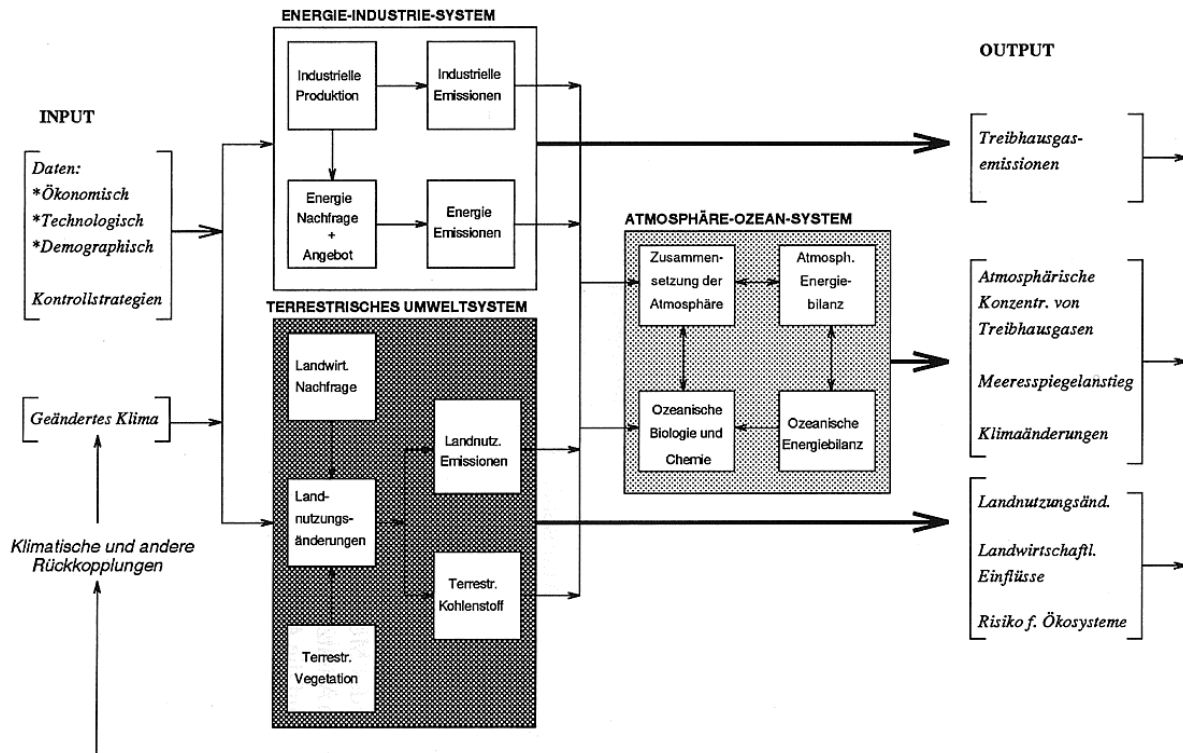
Quelle: Jacoby H.D., Prinn R.G., Spektrum der Wissenschaft, Dossier: Klima und Energie; S.37.

Bild 18: Bandbreite einzelner Klimamodelle bei der Verdopplung der atmosphärischen Kohlendioxid - Konzentration.

Wirtschafts- und Weltmodelle und Katastrophenszenarios

Nach dem, was wir bisher über die Klimamodelle und deren Ungenauigkeit wissen, wären die Klimaforscher eigentlich gut beraten, ihre Arbeit auf die Klimamodelle zu konzentrieren, um einigermaßen vertrauenswürdige Aussagen zu erlangen. Dies tun sie aber keineswegs, sondern versuchen, das Klimamodell als Teil eines Weltmodells zu nutzen, das die Umwelt und die Wirtschaft beschreiben soll, wie dies in Bild 19 dargestellt ist. Daß die sehr globalen Aussagen eines solchen Weltmodells sich kaum von einem sicherlich sehr viel primitiveren Weltmodell unterscheiden, das von Meadows 1973 veröffentlicht wurde in einem Buch mit dem Titel „Grenzen des Wachstums“, dessen Thematik vom Club of Rome aufgegriffen und gepflegt wird, ist unter den genannten Mängeln nicht verwunderlich. Die Bilder 20 und 21 zeigen die Ergebnisse der im Aufwand sicherlich sehr unterschiedlichen Weltmodelle, und zwar für den Fall, daß sich die Menschheit auch in Zukunft wie gewohnt verhält. Nun ist diese Annahme, daß die Menschheit sich wie gewohnt verhält, mit

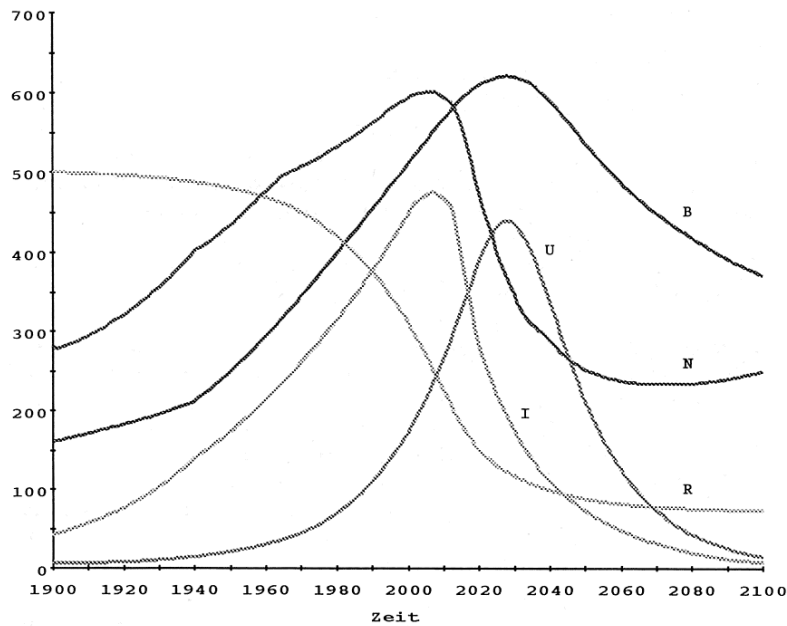
Sicherheit unzutreffend (zugegebener Maßen tragen dazu auch solche Weltmodelle bei). Aber auch andere Annahmen, wie z. B. die drastische Abnahme von Ressourcen (Vorräten) sind natürlich wenig sinnvoll, da beim Erschöpfen eines Vorrates der menschliche Erfindungsgeist immer noch andere Ressourcen verwertbar machte. Auch eine Umweltverschmutzung wird vor allem dann und dort bekämpft, wo sie gerade zu unerträglichen Zuständen geführt hat.



Quelle: Huch, M. et. al.: Klimazeugnisse der Erdgeschichte; S.184.

Bild 19: Schematische Darstellung der wesentlichen Submodelle und ihre Verknüpfungen bei IMAGE 2.0.

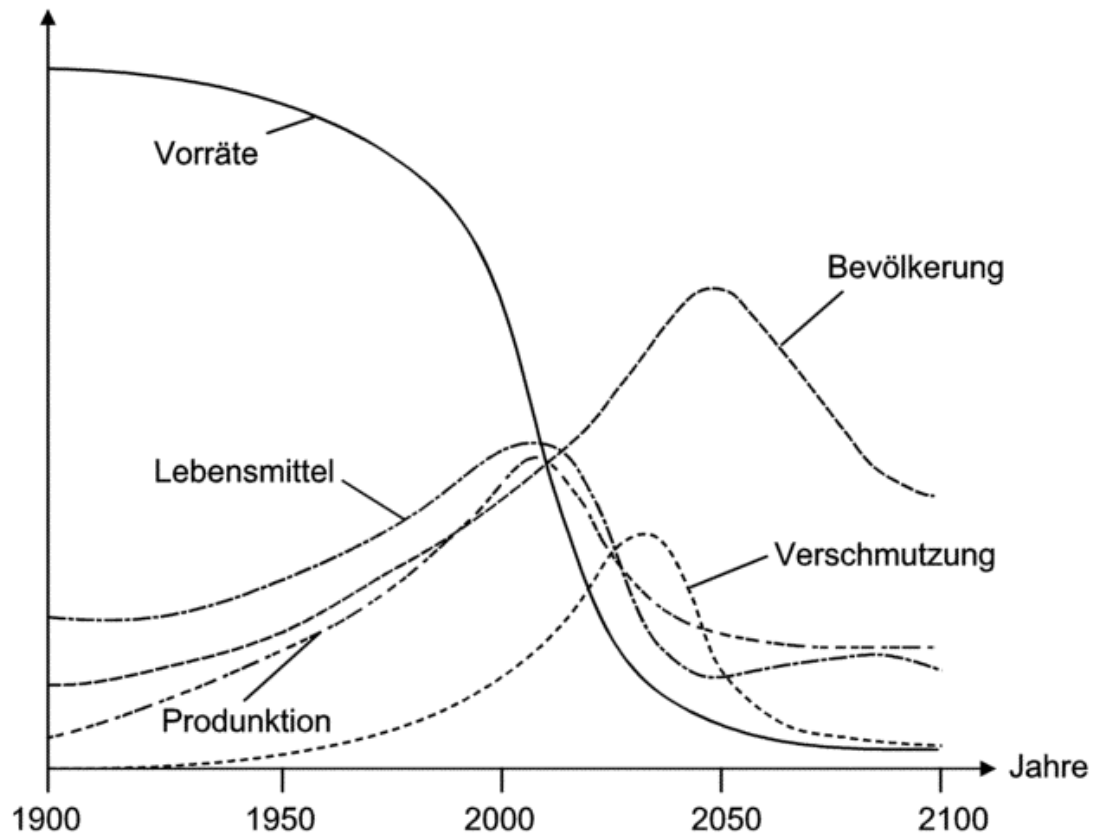
In einem gewissen Sinne erfüllen wohl solche Weltmodelle dieselbe Funktion, wie früher die Weltuntergangsprophetien mit religiösem Hintergrund oder Kometen, Planetoiden etc..



Quelle: Huch, M. et. al: Klimazeugnisse der Ergeschichte; S.185.

Bild 20: Ergebnisse einer WORLD III-Simulation mit einem „Business as usual“-Szenarium, in dem sich die Menschheit auch in Zukunft wie gewohnt verhält

B = Bevölkerung (10 Milliarden); R = Ressourcen; U = Umweltverschmutzung; I = Industrieoutput; N = Nahrungsmittel.



Quelle: Meadows: Grenzen des Wachstums 1973.

Bild 21: „Weltmodell“ bei Hochrechnung der heutigen Trends.

Auch zu Beginn der Neuzeit wurde angeblich ein wissenschaftlich fundiertes Katastrophenszenario mit durchschlagenden Effekten in die Welt gesetzt, und zwar von Thomas Robert Malthus (1766-1834). 1798 veröffentlichte er sein Buch „Principle of Polulation“, in dem er abschätzte, daß die Erde bereits mit einer Milliarde Menschen übervölkert sei. Als Beweis führte er theoretische Überlegungen an, nämlich, daß sich die Bevölkerung nach einer geometrischen während sich die Nahrungsmittelproduktion nur nach einer arithmetischen Reihe entwickeln soll.

Diese mathematische Spielerei hat allerdings überhaupt keine reale Basis. Es ergeben sich aber daraus eine Ernährungsschranke und sogenannte Bevölkerungsschecks wie Kriege, Hungersnöte, Seuchen etc., so daß die Bevölkerung durch erhöhte Sterberaten an die Nahrungsmittelproduktion angepaßt wird.

Eine Verminderung der Geburtenrate zur Anpassung der Bevölkerung an die Nahrungsmittelprodukte hielt Malthus in Folge der sittlichen Minderwertigkeit der Unterschicht (ungezügelter Sexualverhalten) für unwahrscheinlich. Daher folgerte er auch, daß eine Unterstützung dieser Schichten überflüssig wäre und nur das Leid dieser Unterschicht erhöhen würde, weil diese mit einer erhöhten Kinderzahl reagieren würde, für die dann keine Nahrungsmittel da wären. Diese Überlegungen haben den angenehmen Nebeneffekt, daß die Oberschicht sich um die übrige Bevölkerung keine Gedanken machen und nichts von ihrem Reichtum abgeben muß und dabei trotzdem ein reines Gewissen haben kann.

Malthus veröffentlichte diese Vorstellungen, obwohl er eine Untersuchung von Peter Süßmilch (Berlin 1741) kannte, der ziemlich genau und mit Überlegungen bezüglich der landwirtschaftlichen Produktion abgeschätzt hatte, daß die Erde mit den damaligen landwirtschaftlichen Methoden ca. sieben Milliarden Menschen ernähren könnte.

Die Gedanken von Malthus hatten Auswirkungen auf Charles Robert Darwin (1809-1882), den sie zu seiner Evolutionslehre, die aus Mutation und Selektion zusammengesetzt ist, anregte bzw. schienen sich beide Theorien gegenseitig zu bestätigen. Ferner wirkten sie auf D. Ricardos liberalistische Wirtschaftstheorie und auf F. Galton (Eugenik), H. Spencer (Sozialdarwinist), J. v. Gobineau (Überlegenheit der arischen Rasse), Nationalsozialismus und auch heute wieder in den „Life boat ethics“ von G. Hardin etc. (Birg [1992]). Daß Malthus erwiesenermaßen Unrecht hatte, stört natürlich seine heutigen Anhänger nicht und auch andere Katastrophenszenarios finden ihre Anhänger.

Vor ca. 30 Jahren entwickelten Klimatologen ein Eiszeitszenario und Meadows und der Club of Rome warnten vor einer Erschöpfung der Ressourcen, was vielleicht auch zu der Ölkrise angeregt hat. Es wurde auch schon die Umweltverschmutzung für ein zukünftiges Weltende verantwortlich gemacht, und da dies „leider“ alles nicht eingetroffen ist, wurde vielleicht die Klimakatastrophe erfunden. Man könnte dies alles gar nicht so ernst nehmen, wenn nicht die Angst vor der Klimakatastrophe einen enormen politischen Einfluß erreicht hätte und dieser Einfluß nicht auch noch ausgedehnt werden soll.

Z. B. klagt H.J. Schellnhuber in einem „Nature“-Beitrag, daß die „Umgestaltung der Ökosphäre“ leider nur „planlos“ durch „individuellen Opportunismus“ erfolge; dann erwägt er ein gezieltes „Redesign“ des Globus mittels „Geoengineering“.

Schellnhuber schwebt unter anderem eine „organischere“ Verteilung von Arbeit, Energie und Stoffströmen vor: Nahrungsmittelanbau sollte vor allem in den gemäßigten Zonen konzentriert werden, erneuerbare Energiegewinnung in den Subtropen, Erholungstourismus in den Tropen. „Wir könnten über eine proaktive Kontrolle der planetaren Variabilität nachdenken“, doziert der Klimaforscher. Zur Abwehr einer möglichen Eiszeit hält er sogar die „wohl überlegte Injektion von Designer-Treibhausgasen“ für denkbar. (D. Maxeiner, Der Spiegel 45/2000).

Prognosen des IPCC, Politik und CO₂-Handel

Die Prognosen des Intergovernmental Panel on Climate Change zeichnen sich durch eine ziemliche Bandbreite und hohe Variabilität über die Jahre hin aus. Als Maßstab diene die schon von Arrhenius angenommene Verdopplung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre. Arrhenius hat dafür mit einfachen Mitteln einen mittleren Temperaturanstieg von 3 K prognostiziert. Das IPCC „verfeinerte“ diese Annahme, indem es den CO₂-Gehalt der Atmosphäre in 100 Jahren von 300 ppm auf 600 ppm ansteigen läßt (was in etwa zutrifft, wenn die gesamten heutigen anthropogenen CO₂-Emissionen 100 Jahre lang fortgesetzt werden und in der Atmosphäre verbleiben) und prognostizierte:

Ende der 80iger Jahre einen Temperaturanstieg von 8 K,
1992 auf der Klimakonferenz in Rio wurden daraus 3 bis 4,5 K,
1995 auf der Klimakonferenz in Berlin wurden daraus 0,5 bis 3 K,
2000 auf der Klimakonferenz in Den Haag wurden daraus 1,5 bis 6 K.

Einen derartigen kurzfristigen Wandel in den Prognosen halte ich nicht für vertrauenerweckend, und diese Prognosen zur Grundlage weittragender politische Entscheidungen zu machen für verantwortungslos. Es freut mich aber und erweckt doch ein gewisses Vertrauen in die Prognosen, daß sie in letzter Zeit um den von Arrhenius vor ca. 100 Jahren berechneten Wert schwanken; allerdings ist fraglich, ob 100% der anthropogenen CO₂-Emissionen in der Atmosphäre bleiben und wie sich das Klima ohne anthropogene CO₂-Emissionen entwickeln würde.

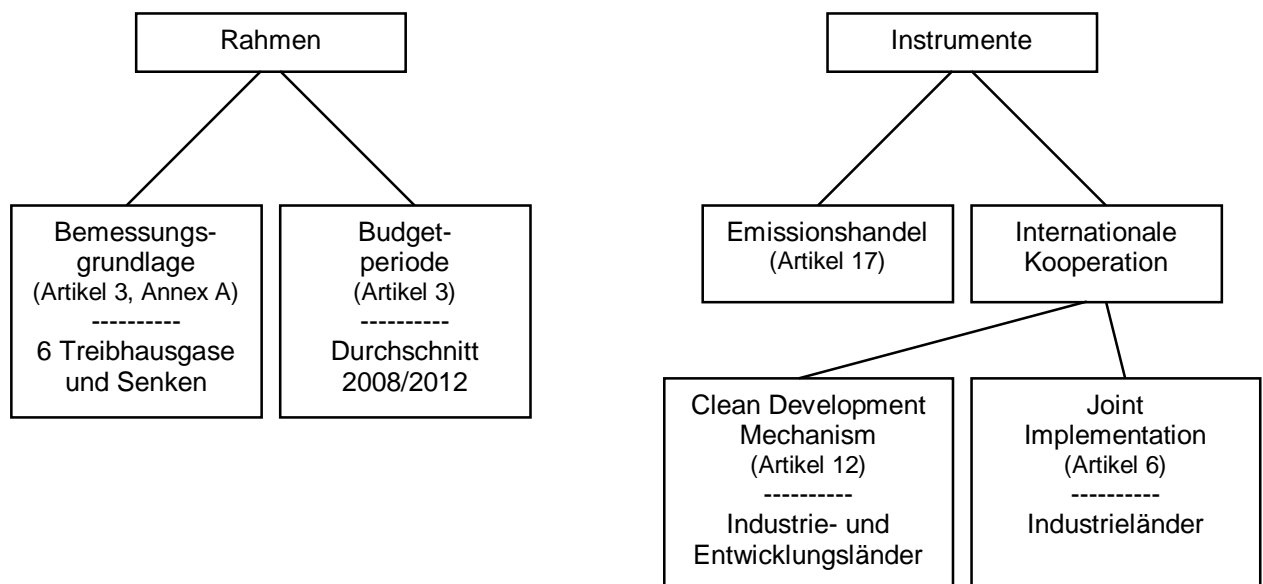
Auf der Klimakonferenz in Kyoto 1997 wollten reiche Länder wie die EU ab 2008 bis 2012 im Schnitt 5 % weniger CO₂ als 1990 emittieren; unterentwickelten Ländern wurde sogar eine Erhöhung ihrer CO₂-Emissionen erlaubt. Im Bewußtsein, daß die Umstellung der ostdeutschen Wirtschaft und Energiewirtschaft (der Primärenergieverbrauch lag 1985 in der DDR pro Kopf bei 7,8 t Steinkohleeinheiten SKE und damit höher als in der BRD mit 6,2 t SKE pro Kopf, außerdem wurde in der DDR 1985 der Primärenergiebedarf zu über 70 % mit Braunkohle gedeckt) zu sehr großen CO₂-Emissionsreduzierungen führen würde, teilten sich die BRD und Dänemark (Windenergie) Platz 2 und 3 der CO₂-Emissionsreduktionsränge (bezüglich der relativen CO₂-Reduktion) in der EU-Tabelle:

	1990 (Mio.t)	Quote 2008/2012 (in %)	Absolute Veränderung (Mio. t)
Österreich	55	- 13,0	- 7
Belgien	105	- 7,5	- 8
Dänemark	53	- 21,0	- 11
Finnland	52	+/- 0,0	0
Frankreich	354	+/- 0,0	0
Deutschland	952	- 21,0	- 200
Griechenland	71	+ 25,0	+ 18
Irland	30	+ 13,0	+ 4
Italien	391	- 6,5	- 25
Luxemburg	11	- 28,0	- 3
Niederlande	153	- 6,0	- 9
Portugal	39	+ 27,0	+ 11
Spanien	204	+ 15,0	+ 31
Schweden	51	+ 4,0	+2
Großbritannien	567	- 12,5	- 71
Summe	3088	-	- 268
EU-15	3088	- 8,0	- 247

Quellen: EUROSTAT (energiebedingte Emissionen), Kyoto-Protokoll (Quoten für Nettoemissionen),
Kübler K. in Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48. Jg. (1998) Heft 11

Tabelle 2: Aktueller Stand des „Burden Sharing“ bei den energiebedingten CO₂-Emissionen in der EU

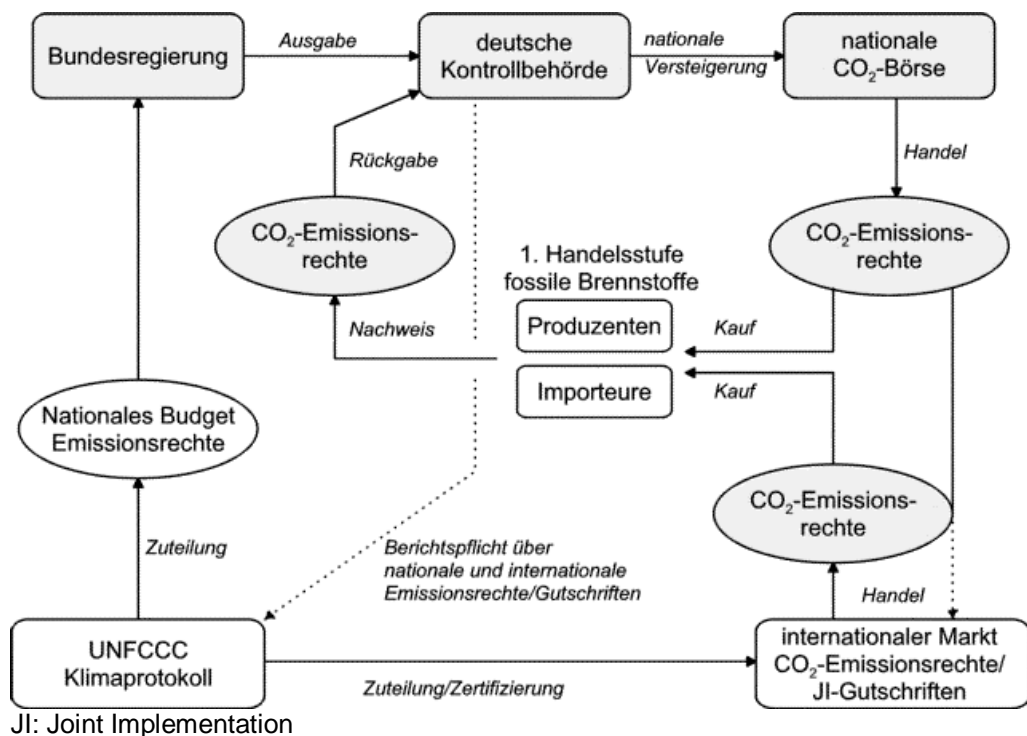
Im Kyoto-Protokoll sind auch die in Bild 22 gezeigten „Flexibilitäten“ enthalten.



Quelle: Kübler K. in Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48. Jg. (1998) Heft 11

Bild 22: Flexibilitäten im Kyoto-Protokoll

Das folgende Bild 23 zeigt das nach dem Vorbild des SO₂-Emissionshandels in den USA aufgebaute Zusammenwirken des nationalen und internationalen Systems handelbarer CO₂-Emissionsrechte.



Quelle: Chemie Ingenieur Technik (72) 9/2000, EC-Grünbuch 08/03/2000: COM (00) 87 (Handel ab 2005 vorgeschlagen), Agenda 5 Magazin von RWE, ZEIT Nr. 48/2000.

Bild 23: Zusammenwirken von nationalem und internationalem System handelbarer Emissionsrechte.

Entscheidend dafür, wer von diesem CO₂-Emissionshandel profitiert, ist natürlich (wie bei einer Währungsreform) die Erstzuteilung von CO₂-Emissionsrechten. Dafür werden zwei Möglichkeiten diskutiert:

- unentgeltliche Zuteilung (Besitzstandregelung), davon würden die größten „CO₂-Sünder“ am meisten profitieren
- Versteigerung, auch bei dieser Methode wird es Gewinner geben, die geschickt spekulieren

Mein Vorschlag wäre, wenn ein CO₂-Emissionshandel überhaupt eingeführt werden soll, jedem Menschen einmal im Leben Emissionsrechte zuzuteilen, die er verkaufen kann; aber das wird sicher nicht realisiert. Natürlich zeigen die Börsen großes Interesse und die Weltbank hat bereits einen Prototype Carbon Fund gegründet, an dem z. B. die RWE (**R**heinisch **W**estfälische **E**lektrizitätswerke) teilnehmen. Australische Unternehmen, einige Unternehmen in den USA und Kanada (Du Pont) und in Großbritannien (Ford, British Airways, Nestlé, BP-British Petrol) haben einen firmeninternen CO₂-Emissionshandel gestartet.

Auf der Klimakonferenz in Den Haag (im Jahr 2000) sollte eine Bewirtschaftung des Kohlenstoffkreislaufs beschlossen werden, was scheiterte, weil

- man ohnehin diesen Kreislauf zu wenig kennt (ist nun ein Waldgebiet eine CO₂-Senke oder nicht?)
- und sich auch über ökonomische Positionen (wie billig darf man CO₂ vermeiden bzw. wieviel dürfen einige daran verdienen) nicht einigen konnte.

Deutschland hatte sich - wie bereits erwähnt - 1997 in Kyoto selbst verpflichtet, seine CO₂-Emissionen um 21% unter den Stand von 1990 (952 Mio. t) also um 200 Mio. t zu senken; dies würde verfehlt werden, wenn die CO₂-Emissionen nicht um 50-70 Mio. t/a gegenüber der bisherigen Tendenz gemindert werden (Energiewirtschaft und Industrie: - 20 bis 25 Mio. t/a, Privathaushalte - 18 bis 25 Mio. t/a und Verkehr - 15 bis 20 Mio. t/a. Dies soll nach dem Klimaschutzprogramm der deutschen Bundesregierung vom 18.10.2000 durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bis 2005: - 10 Mio. t/a
bis 2020: - 23 Mio. t/a
- Zusammenfassung der Verordnungen für Wärmeschutz und Heizungsanlagen soll eine Bedarfssenkung um 30 % bewirken
- Gebäudemodernisierung 2001 bis 2003 mit 400 Mio. DM jährlich gefördert soll bis 2005 zu 5 bis 7 Mio. t/a CO₂ – Einsparung führen
- Brennstoffzellen sollen 2001 bis 2003 mit 100 Mio. DM jährlich gefördert werden, was zu CO₂-Emissionsminderungen in nicht bezifferter Höhe führen soll
- die Bundesbahn erhält 3 Jahre lang je 2 Mrd. DM, ab 2003 streckenabhängige Autobahnbenutzungsgebühr und niedrigere KFZ-Steuer für sparsame PKWs sollen CO₂-Emissionen des Verkehrs reduzieren
- Die deutsche Wirtschaft soll ihre Selbstverpflichtung zur CO₂-Emissionsminderung von 20 % auf 28 % bis 2005 erhöhen.

Von 1990 bis 1999 sanken die CO₂-Emissionen in der BRD ohne staatliche Eingriffe aus den bereits erwähnten Gründen um 15 % (ineffiziente ostdeutsche Industrie zusammengebrochen, Industrie: - 31 %, Energiewirtschaft: + 16 %, Verkehr + 11 %, Privat: + 6 %). Da die Kernkraftwerke, die jährlich CO₂-Emissionen von 170 Mio. t/a vermeiden helfen, stillgelegt werden, werden auch diese CO₂-Emissionen auf andere Art eingespart werden müssen. Diese Informationen wurden zusammengetragen aus: IZE-Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e.V., Stromthemen April 97, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48. Jg. (1998) Heft 11, Holz Zentralblatt Nr. 144, 01.12.00.

CO₂-Emissionen, Energiebedarf, Bevölkerungswachstum, Globalisierung

Auch wenn keine Klimakatastrophe zu erwarten ist, ist der sparsame und effiziente Umgang mit den fossilen Brennstoffen sinnvoll, weil

- die Ressourcen dann länger vorhalten
- auch andere Schadstoffe nicht emittiert werden wie SO_x, NO_x etc.
- die Zeit, um für Ersatz zu sorgen, länger ist, was Forschung und Entwicklung neuer Verfahren ermöglicht und die jährliche Last der Umstellung vermindert

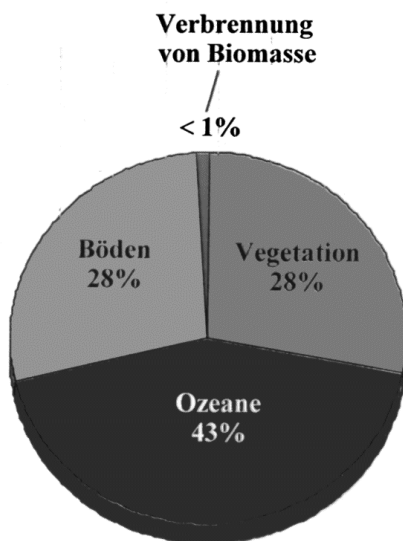
Die Umstellung auf niedrigste CO₂-Emission wäre heute zwar technisch möglich, aber nur zu Kosten, die sich selbst „reiche Industrieländer“ nur innerhalb von Jahr-

zehnten leisten könnten, von Entwicklungsländern aber nicht ohne gravierendste soziale Folgen aufzubringen wären.

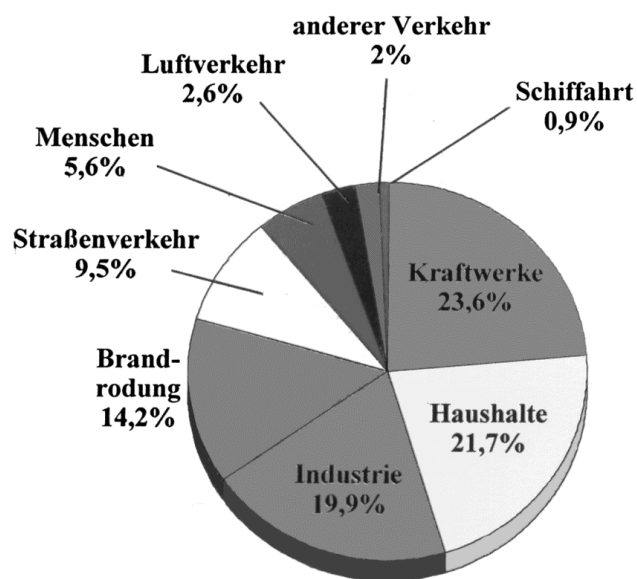
Die jährlichen Gesamtkosten für die EU zum Erreichen des Kyoto-Ziels werden auf 5 (voller Emissionshandel Annex B) bis 9 (kein Handel) Milliarden Euro (Grünbuch 08/03/2000 der EU) geschätzt.

In Bild 24 sind die natürlichen CO₂-Emissionen aus Ozeanen (43%), Böden (28%), Vegetation (28%), Verbrennung von Biomasse (< 1%), die insgesamt auf 770 Milliarden t/a geschätzt werden, gezeigt. Die anthropogenen CO₂-Emissionen hingegen betragen 26 Milliarden t/a, also 3,4% der natürlichen Emissionen, und sie verteilen sich im wesentlichen auf Kraftwerke 23,6%, Haushalte 21,7%, Industrie 19,9%, Brandrodung 14,2%, Straßenverkehr 9,5%, Menschen selbst 5,6% etc.. Es ist meiner Meinung nach sehr schwierig, die anthropogenen Emissionen, die ja nur 3,4% der natürlichen Emissionen betragen, in einer CO₂- oder Kohlenstoffbilanz wiederzufinden und genau zuzuordnen. Mit dem Molekulargewicht umgerechnet auf reine C-Emissionen betragen die jährlichen anthropogenen Emissionen 7 Milliarden t/a C. Nach anderen Quellen werden allerdings nur 6 Milliarden t C jährlich aufgrund menschlicher Aktivitäten emittiert.

Natürliche Emissionen
770 x 10⁹ t/a



Anthropogene Emissionen
26 x 10⁹ t/a = 3,4%



Quelle: Institut für Verbrennungskraftmaschinen, 97-004, Prof. Müller

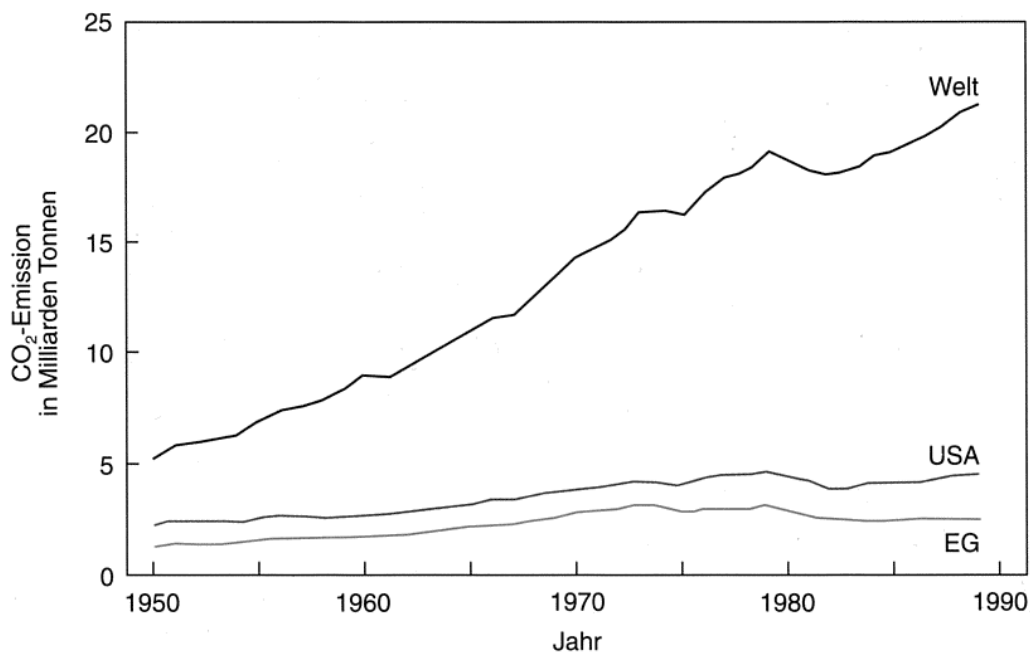
Bild 24: Globale jährliche CO₂-Emissionen.

In der Atmosphäre sind etwa 600-700 Milliarden t C enthalten – je nachdem, ob man vorindustrielle oder heutige CO₂-Gehalte zugrunde legt. Man kann daraus erkennen, daß 100 Jahre derzeitige CO₂-Emissionen etwa den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre verdoppeln würden von ca. 300 ppm auf ca. 600 ppm, wenn nicht ein Teil des CO₂ in den Ozeanen, Pflanzen und in der Erde eingespeichert würde.

In den Ozeanen sind 39.000 Milliarden t C enthalten (wobei eine PH-Wertänderung von 0,3 eine zusätzliche Aufnahme von 1200 Milliarden t C ermöglichte, was aber die Korallen gefährdete. In Pflanzen sind etwa 500 Milliarden t C enthalten, in der

Erde und in pflanzlichen Abfällen ca. 1500 Milliarden t C. Die Kohlevorräte betragen etwa 7000 Milliarden t C und Öl, Erdgas und Ölschiefer etc. zusammen auch etwa 1000 Milliarden t C. Die Abschätzungen der Methan Hydrate sind noch sehr unsicher, aber es könnten durchaus einige tausend Milliarden t C sein. (Quelle: Lackner 2000)

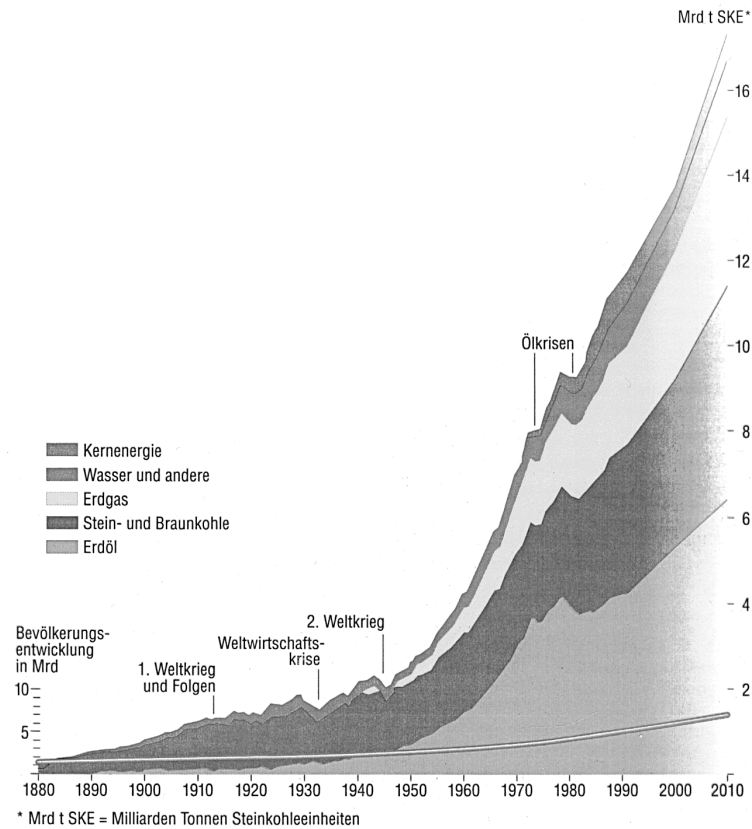
In Bild 25 sind die anthropogenen CO₂-Emissionen von 1950-1990 aufgetragen. Man erkennt, daß die CO₂-Emissionen der USA und der Europäischen Gemeinschaft von 1950 bis 1973 nur leicht angestiegen sind, die Emissionen der EG seit dem Ölpreisschock 1973 sogar gesunken sind, während sie in den USA mehr oder weniger konstant blieben. Weltweit erkennt man zwar den Einfluß der Ölpreisschocks, jedoch ist der Anstieg nach wie vor ungebrochen.



Quelle: Paul J. Crutzen: Atmosphäre, Klima, Umwelt, Spektrum der Wissenschaft 1996; S150.

Bild 25: Anthropogene CO₂-Emissionen

Die in Bild 25 gezeigten CO₂-Emissionen sind die Folge des ansteigenden Verbrauchs fossiler Primärenergieträger (Bild 26). Zur Erleichterung der Umrechnung auf dem Leser bekannte Energieeinheiten oder zum Vergleich mit anderen Publikationen ist Tabelle 3 eingefügt.

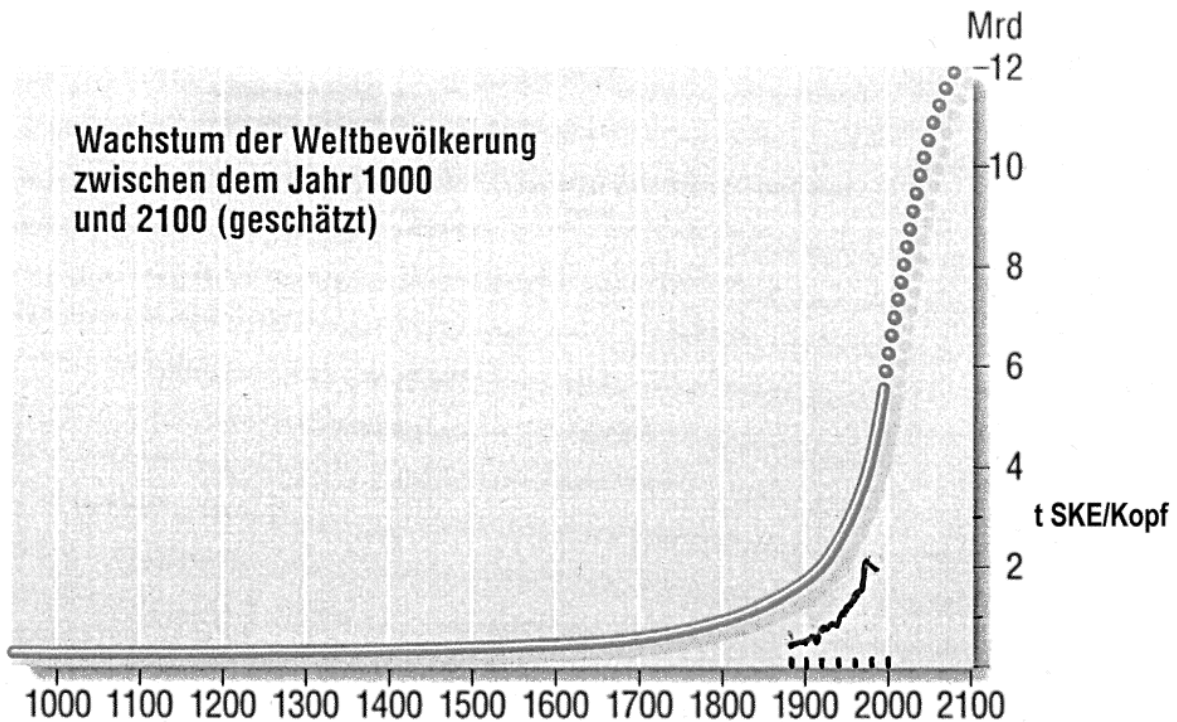


Quelle: Preussen Elektra, Informationen rund um den Strom, 3., überarbeitete Auflage Januar 1995.

Bild 26: Entwicklung von Weltenergieverbrauch und Weltbevölkerung.

	kg SKE	kWh	MJ	kcal
1 kg SKE	= 1	8,141	29,31	7000
1 kWh	= 0,123	1	3,6	859,845
1 MJ	= 0.0341	0,2778	1	238,84
1 kcal	= $1,428 \cdot 10^{-4}$	$1,163 \cdot 10^{-3}$	$4,1868 \cdot 10^{-3}$	1
1 TWa	= $1,076 \cdot 10^9$ t SKE (Steinkohleeinheit)			

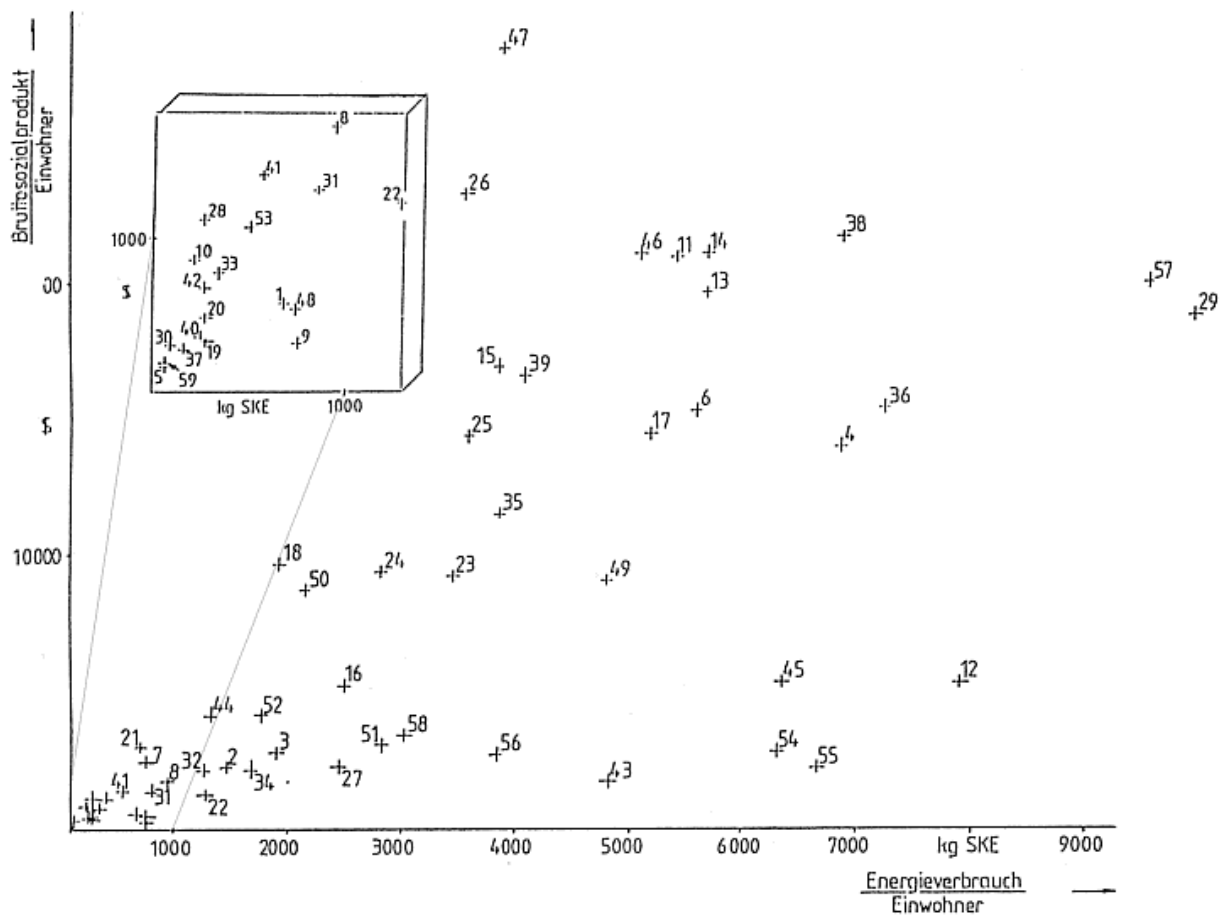
Tabelle 3: Umrechnungstabelle für Energieeinheiten



Quelle: Preussen Elektra, Informationen rund um den Strom, 3., überarbeitete Auflage Januar 1995.; Spektrum der Wissenschaft 10/82. (Prokopfenergieverbrauch).

Bild 27: Geschätzter Wachstum der Weltbevölkerung zwischen dem Jahr 1000 und 2100.

Dieser Anstieg resultiert aus zwei Ursachen: dem Anwachsen der Weltbevölkerung und dem Anstieg des Prokopfenergiebedarfs. Beides ist lokal sehr unterschiedlich über die Erde bzw. Länder verteilt. Im allgemeinen besteht ein Zusammenhang zwischen einem hohen Prokopfenergieverbrauch verbunden mit einem hohen Prokopfbrottosozialprodukt (d.h. hohem Lebensstandard) und einem niedrigen Bevölkerungswachstum bzw. einer Bevölkerungsabnahme eines Landes.

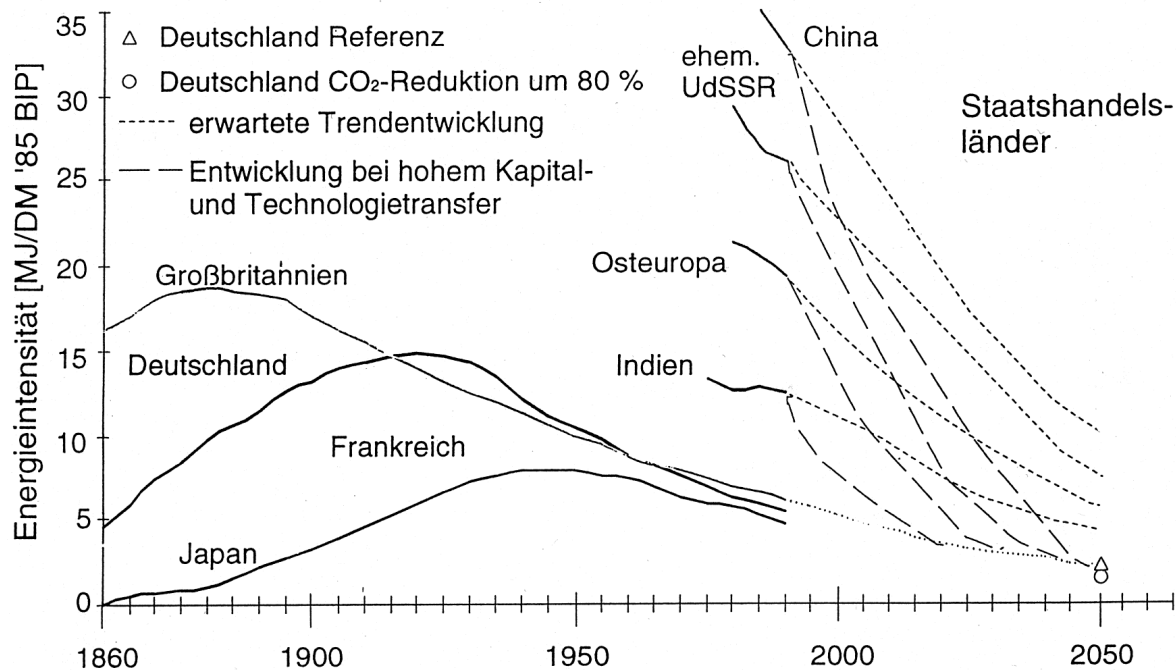


1 Ägypten	21 Irak	41 Peru
2 Algerien	22 Iran	42 Philippinen
3 Argentinien	23 Irland	43 Polen
4 Australien	24 Israel	44 Portugal
5 Bangladesch	25 Italien	45 Saudi-Arabien
6 Belgien	26 Japan	46 Schweden
7 Brasilien	27 Jugoslawien	47 Schweiz
8 Chile	28 Kamerun	48 Simbabwe
9 China	29 Kanada	49 Singapur
10 Côte d'Ivoire	30 Kenia	50 Spanien
11 Dänemark	31 Kolumbien	51 Südafrika
12 Deutschland (Ost)	32 Malaysia	52 Südkorea
13 Deutschland (West)	33 Marokko	53 Thailand
14 Finnland	34 Mexiko	54 Tschechoslowakei
15 Frankreich	35 Neuseeland	55 UdSSR
16 Griechenland	36 Niederlande	56 Ungarn
17 Großbritannien	37 Nigeria	57 USA
18 Hong Kong	38 Norwegen	58 Venezuela
19 Indien	39 Österreich	59 Zaire
20 Indonesien	40 Pakistan	

Quelle: P. Butler (Hrsg.): Economist, die Welt in Zahlen, Carl Ueberreuter, Wien 1991, ISBN 3-8000-3385-2

Bild 28: Bruttosozialprodukt und Energieverbrauch je Einwohner.

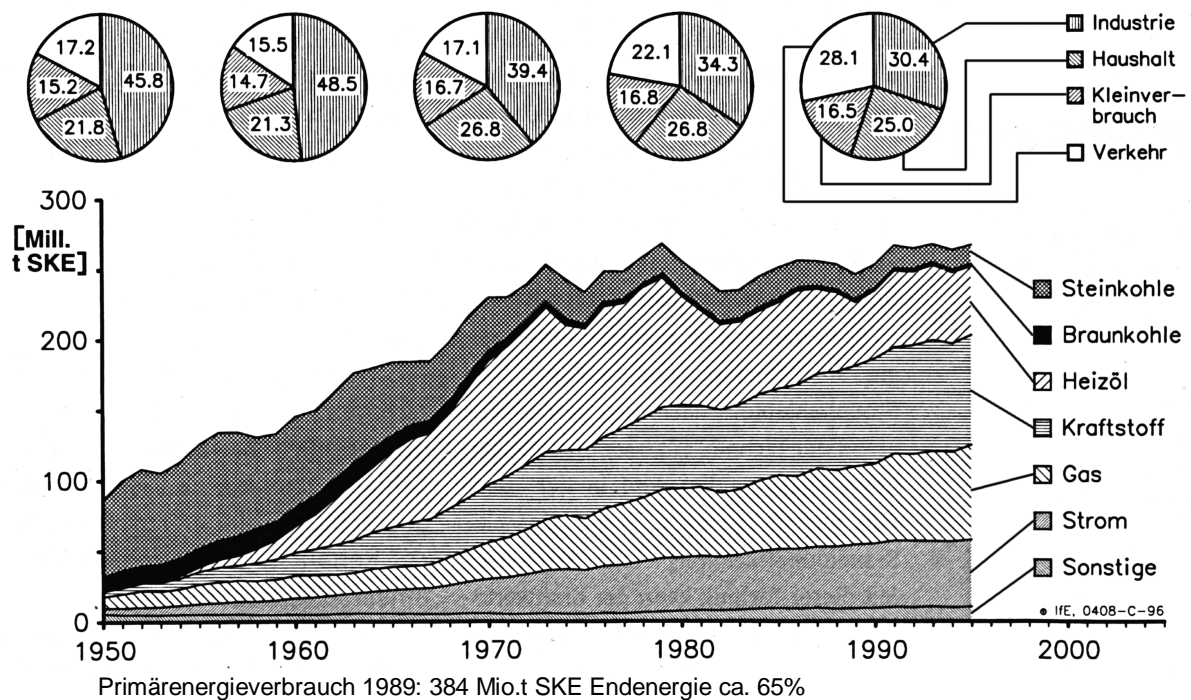
Allerdings ist der Lebensstandard nicht so eng an den Prokopfenergieverbrauch gekoppelt, wie Wirtschaftswissenschaftler häufig auch heute noch annehmen. Daß man Energie sehr effizient aber auch sehr ineffizient einsetzen kann zeigt, z. B. der Vergleich der Energieverbräuche und Bruttosozialprodukte je Einwohner der folgenden Länder: USA, Deutschland West, Deutschland Ost in Bild 28. Warum der Energieverbrauch und damit die CO₂-Emissionen der entwickelten Länder nicht so hoch sind wie das Bruttosozialprodukt erwarten ließe, zeigt Bild 29 mit seinen Angaben über die Energieintensität; diese ist in entwickelten Ländern wegen effizienterer Energienutzung, aber sicher auch wegen einer anderen Altersstruktur der Bevölkerung viel niedriger als in Staatshandelsländern oder Entwicklungsländern.



Quelle: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), Karlsruhe

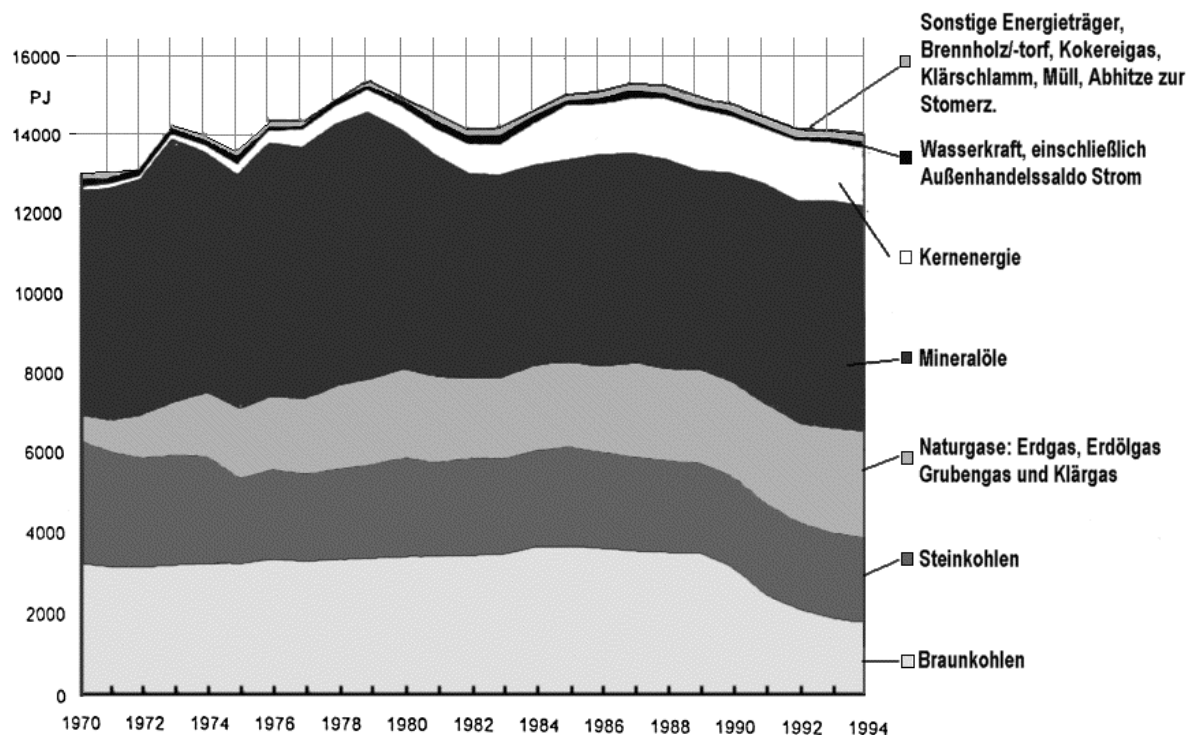
Bild 29: Energieintensität

Bild 30 zeigt den Endenergiebedarf in Deutschland seit 1950 und Bild 31 den Primärenergiebedarf seit 1970. Aus diesen beiden Bildern erkennt man die zunehmende Bedeutung von Gas und Öl und die abnehmende Bedeutung von Braun- und Steinkohle. Man sieht aber auch, daß sich seit den Ölkrisen der Energieverbrauch insgesamt nicht mehr allzusehr verändert hat.



Quelle: Prof. Wagner IfE, BWK Bd. 51(1999) Nr. 5/6, S.77.

Bild 30: Endenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland – alte Länder
(Energieträger + Verbrauchssektoren)

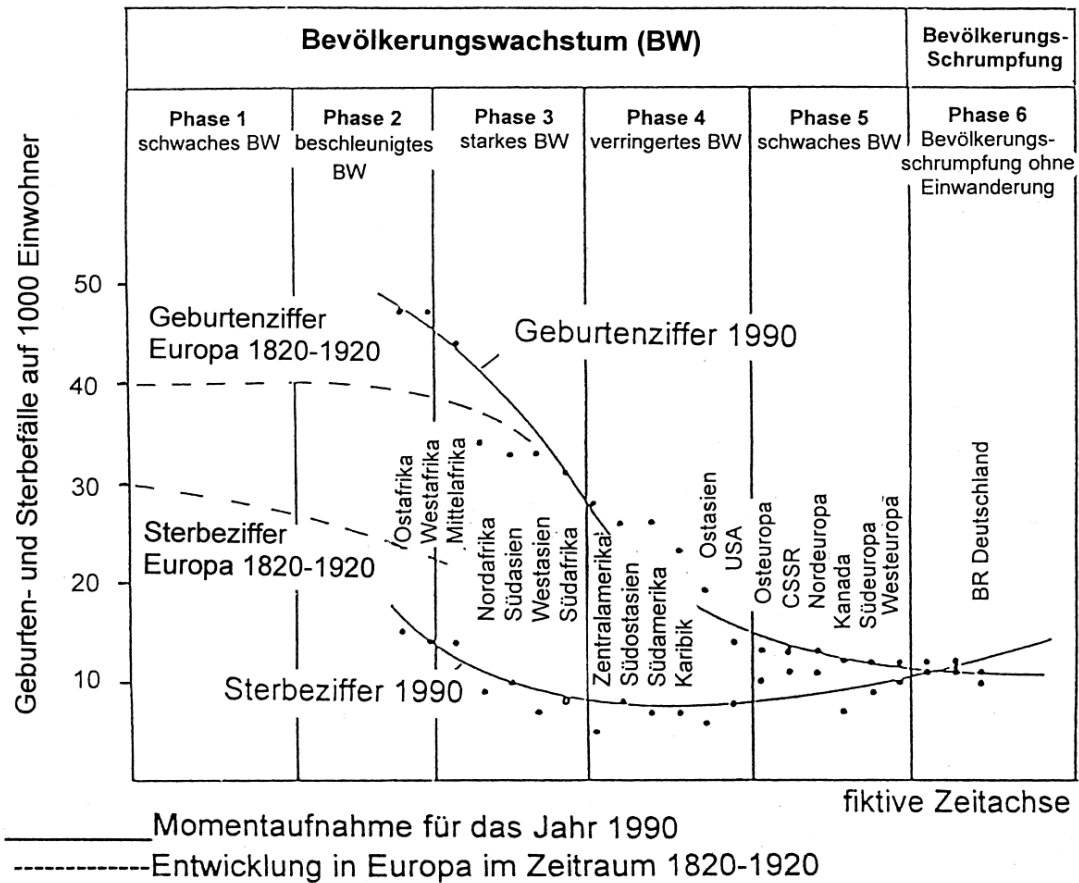


Quelle: Umweltbundesamt, Uba 1997a

Bild 31: Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Energieträgern.

In Bild 32 sind die Geburten- und Sterberaten verschiedener Länder über einer fiktiven Zeitachse aufgetragen, die den Entwicklungszustand der Länder darstellt. We-

nig entwickelte Länder zeigen einen hohen Geburtenüberschuß, während hoch industrialisierte Länder, zu denen auch Deutschland zählt, einen Überschuß der Sterbefälle aufweisen, d.h., daß diese Länder langfristig ohne Zuwanderung Ihren Bevölkerungsstand nicht würden halten können.



Quelle: Birg (1992), VDI-Bericht 1016, VDI-GET JB 93

Bild 32: Phasen des demographischen Übergangs der Länder und Weltregionen im Jahr 1990 im Vergleich zur historischen Entwicklung in Europa.

Die folgende Tabelle 4 gibt einen Überblick über die mit der unterschiedlichen Bevölkerungsentwicklung in den Industrie- und Entwicklungsländern verbundenen Probleme.

Industrieländer	Entwicklungsländer	Supranational
1. Bevölkerungsschrumpfung	Bevölkerungsexplosion	Bevölkerungswachstum
2. Überalterung	Jugendarbeitslosigkeit	
3. Probleme mit Alters- und Krankenversicherungssystemen	Alters- und Krankenversicherungssysteme fehlen weitgehend	zunehmende Disparitäten zwischen reichen und armen Ländern
4. Polarisierung in reproduktive und nicht reproduktive Teilgruppen	Extreme Schichtunterschiede	Die Bevölkerungsentwicklung ist Ursache und Multiplikator
5. Arbeitskräftemangel – Einwanderung	Armuts-, Umweltflüchtlinge, Asylsuchende	
6. Ethnische und interkulturelle Spannungen und Konflikte		steigender supranationaler Handlungsbedarf
7. Zunahme staatlichen Lenkungsbedarfs	Konfliktverlagerung nach außen und Kriegsgefahr	
8.	Grenzüberschreitende Umweltprobleme	

Quelle: Birg 1992, VDI-Bericht 1016, VDI-GET Jahrbuch 93

Tabelle 4: Demographisch bedingte Problemketten in den Industrie- und Entwicklungsländern

Die Schlußfolgerungen daraus sind eigentlich einfach zu ziehen, jedoch sicherlich sehr schwierig umzusetzen:

- Die „Entwicklungsländer“ müssen sich tatsächlich entwickeln und dürfen nicht noch mehr verarmen, wie dies im Zuge der „Globalisierung“ bisher geschehen ist.
- Wenn die Entwicklungsländer die industriellen und sozialen Standards der entwickelten Länder erreichen, so wird
 - das Bevölkerungswachstum gestoppt und
 - die Energieeffizienz gesteigert, d.h., die Umwelt geschont.
- Das heißt aber auch, daß die Technikfeindlichkeit und Menschenfeindlichkeit (Rassismus) und die life boat ethics überwunden werden müssen.

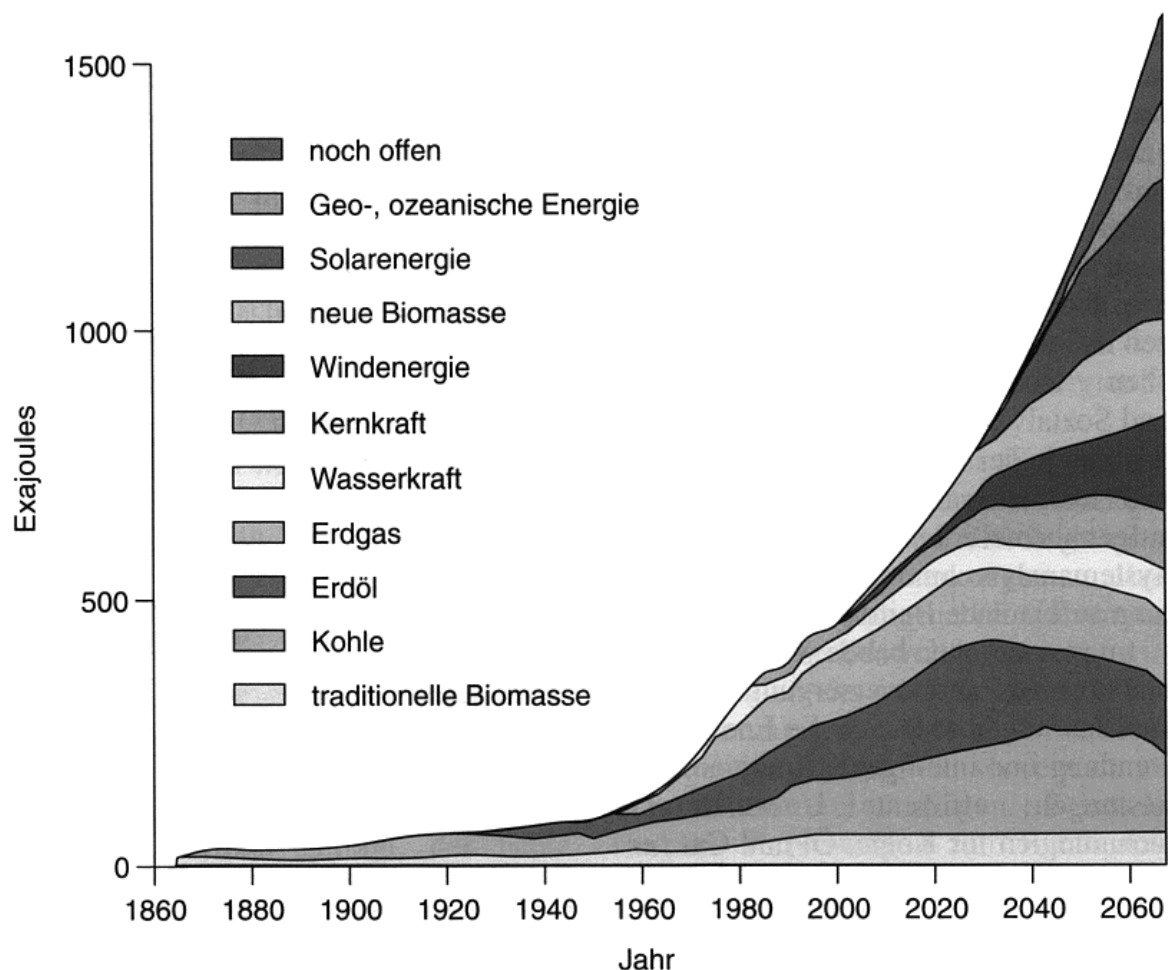
Meiner Meinung nach ist das die einzige humane Entwicklungsmöglichkeit. Auch halte ich die Vorstellung, daß eine Maßnahme (Globalisierung, Entnahme aus einem Speicher) nur verstärkt umgesetzt werden müßte (d.h. Abbau jeglicher wirtschaftlichen Beschränkungen, bzw. entsprechend verstärkte Entnahme aus einem Speicher) um die bisherige Tendenz (globale Zunahme der Unterschiede zwischen Arm und Reich bzw. Abnahme des Speicherinhalts) umzukehren, für einen bewußt gepflegten absurden Wunschtraum; diese Vorstellung widerspricht jeder Erfahrung. So hat z.B. unter der Präsidentschaft von Reagan durch die Verminderung der Steuersätze die Staatsverschuldung der USA nicht wie versprochen abgenommen sondern sich um den doppelten Betrag aller seiner Vorgänger zusammen erhöht (Malabre 1994). Da außerhalb der USA calvinistisches Denken nicht so verbreitet ist und angehäufter Reichtum nicht als Zeichen göttlicher Gunst und Armut nicht als Zeichen der Sündhaftigkeit bzw. der eigenen Fehler angesehen wird, wird die Globalisierung bzw. der damit verknüpfte Turbokapitalismus zu ungeahnten Konflikten führen. (Luttwack 1999)

Zukünftige Energiewirtschaft

Die zukünftige Energiewirtschaft wird vor allem durch drei Entwicklungen charakterisiert sein:

- Zuwachs an regenerativen Energien, insbesondere Solarenergie, Windenergie, Biomasse und Geo- und Ozeanische Energien
- Abnahme des Verbrauchs der fossilen Energieträger nach einem vielleicht im Jahr 2020 oder 2030 erreichten Maximum
- Effizientere Energienutzung

Diese Entwicklungen sind auch in Bild 33 prognostiziert.



Quelle: Eisenbeiß G., Spektrum der Wissenschaft, Dossier Klima und Energie; S.16.

Bild 33: Eine Shell-Prognose sieht den Durchbruch erneuerbarer Energien bis 2060 – bei dann 10 Milliarden Menschen auf der Welt und 3 Prozent Wirtschaftswachstum pro Jahr.

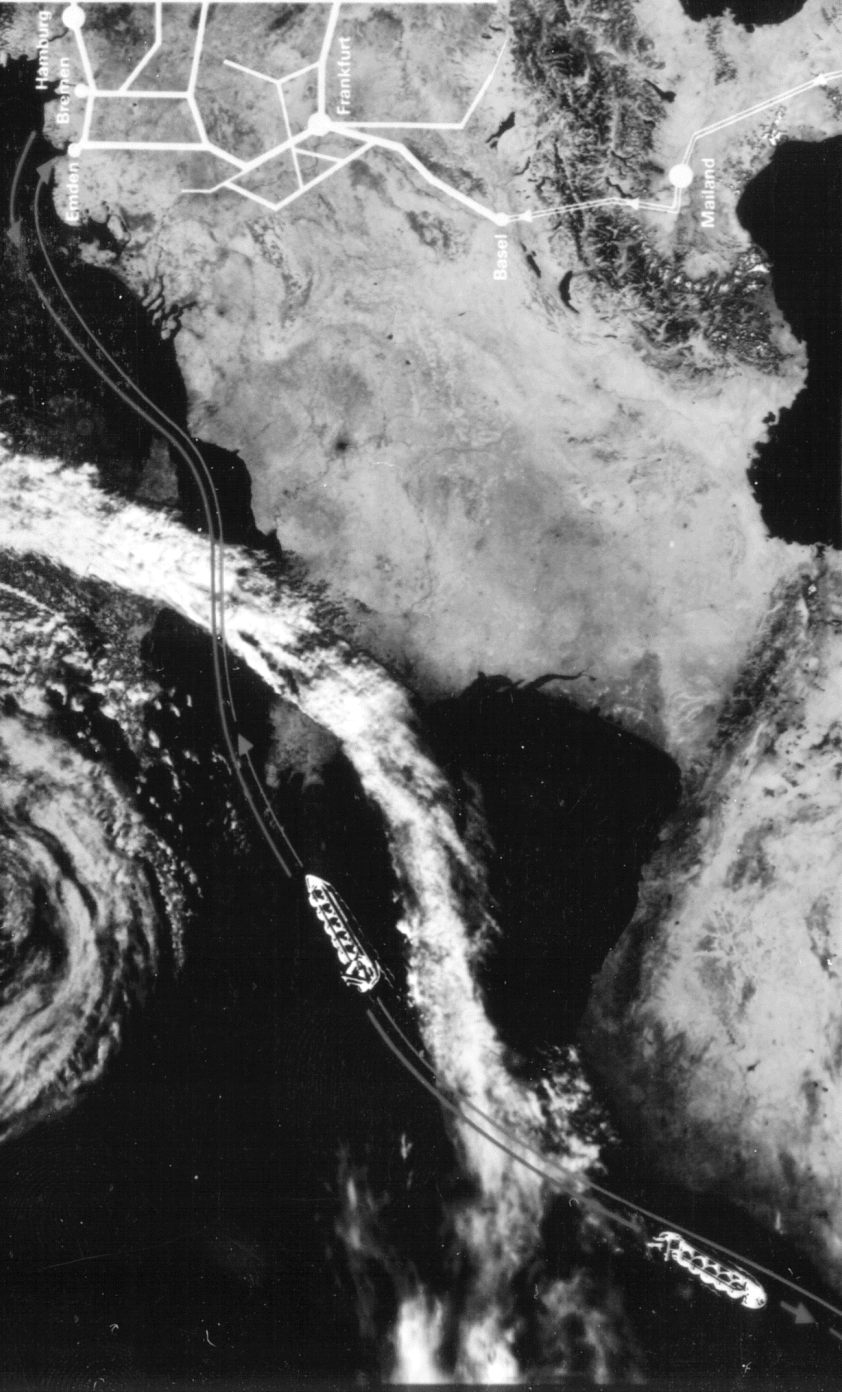
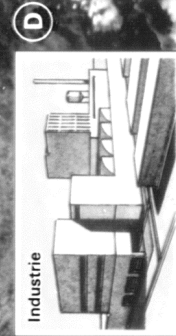
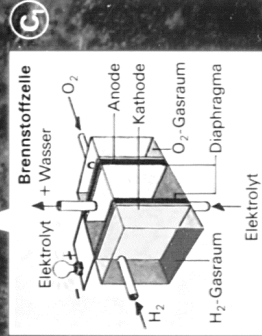
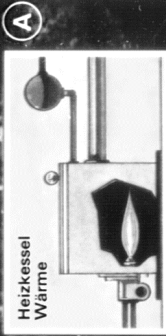
In der Solarenergienutzung wird sowohl die Photovoltaik als auch die Solarthermie in kleinen und großen Anlagen an Bedeutung gewinnen. Rein technisch wäre es heute schon vorstellbar, 40% des bundesdeutschen Energieverbrauchs als Wasserstoff auf einer 11.000 km² großen Fläche in der Sahara mittels Photovoltaik und Elektrolyse zu gewinnen und per Schiff oder Pipeline nach Deutschland zu transportieren (Bild 34).

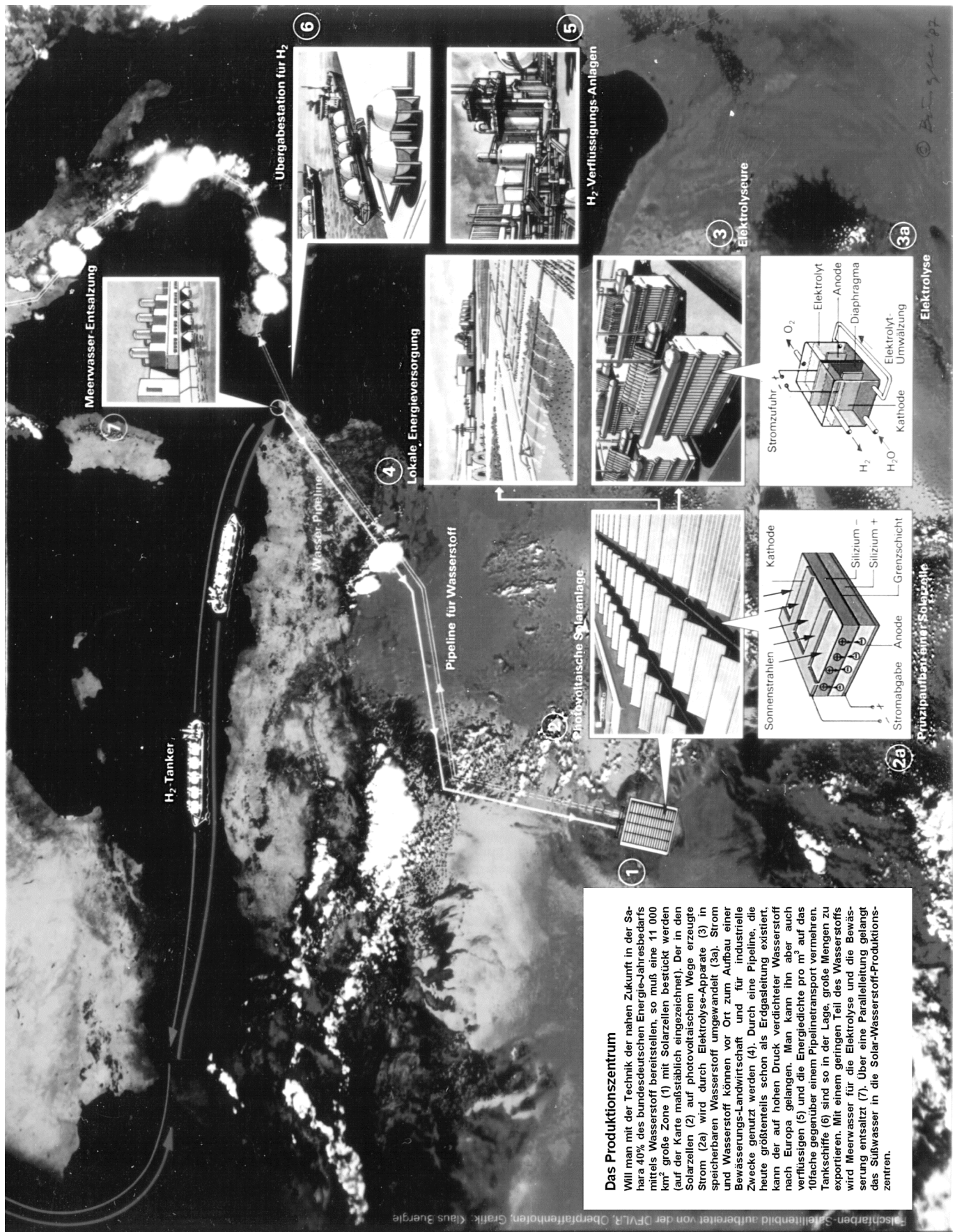
Die Solar-Wasserstoff-Welt

Eine realistische Vision

Der Absatzmarkt

Gasförmig per Pipeline oder in Flüssiggastankern kommt Wasserstoff nach Europa und wird ins ehemalige Erdgasnetz eingespeist. Nun lassen sich viele Anwendungen denken, fünf wichtige sind dargestellt. In althergebrachten Heizkesseln (A) und neuartigen katalytischen Heizern sorgt Wasserstoff für Wärme. Als „Abfallprodukt“ fällt praktisch nur Wasser an. Auch der Straßenverkehr könnte eine neue Entwicklung nehmen (B). Schon heute experimentieren Autofirmen wie BMW oder Mercedes mit wasserstoffgetriebenen Pkw. Blockheizkraftwerke, die nicht nur Strom erzeugen, sondern auch ihre Abwärme als Nutzenergie weitergeben, sind ein dritter Einsatzbereich (C). Hier gibt es zwei Möglichkeiten: Wasserstoff wird in einem Gasmotor verbrannt und treibt einen Generator. Oder: In einer Brennstoffzelle (C1) verbrennt das Gas zu Wasser und gibt Strom ab. Auch die Wasserstoff als Rohmaterial und Energieträger einsetzende Industrie (D) kann aus diesem Verbund Profit ziehen.





Quelle: Bild der Wissenschaft April 1987

Bild 34: Energieversorgung durch Solar-Wasserstoff

Solarthermische Anlagen mit ca. 350 MW wurden bereits in den USA in Kalifornien in der Mohawiwüste betrieben (Bild 35) (Lippke [1994]).

Das Ziel

Solarthermische Stromerzeugung hat große Chancen.

Das Ziel ist die Weiterentwicklung einer bereits erprobten Technologie. Dies erfordert Verbundforschung der beteiligten Unternehmen.

Die Argumente:

Konzentration solarer Kraftwerkstechnologie auf den bayerischen Industriestandort

Synergieeffekte kompetenter Partner

neue Zukunftstechnologie für den Export



*Solarthermischer Kraftwerkskomplex
Kramer Junction USA (5 x 30 MW)*

Industrielle Beteiligung: Flagsol Flachglas Solartechnik GmbH, Schott Rohrglas, Tinox.
Quelle: TINOX, Gesellschaft für Energieforschung und Entwicklung, Winzererstr. 138, 80797 München.

Bild 35: Solarthermischer Kraftwerkskomplex

Im Institut für Wärme- und Brennstofftechnik der TU-Braunschweig wird ein Gas- und Dampfturbinenkraftwerk mit Einbindung von Solarwärme entwickelt. Dabei wird der sonst wegen der begrenzten Gasturbineneintrittstemperatur notwendige hohe Luftüberschuß reduziert und durch eingespritztes Wasser ersetzt, das mittels Solarwärme verdampft wird. Diese Verdampfung findet in Rohren im Brennpunkt von Parabolrinnen-Solarkollektoren statt, d.h., es genügen niedrig konzentrierende Spiegel; unter Umständen könnten sogar nur entsprechend beschichtete Rohre verwendet werden. (Bild 36)

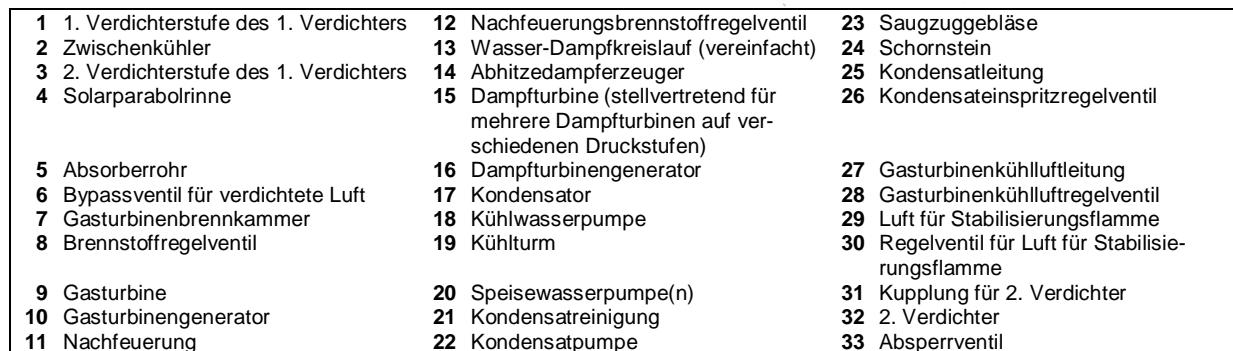


Bild 36: Eine Solar- und Niedertemperaturwärme-Kombianlage als Blockdiagramm.

Nachdem man in Deutschland nach einem ersten – vielleicht nicht ganz unbeabsichtigtem – Mißerfolg mit der GROWIAN – Große Wind Anlage - längere Zeit die Entwicklung von Windkraftanlagen insbesondere den Dänen überlassen hat, hat man in den letzten Jahren wieder aufgeholt. Die Fa. Vestas ist derzeit dabei, die Serienproduktion von 2 MW-Anlagen aufzunehmen (Flügeldurchmesser 80m, Turmhöhe 109 m). Die Fa. Enercon entwickelt eine Windmühle mit 4,5 MW (Flügeldurchmesser 102 m, Turmhöhe 120 m). In Braunschweig beschäftigen sich die Fa. Ventis und TU-Institute mit Windenergie.

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die technischen Potentiale für Wärme und Strom aus regenerativen Energiequellen, die durchaus beachtliche Prozentsätze des Verbrauchs darstellen, ja den Verbrauch decken könnten – allerdings zu zum Teil sehr hohen Preisen wie in Tabelle 6 angegeben.

Wärme	Technisches Potential in PJ/a	Strom	Technisches Potential in TWh/a
Solarthermie (Dächer u. Freiflächen)	288 – 4945	Photovoltaik	129 – 647
Dächer	608 – 920	Dächer	40 – 120
		Freiflächen	179 – 527
Biomasse		Wind	13 – 117
fest:		$v_W = 6,5 \text{ m/s}, 10\text{m}$	2,1 – 5,4
Restholz	100 – 270	$v_W = 5,5 \text{ m/s}, 10\text{m}$	16,6 – 23,2
		$v_W = 4,5 \text{ m/s}, 10\text{m}$	44,3 – 99,1
Stroh	84 – 108	Offshore	237
Energiepflanzen	430 – 840		
flüssig:	64 – 602	Wasserkraft	21 – 35
gasförmig:		< 100 kW	1,04
Gülle, Mist	65 – 81	100 – 500 kW	1,02
		500 – 1000 kW	0,65
		>1000 kW	23
Geothermie	380	$1 \text{ TWh} = 3,6 \text{ PJ}$ $1 \text{ a} = 8760 \text{ h}$ $1 \frac{\text{TWh}}{\text{a}} = 114 \text{ MW}$ $1 \frac{\text{PJ}}{\text{a}} = 31,7 \text{ MW}$	
hydrothermal	40 – 2000		
untiefe Nutzung	120 – 940		

Quelle: S. Semke, P. Markewitz (Jülich): Kosten und Potentiale in Deutschland, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48.Jg (1998) Heft 11.

Tabelle 5: Technische Potentiale in Deutschland
(Primärenergieverbrauch < 15 000 PJ/a)

Strom	Zeitraum	Stromgestehungskosten in DM/kWh	
Photovoltaik	Gegenwart	0,9 - 2,54	
	> 2020	0,44 - 1,0	
Dächer	Gegenwart	1,44 - 2,54	
	>2020	0,44 - 1,0	
Freiflächen	Gegenwart	0,67 - 1,61	
	> 2020	0,59 - 0,88	
Solarthermie (Hochtemperatur)			
Rinnenkollektoren	Gegenwart	0,23 - 0,62	
	> 2000	0,19 - 0,25	
Solar Tower	> 2000	0,16 - 0,27	
Dish Stirling	Gegenwart	1,12 - 1,70	
Hochtemperatur- Solarthermie/ HGÜ	> 2020	0,14 - 0,2	
Wind			
a) 150 kW - 1,5 MW. volkswirtschaftlich:			
$v_w = 6,5$ m/s, 10m		0,06 - 0,12	
$v_w = 5,5$ m/s, 10m		0,08 - 0,18	
$v_w = 4,5$ m/s, 10m		0,11 - 0,27	
b) 600 kW betriebswirtschaftlich			
$v_w = 6,0$ m/s, 30m		0,12 - 0,19	
Wasserkraft			
< 100 kW		0,19 - 0,34	
100 - 500 kW		0,13 - 0,26	
500 - 1000 kW		0,08 - 0,16	
Biomasse (fest)			
Zusatzfeuerung		0,11	
Einzelfeuerung		0,24	
Wärme	Zeitraum	Brennstoffkosten DM/GJ	Wärmeerzeugungskosten DM /GJ
Solarthermie	Gegenwart		34 - 117
	> 2020		20,4 - 37
Biomasse fest:			
Restholz		9 - 27	14 - 76
Stroh		4 - 27	24 - 83
Energiepflanzen		10 - 49	31 - 83
flüssig:			46 - 80
Öl		41 - 49	28 - 32
RME		47	
Alkohol			70 - 81
gasförmig:			
Biogas (Gülle, Mist)			11 - 238
Geothermie			
oberflächennah			23 - 64
hydrothermal			13 - 62
tiefe Sonden			27 - 42
Revitalisierung			15 - 26

Quelle: S. Semke, P. Markewitz (Jülich): Kosten und Potentiale in Deutschland, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48.Jg (1998) Heft 11.

Tabelle 6: Strom- und Wärmeerzeugungskosten.

Die Entwicklung auf dem traditionsreichen Kraftwerkssektor ist schon seit Anfang des letzten Jahrhunderts durch eine stetige Zunahme des Wirkungsgrades gekennzeichnet, wie dies im Bild 37 dargestellt ist. Allerdings wird eine weitere Wirkungsgradsteigerung, die im wesentlichen durch höhere Temperaturen und Drücke (600° C, 350 bar, 52% werden derzeit geplant) erreicht wird, immer schwieriger, da sie vor allem von der Materialentwicklung und den Kosten des Materials abhängt.

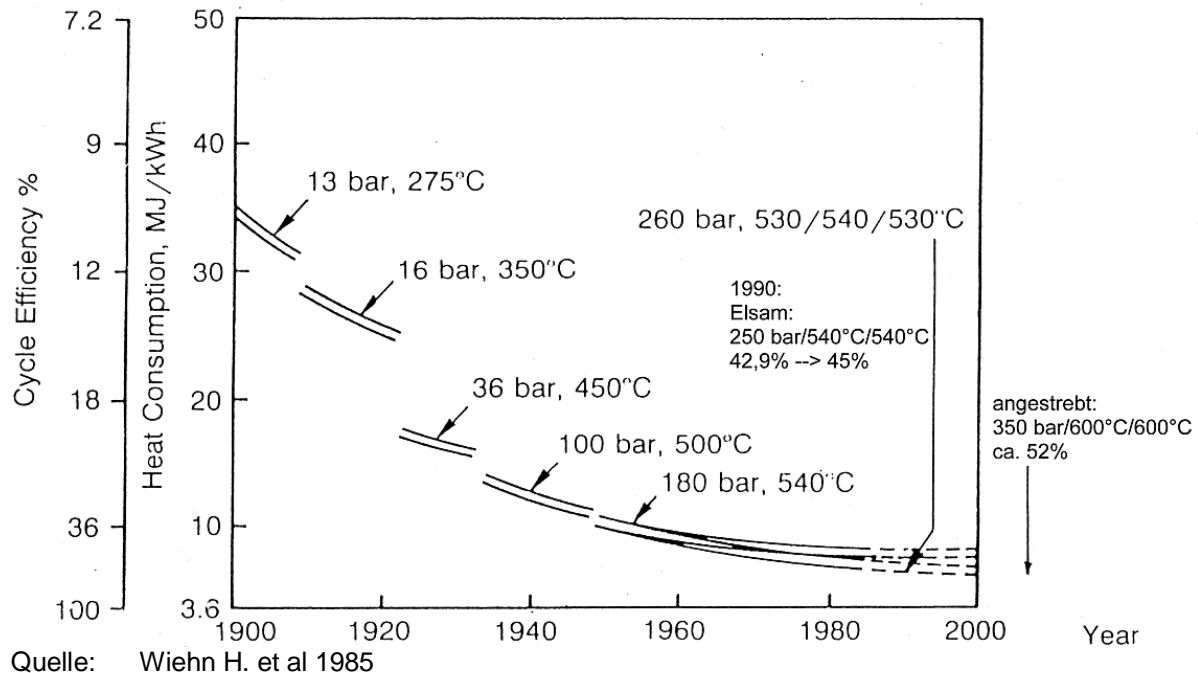
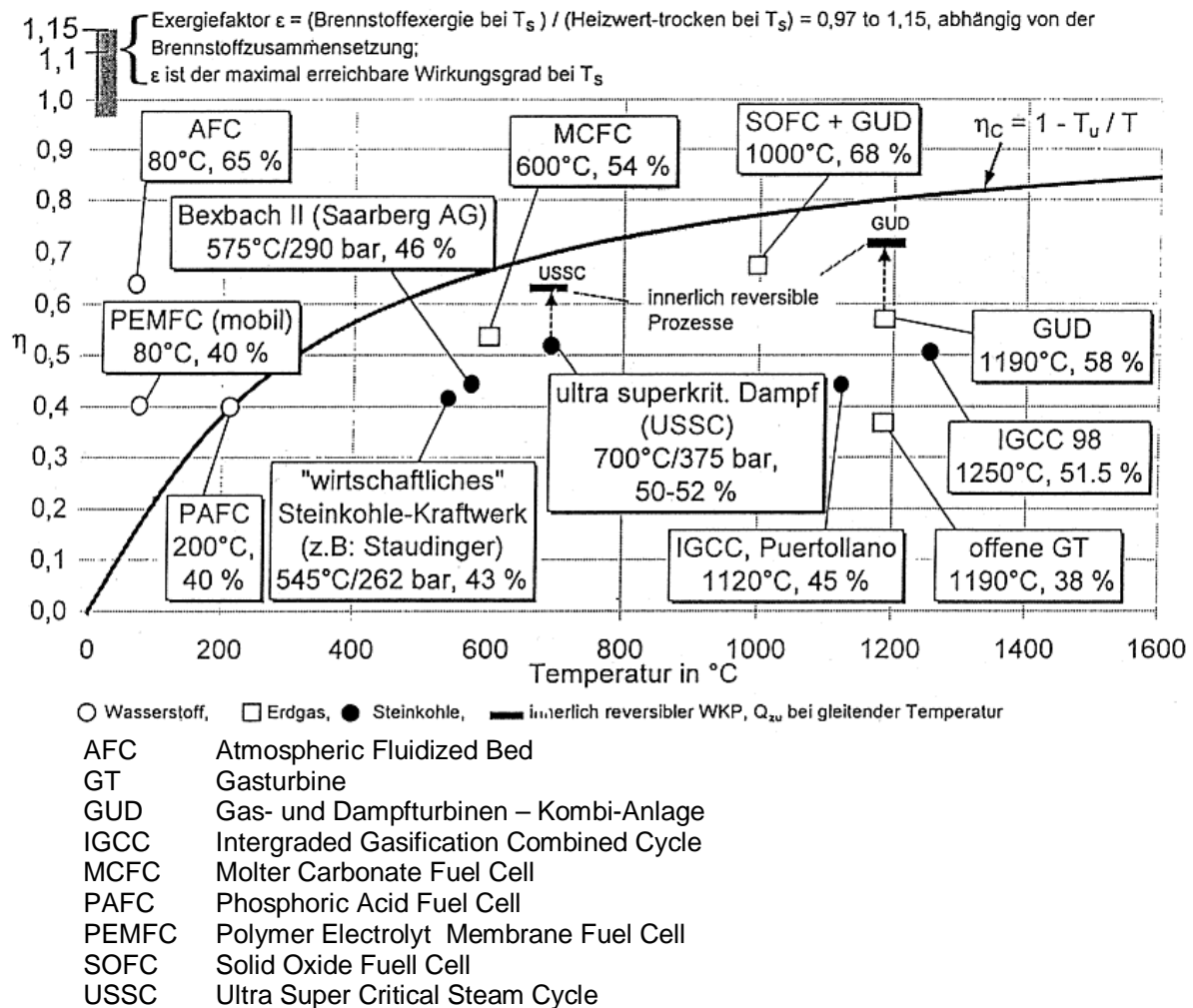


Bild 37: Entwicklung auf dem traditionsreichen Kraftwerkssektor.

Bild 38 gibt einen Überblick über die Wirkungsgrade verschiedener möglicher Prozesse in der Kraftwerkstechnik in Abhängigkeit von der oberen Prozeßtemperatur und die Carnot-Wirkungsgradlinie. Diese Linie gilt nur für die Umwandlung von Wärme in elektrische Energie und natürlich nicht für die direkte Umwandlung von chemischer Energie in elektrische Energie in den Brennstoffzellen.



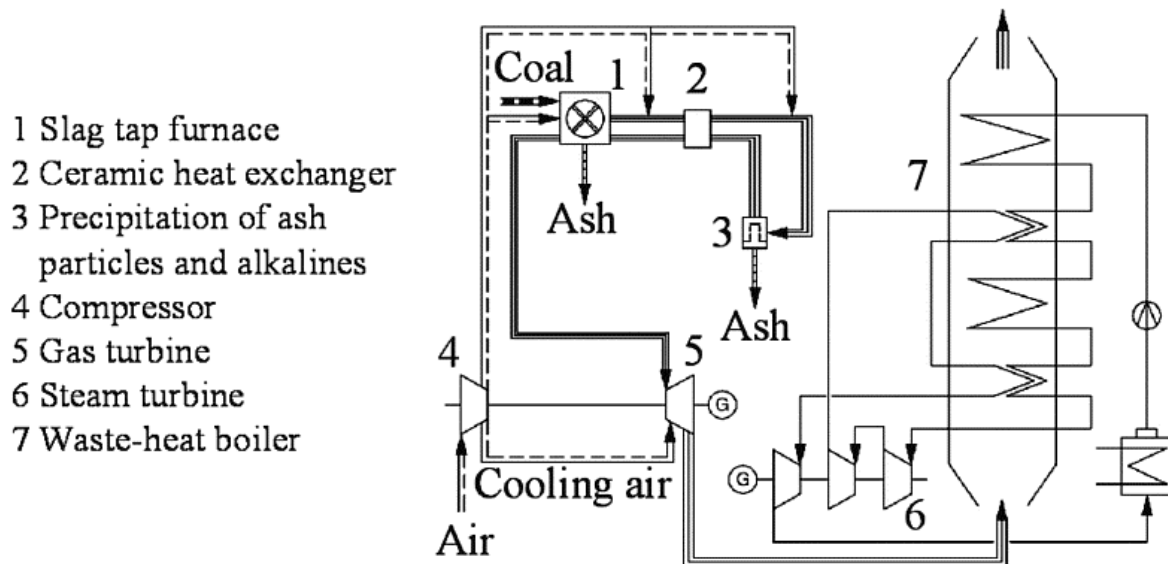
Quelle: R. Pruscek BWK Bd. 51 (1999) Nr. 5/6

Bild 38: Prozesse in der Kraftwerkstechnik in Abhängigkeit von der oberen Prozeßtemperatur.

Man erkennt, daß die höchsten Wirkungsgrade bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe mit Gas- und Dampfturbinenkraftwerken (GUD) zu erreichen sind (derzeit 58%), was aber die Verwendung von sehr hochwertigen Brennstoffen wie Erdgas und Heizöl bedingt. Der Einsatz von Kohle für derartige Anlagen ist nur über die Kohlevergasung und Reinigung des Vergasungsgases möglich, was allerdings zu Wirkungsgradeinbußen von ca. 10% führt (IGCC).

Eine GuD-Anlage mit Kohlenstaubdruckfeuerungen scheitert bisher an der mangelhaften Reinigung des Kohlegases von Aschepartikeln und Alkalien bei Gasturbineintrittstemperatur. Auf diesem Gebiet ist auch das Institut für Wärme- und Brennstofftechnik der TU Braunschweig tätig mit einem Vorschlag für einen Kreislauf, dessen Schaltschema in Bild 39 dargestellt ist und eine Abkühlung der unge reinigten Rauchgase in einem Wärmetauscher, Reinigung der abgekühlten Rauchgase mittels keramischer Filterkerzen auf einem niedrigen Temperaturniveau (ca. 800-900° C) und die Wiederaufheizung des gereinigten Rauchgases in dem erwähnten Wärmetauscher und in der als Schmelzkammer ausgebildeten Kohlenstaubdruckfeuerung vorsieht.

Diese Versuchsanlage wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie gefördert. Das Institut für keramische Komponenten im Maschinenbau IKKM der RWTH Aachen bearbeitet die Materialseite des Forschungsvorhabens, und aus der Industrie sind beteiligt: Alstom, Saint-Gobain Industrial Ceramics, e.on und 3M.

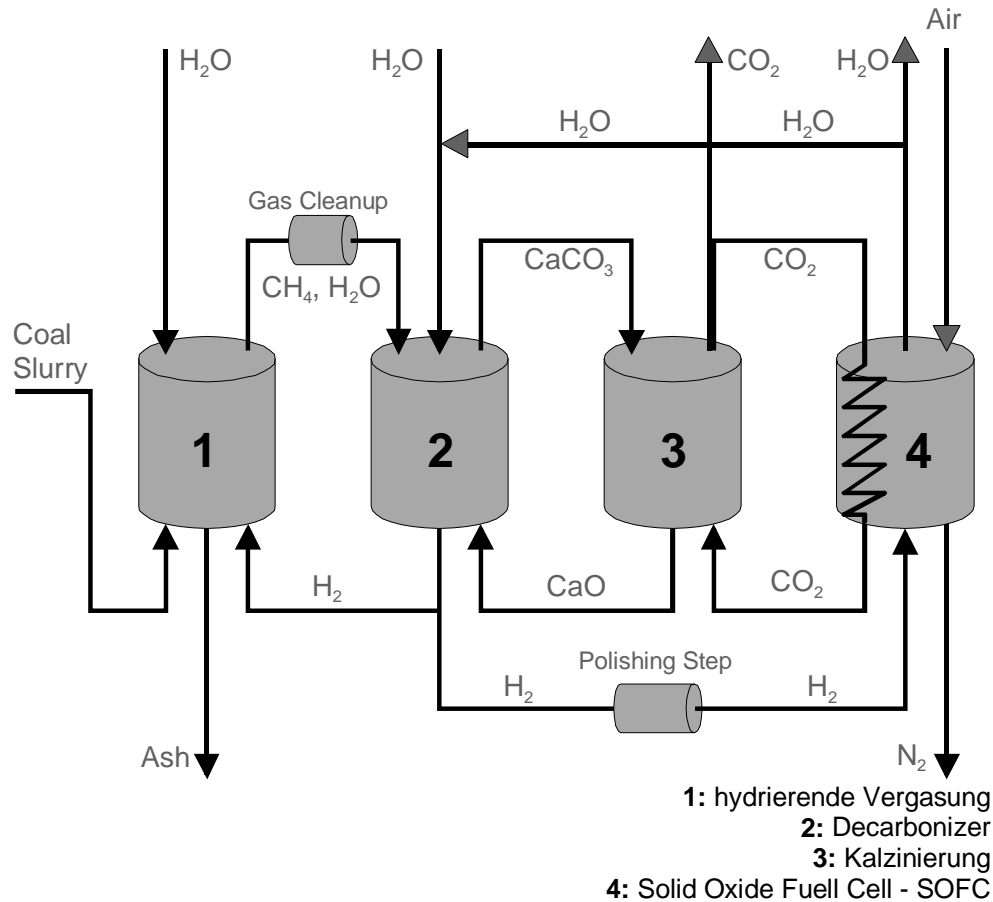


Quelle: Ehlers C., Leithner R. 2000

Bild 39: PPCCC Pressurized Pulverized Coal Combustion Combined Cycle - Concept with a high temperature heat exchanger

Kraftwerke können natürlich auf verschiedene Art und Weise (CO_2 -Abscheidung aus Rauchgasen bisheriger Kraftwerkstypen (Dampfprozeß, Gas- und Dampfturbine), Kohlevergasung mit Luft oder Sauerstoff, Reformer und Shift-Prozeß etc.) so gebaut werden, daß das CO_2 als abgetrennter Stoffstrom das Kraftwerk verläßt und verwendet (nur zu einem geringen Teil möglich) oder deponiert werden kann. Einen Überblick über die verschiedenen Methoden bei den verschiedenen Kraftwerkstypen gibt die Dissertation von G. Göttlicher [1999] an der Universität GH Essen: Energetik der Kohlendioxidrückhaltung in Kraftwerken. Die Kosten werden auf 2 bis 5 Pfennig/kWh Strom abgeschätzt, die sich zu den Stromgestehungskosten von 7 bis 20 Pfennig/kWh addieren.

Gasifier : $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$, $H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$
 Decarbonizer : $CH_4 + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 4H_2$, $CO_2 + CaO \rightarrow CaCO_3$
 Calciner : $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$
 Fuel Cell : $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$



Hydrogen carries heat of combustion of coal plus heat of carbonation of CaO to the fuel cell.

This amounts to 150% of the heat content of the coal. Solid oxide fuel cell pays back the „energy loan“ with thermodynamically unavoidable waste heat.

Efficiency of fuel cell in terms of heat content of coal is boosted by factor 1.5. Theoretical efficiency is 93%.

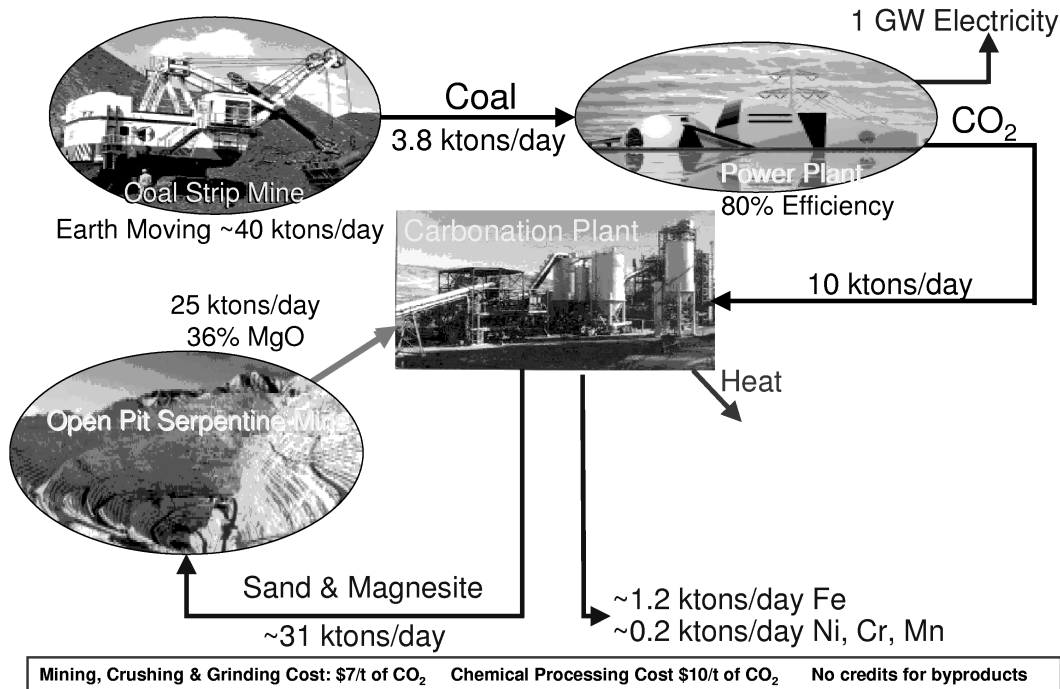
Project lowest cost hydrogen on the market.

Quelle: Lackner 2000

Bild 40: Zero Emission Coal Power Plant

Einen völlig neuen Prozeß aus vier bekannten Teilprozessen zeigt das Bild 40. Das in einer hydrierenden Vergasung entstandene Methan wird im Entkohler (Decarbonizer) durch eine Reaktion mit CaO und Wasser in vier Wasserstoffmoleküle umgewandelt, wobei das CO_2 an das CaO angelagert wird und dadurch Kalkstein $CaCO_3$ entsteht. Zwei Wasserstoffmoleküle werden für die hydrierende Vergasung verbraucht, die anderen beiden in einer Solid Oxide Fuel Cell – SOFC in Strom umgewandelt und die dabei entstehende Abwärme für die Kalzinierung des $CaCO_3$ verwendet, wobei das Temperaturniveau der Abwärme der SOFC für die Kalzinierung ausreichend hoch ist ($>800^\circ C$). Als weiterer Schritt wird bei diesem in den Los Alamos National Laboratories von Dr. Klaus Lackner (2000) entwickelten Prozeß, die Deponierung des CO_2 als Karbonat vorgeschlagen; dazu wird Serpentin oder Olivin ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) verwendet, ein Mineral, das in für die gesamten fossilen Brennstoffe ausreichenden Mengen weltweit vorkommt und das mit CO_2 zu Magnesiumkarbonat und Quarzsand reagiert. Diese Reaktion läuft auch – allerdings sehr langsam – in der Natur ab. Da bei dieser Reaktion auch noch 60 bis 180 kJ/mol Energie frei werden, stellt das Karbonat das niedrigste Energieniveau dar, aus dem das CO_2 nur durch Energiezufuhr wieder freigesetzt werden kann (z. B. beim Abtauchen von Kontinentalschollen in den Erdmantel über Vulkane); es ist somit die sicherste CO_2 -Deponierung, die überhaupt möglich ist. Der gesamte Prozeß, der

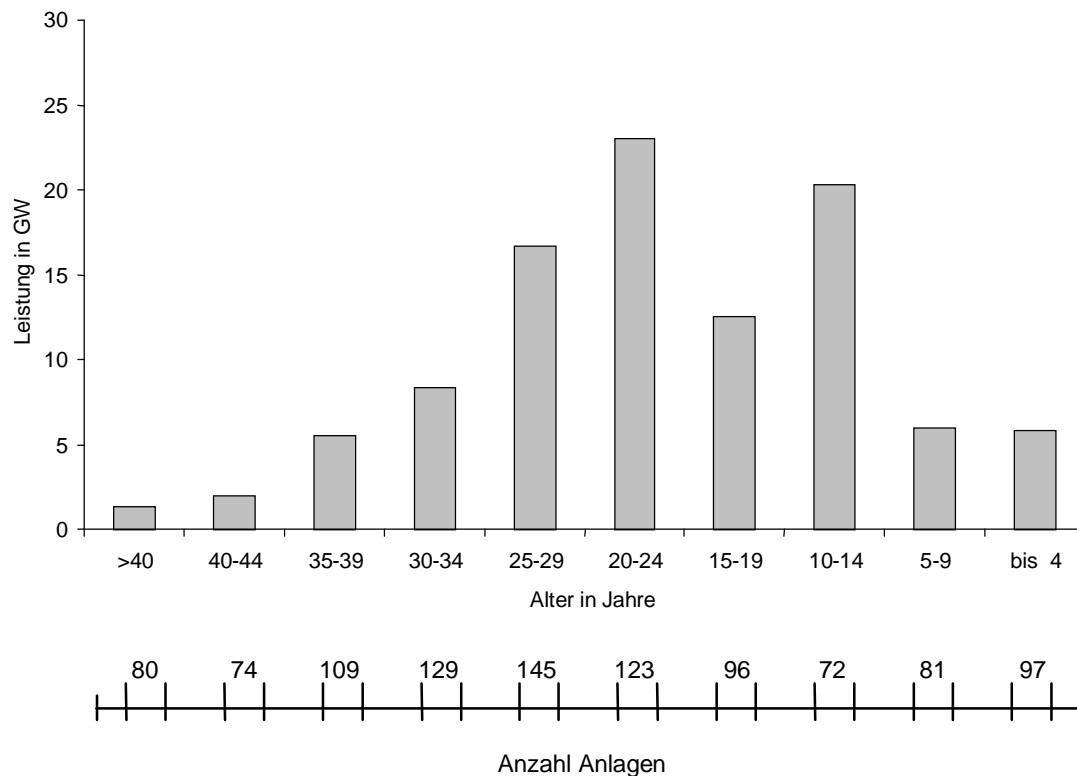
auch Zero Emission Coal Power Plant genannt wird, ist auf Bild 41 dargestellt und hat einen theoretischen Wirkungsgrad von 93%. Praktisch sollten 80% erreichbar sein, was allerdings hohe Umwandlungsgrade in den einzelnen Prozeßstufen voraussetzt, die noch in der Praxis überprüft werden müssen. Die aus Bild 41 erkennbaren riesigen zu bewältigenden Stoffströme stellen ein weiteres Problem dar, das praktisch gelöst werden muß.



Quelle: Lackner 2000

Bild 41: Zero Emission Coal Power Plant with Mineral Disposal of CO₂

Aus Bild 42 ist die Altersverteilung des deutschen Kraftwerksparks zu erkennen. Es ist abzusehen, daß in zehn Jahren größere Teile dieses Kraftwerksparks zur Erneuerung anstehen. Es wäre daher sinnvoll, **jetzt** mit der Forschung und Entwicklung modernster Kraftwerkstypen zu beginnen, um sie in zehn Jahren bauen zu können. Zugleich fördert eine solche Vorgangsweise auch den Export von Kraftwerkstechnologie, bei der bisher Deutschland mit an der Spitze stand, und sichert damit Arbeitsplätze bei den Kraftwerksherstellern.



Quelle: VGB-Jahresbericht 1998/99

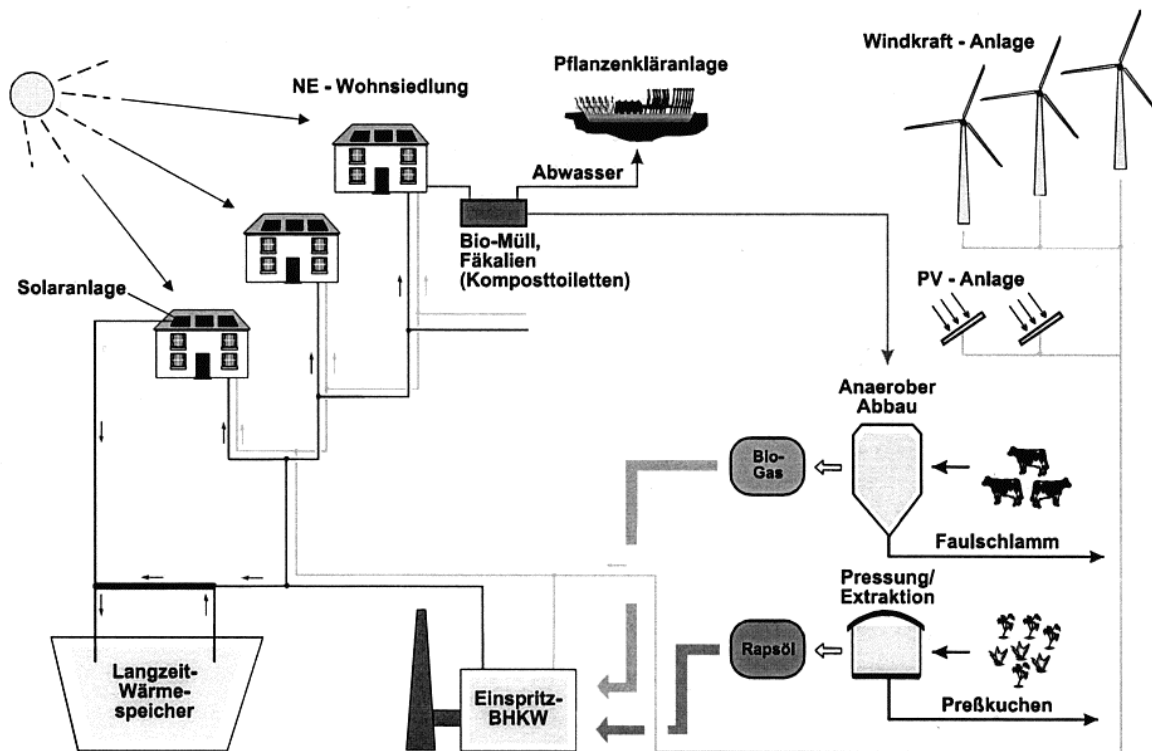
Bild 42: Altersstruktur der installierten Wärmekraftwerksleistungen bei VGB-Mitgliedern in der Bundesrepublik Deutschland. Stand: Ende 1998

In den Haushalten wird der Großteil der Energie für Heizung und Warmwasserbereitung verwendet. Bei der Heizung konkurrieren

- eine verbesserte Isolierung (Mängel sind einfach mit Wärmebildkameras zu detektieren) einschließlich Zwangsbelüftung (Aufschluß über Undichtigkeiten gibt ein Blower-Door-Test) mit Wärmetausch zwischen Ab- und Zuluft mit
- der Verwendung regenerativer Energien (passive Solarenergienutzung, Solarthermische Anlage etc. und beide mit
- der Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.

Normal isolierte Häuser verbrauchen für die Heizung ca. 200 kWh/m²a und Niedrigenergiehäuser weniger als 40 kWh/m²a. Würden Nullenergiehäuser, von denen auch eines für die Umgebung von Braunschweig am Institut für Wärme- und Brennstofftechnik der TU Braunschweig im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht wurde, zunehmen, wäre natürlich Fernwärme auch aus Wärmekraftkopplung überflüssig. Die Fa. Solvis in Braunschweig ist seit über 10 Jahren mit ihren solarthermischen Anlagen erfolgreich auf dem Markt für Privathäuser und Schwimmbäder.

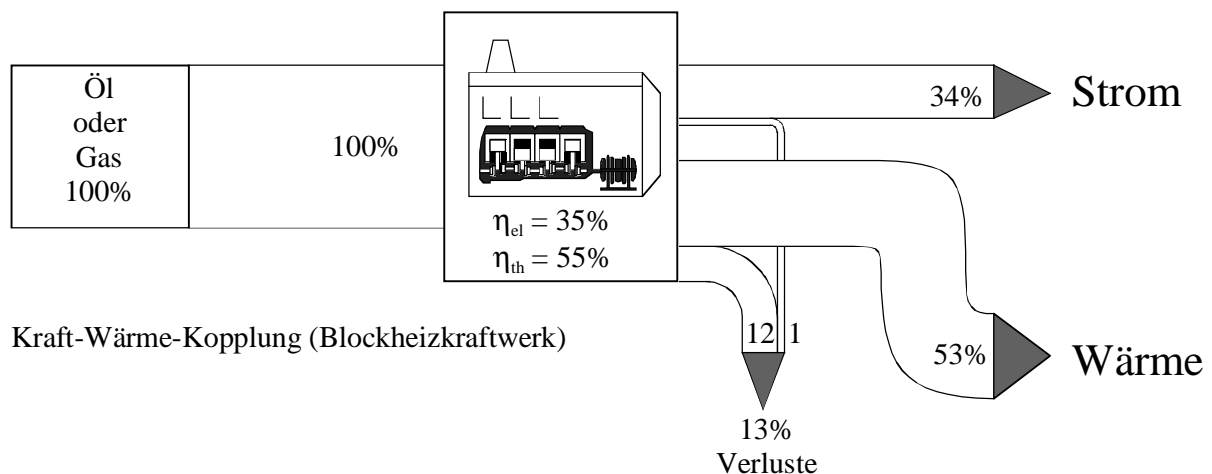
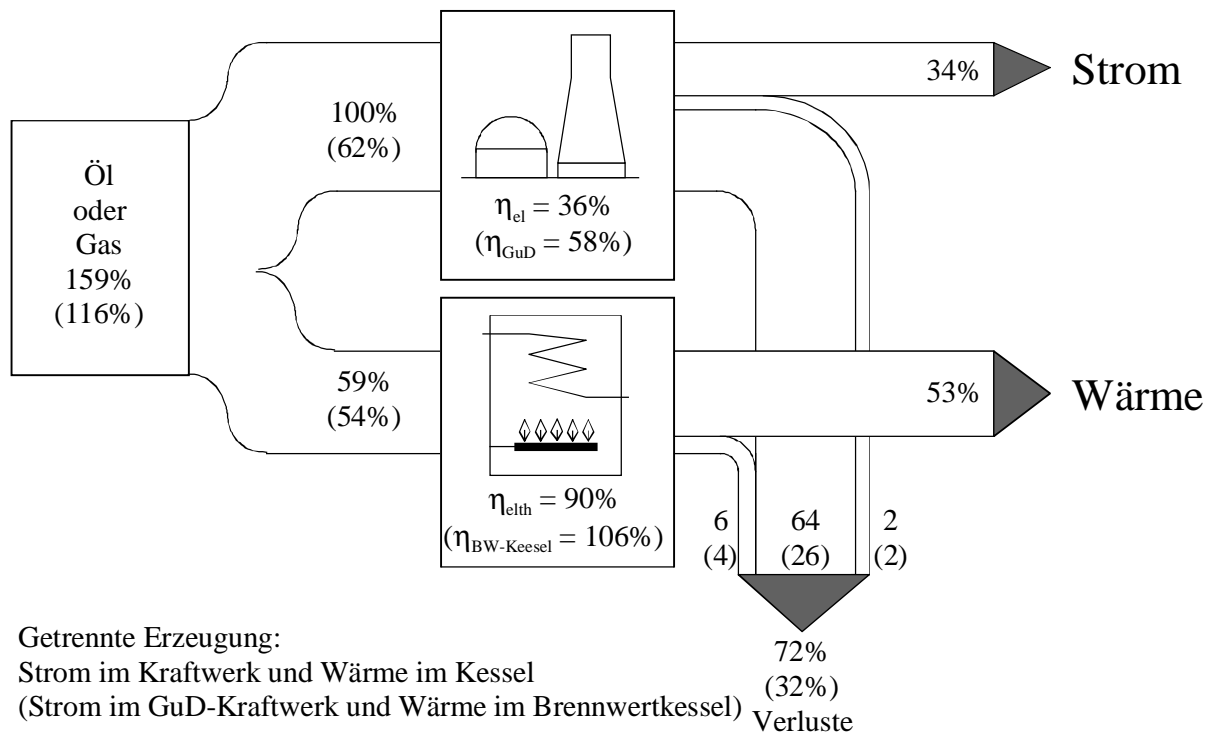
Insgesamt ist es keine triviale Aufgabe, die Energieversorgungsstruktur unter Einbeziehung aller möglichen Energiequellen wie Sonne, Wind, Biomasse etc. - wie in Bild 43 gezeigt - zu optimieren unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs von Energieangebot und -nachfrage; dazu sind auch Energiespeicher erforderlich.



Quelle: Inst. für Gebäude- und Solartechnik, Lars Kühl

Bild 43: Ausführungsbeispiel einer CO₂-neutralen Energieversorgung von Wohnsiedlungen

Der Vorteil der Wärmekraftkopplung schrumpft aber auch bereits, wenn man Erdgas in einem GuD-Kraftwerk mit 58% Wirkungsgrad verstromt und Brennwertheizkessel verwendet, wie in Bild 44 dargestellt.



$$(1 - 100\% / 159\%) \cdot 100 = 37\% \text{ Primärenergieeinsparung}$$

Quelle: ASUE Arbeitsgemeinschaft für Sparsamen und Umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. 1996

Bild 44: Primärenergieeinsparung durch ein BHKW gegenüber getrennter Strom- und Wärmeerzeugung.

Die Tabelle 7 gibt einen Überblick über Personal- und Energiekostenanteile in verschiedenen Branchen an den betrieblichen Gesamtkosten.

	Personal- kosten*	Energie- kosten*
Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden	51,2	8,0
Verarbeitendes Gewerbe insgesamt	24,3	1,9
Ernährungsgewerbe	14,6	1,6
Textilgewerbe	25,7	2,7
Bekleidungsgewerbe	20,8	0,6
Papiergewerbe	22,4	4,6
Chemische Industrie	23,9	3,3
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	27,0	5,2
Metallerzeugung und -bearbeitung	24,1	7,5
Maschinenbau	32,2	1,0
Herstellung von Büromaschinen	21,5	0,3
Medizin-, Meß- Regeltechnik, Optik	37,0	0,8
Kfz-Industrie	22,9	0,9
Baugewerbe	35,0	1,2

*Anteil in Prozent an den betrieblichen Gesamtkosten

Quelle: Die Zeit Nr. 47/1998, Statistisches Bundesamt

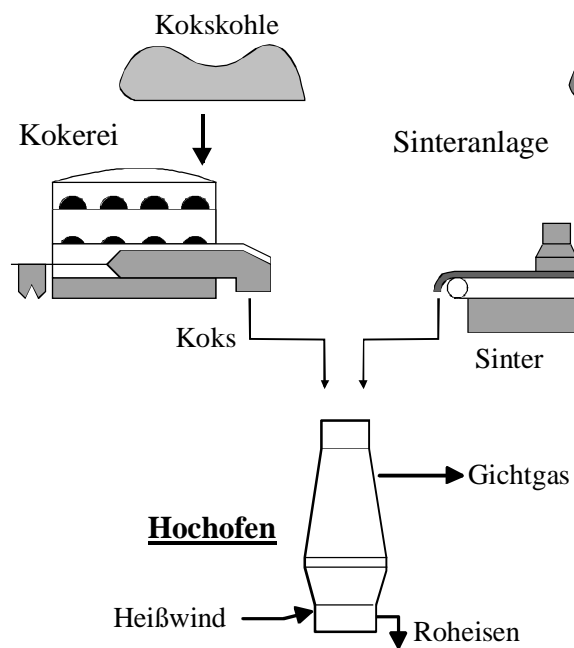
Tabelle 7: Personal- und Energiekostenanteile an den betrieblichen Gesamtkosten

Natürlich ist nicht zu erwarten, daß bei geringen Energiekostenanteilen große Anstrengungen zur weiteren Senkung unternommen werden; insbesondere dann nicht, wenn die Energieeinsparung Einfluß auf die Produktqualität haben könnte.

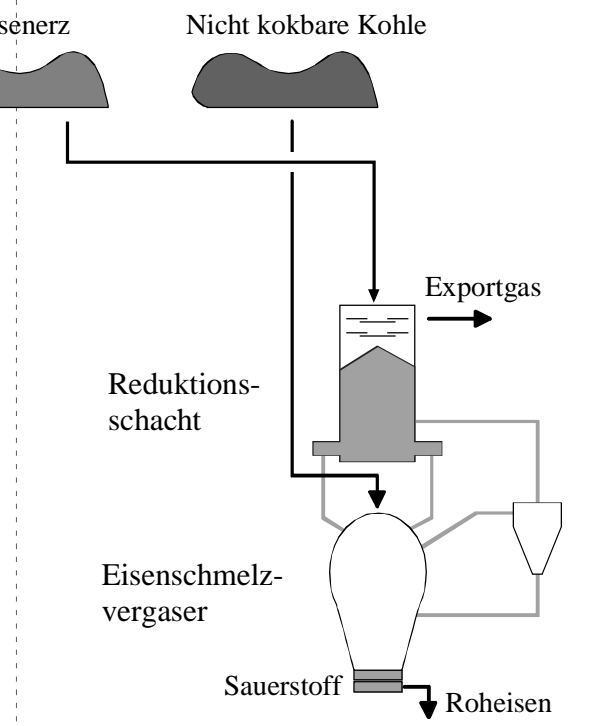
Trotzdem sinkt der spezifische Energieverbrauch laufend (siehe auch Bild 29), weil

- neue, einfachere Prozesse entwickelt werden, z. B. Corex-Verfahren statt Hochofen zur Roheisenherstellung (Bilder 45 und 46) wobei auch noch die Emissionen reduziert werden,
- Abwärme im Prozeß selbst oder in benachbarten Anlagen (Pinch-Analyse, Bodo Linhoff 1982) oder zum Heizen oder in seltenen Fällen auch zur Stromerzeugung genutzt wird, oder
- durch eine bessere Steuerung und Regelung, nicht selten verbunden mit dem Einsatz von Strom als räumlich und zeitlich sehr gut dosierbarer Energieform (gefördert z. B. auch durch die η -Wettbewerbe der Energieversorgungsunternehmen) Primärenergie eingespart wird.

Konventionelle Hochofenroute

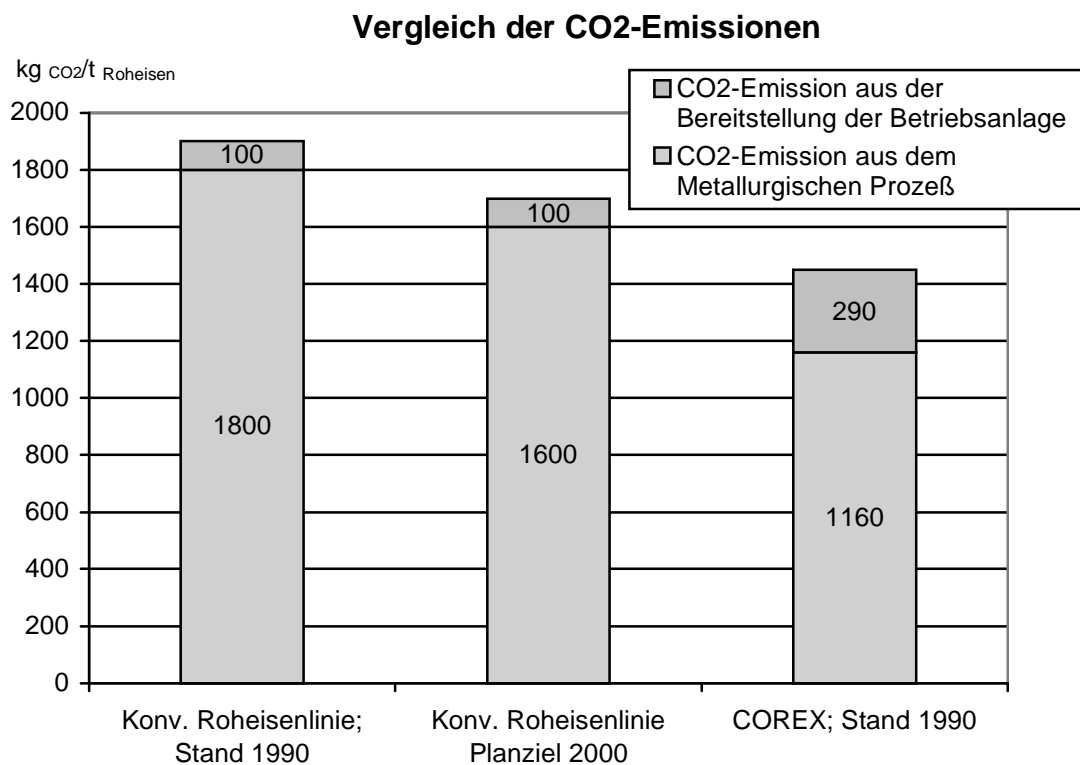
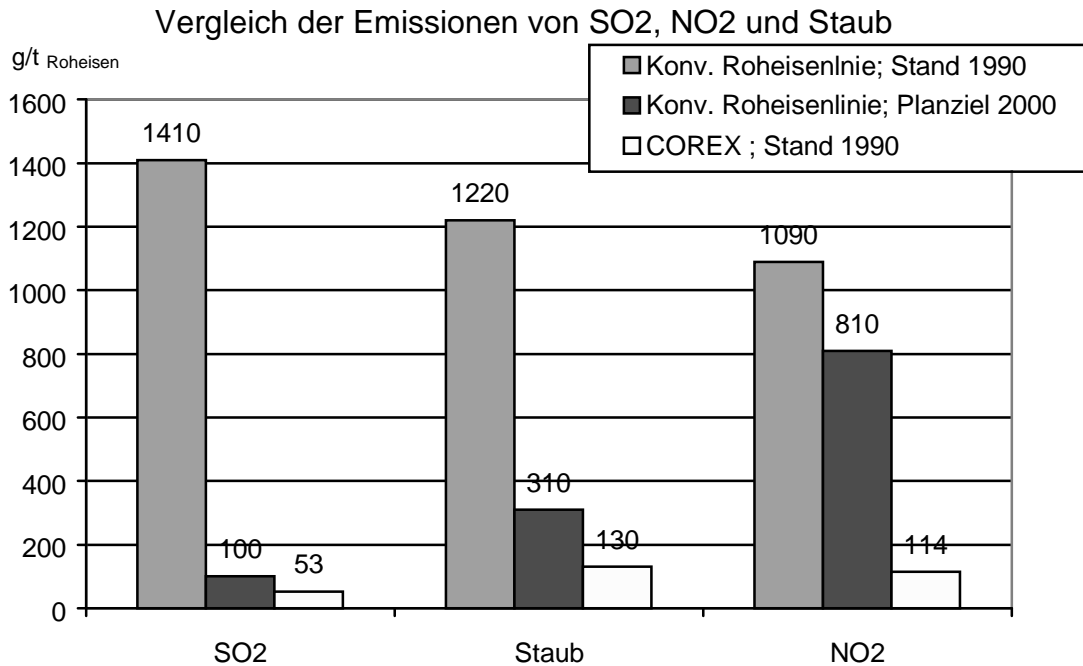


COREX® - Route



Quelle: Koch P.; Leonard G., Siuka D., Wurm J., Harbison E.: Clevere Kombination: Kohlevergasung, Roheisenerzeugung und GuD-Kraftwerk, Energie Spektrum 4/95, S.23ff.

Bild 45: Vergleich der Erzeugungsrouten zur Roheisenherstellung.

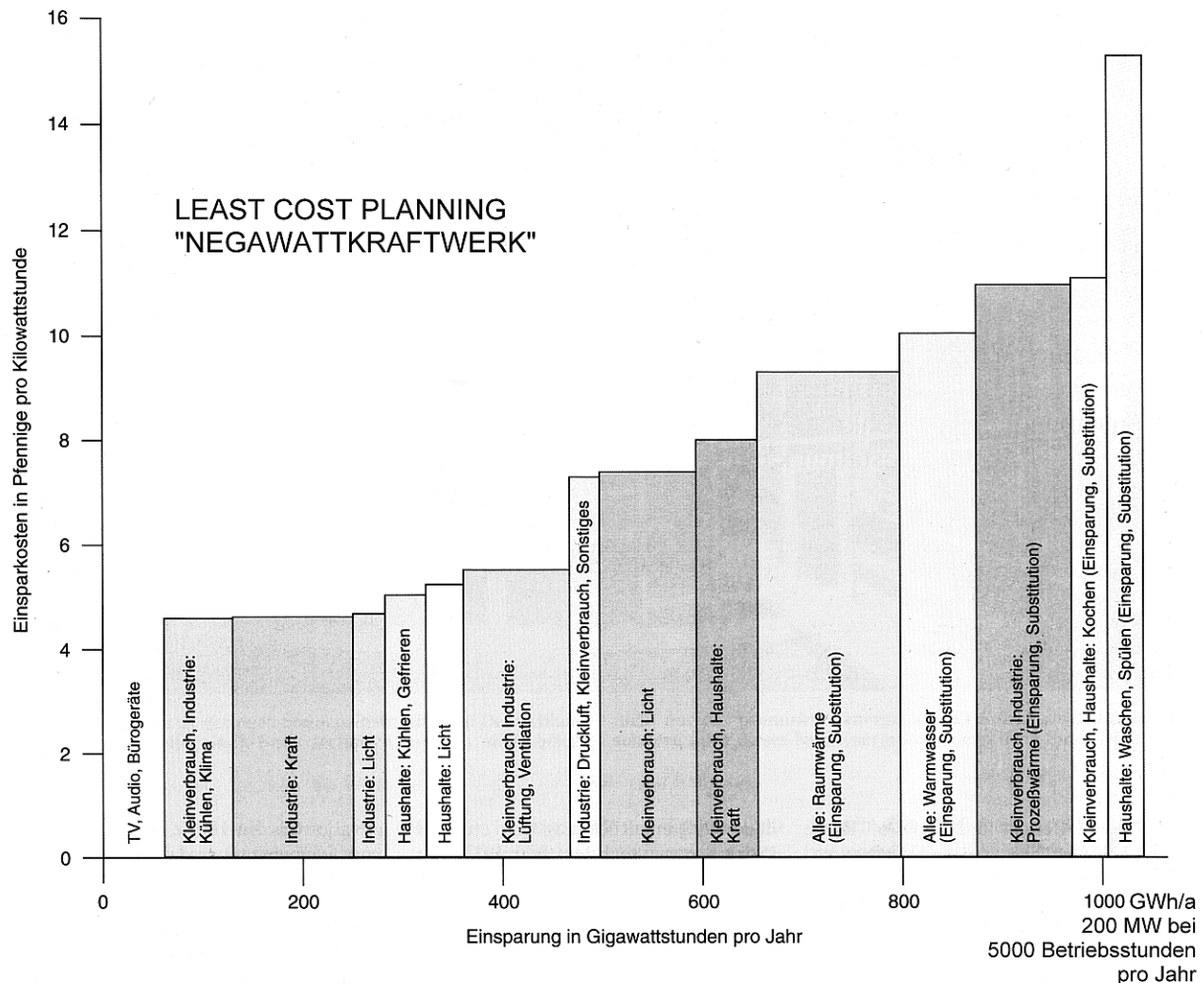


Quelle: Koch P.; Leonard G., Siuka D., Wurm J., Harbison E.: Clevere Kombination: Kohlevergasung, Roheisenerzeugung und GuD-Kraftwerk, Energie Spektrum 4/95, S. 23ff

Bild 46: Vergleich der Emission von SO₂, NO₂, Staub und CO₂.

Neben der erwähnten Pinch-Analyse ist die exergoökonomische Optimierung (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M. 1996) zu empfehlen, bei der den Exergieströmen (Anteile der Energieströmen, die in jede andere Energieform umgewandelt werden können), Kostenströme zugeordnet werden und durch Kennzahlen festgestellt werden kann, welche Komponenten des Prozesses Kostenfaktoren sind und welche thermodynamisch besonders schlecht sind; bei diesen lohnt sich Forschung und Entwicklung besonders.

Hinter dem „Least Cost Planning“ (Bild 47) steckt die Überlegung, daß es für einen Stromabnehmer langfristig billiger sein könnte, stromsparende Geräte (z. B. Lampen, Kühlschränke etc.) einzusetzen und dabei mehr zu investieren und auch für die Beratung zu bezahlen, statt dauernd billigen Strom zu bezahlen. Wenn diese Beratung durch die EVU's (Energieversorgungsunternehmen) geleistet wird, könnten diese dem Beratungsaufwand auf den Strompreis aufschlagen. Dies steht aber im Widerspruch zur Liberalisierung des Strommarkts, und eigentlich müßte jeder Kunde selbst ein Interesse daran haben, Einsparpotentiale zu nutzen.



Quelle: Hennicke P., Spektrum der Wissenschaft, Dossier Klima und Energie; S.117. ISSN 0947-7934

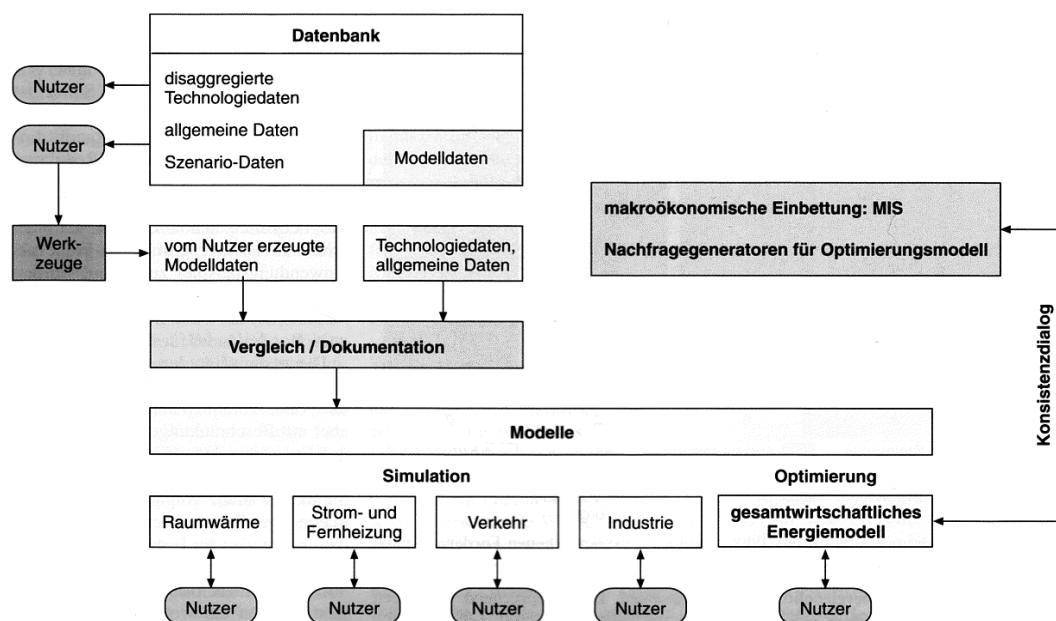
Bild 47: Angebotskurve der Stromeinsparung und –substitution in Hannover.

Die Energieversorgungsunternehmen versuchen bereits durch sogenannte Eta-Wettbewerbe ähnliche Effekte zu erzielen – natürlich mit dem besonderen Aspekt Energieeinsparung durch vermehrten Stromverbrauch zu erzielen.

Einen Überblick über Einsparpotentiale und branchenspezifische Energieverbräuche geben

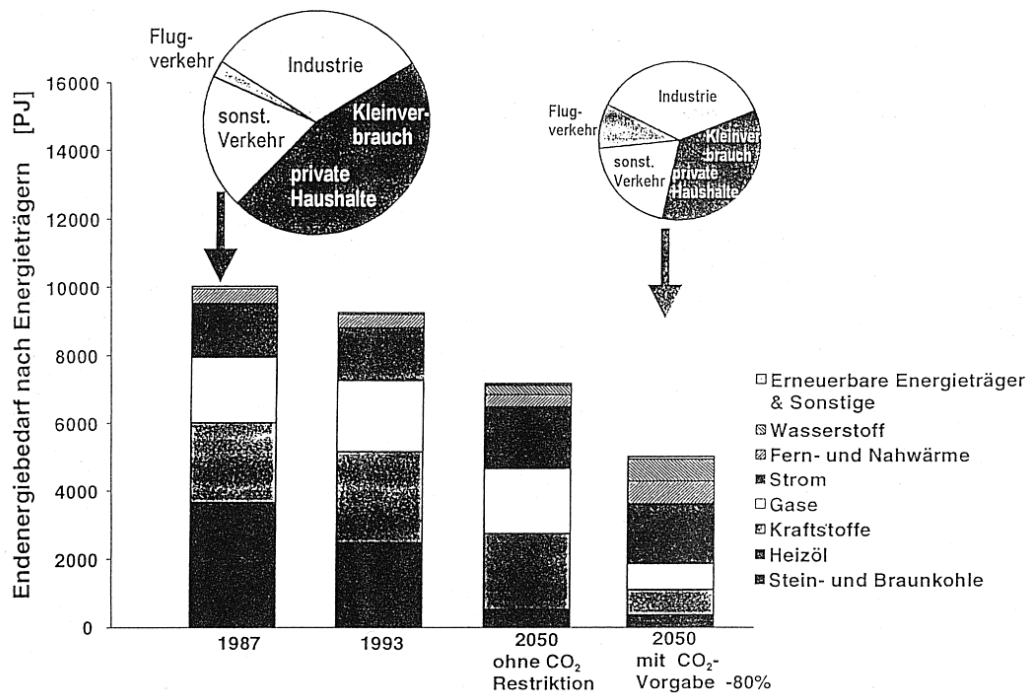
- **Beste Verfügbare Technik Blätter (Best Available Technique Reference Documents – BREF)** basierend auf der IVU-Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung Richtlinie der EG vom 30.10.1996, herausgegeben vom **Umweltbundesamt** bzw. vom **European Integrated Pollution Prevention and Control – EIPPC-Bureau** in Sevilla)
- **IKARUS** (Programmsystem des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung in Karlsruhe, siehe Bild 48)

und zahlreiche Veröffentlichungen etc.: z.B. Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie (Dechema 1990), VDI-Richtlinie 3930 „Abgaskühlung und –erwärmung“.

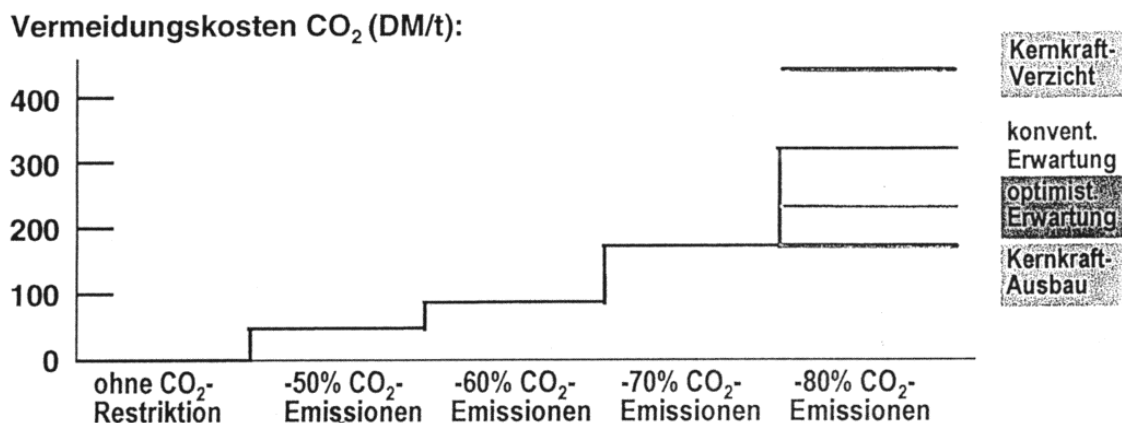


Quelle: Hacke J. Fetal., Spektrum der Wissenschaft, Dossier Klima und Energie; S.89.

Bild 48: Das IKARUS-Instrumentarium beinhaltet Datenmaterial sowie Simulations- und Optimierungsmodelle, um Strategien zur Reduktion von Klimagas-Emissionen aus der Energieerzeugung und Energienutzung auf ihre Realisierbarkeit hin zu prüfen.

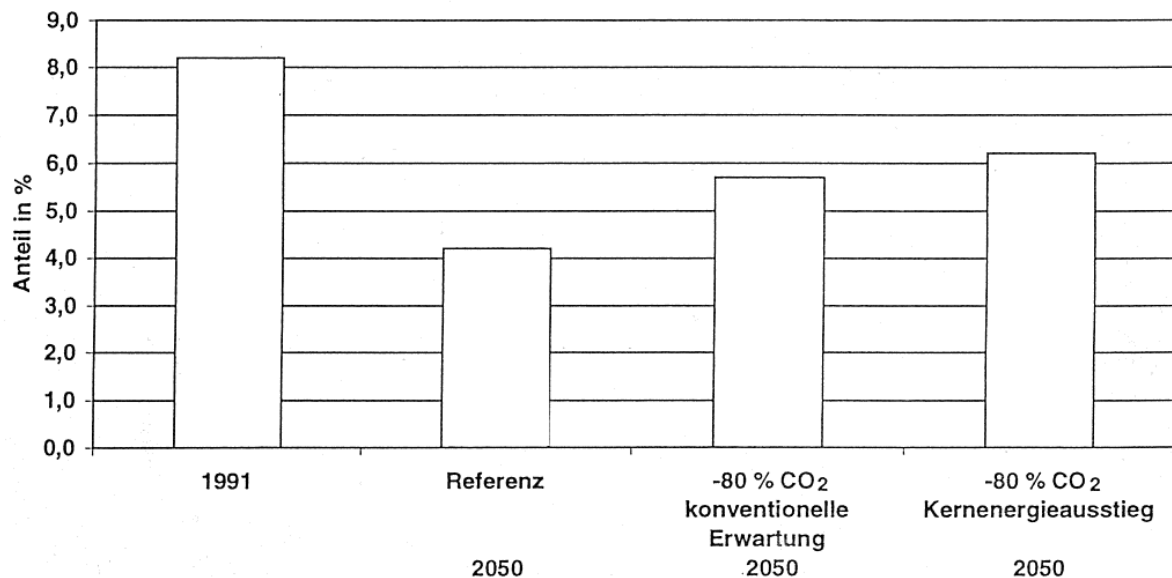


Quelle: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), Karlsruhe.
Bild 49: Energiebedarfsprognosen



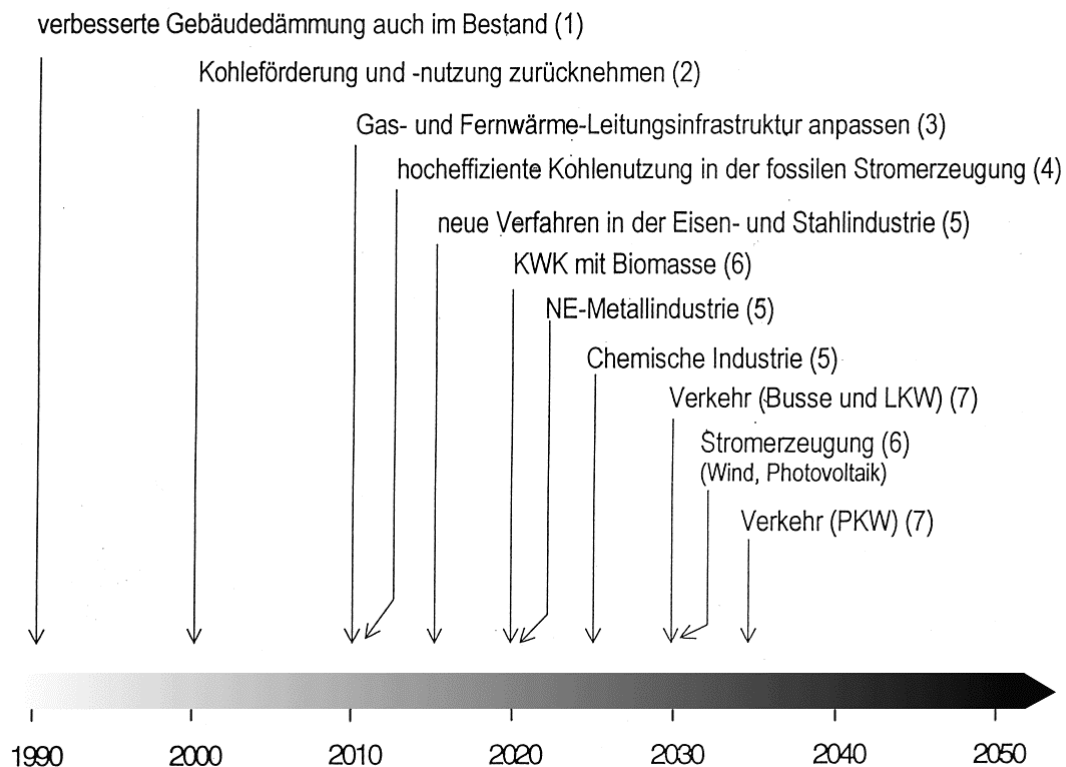
Quelle: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), Karlsruhe.
Bild 50: Vermeidungskostenprognosen

Mit Hilfe von IKARUS wurden die Energiebedarfsprognosen von Bild 49, die Vermeidungskostenprognosen DM/tCO₂ in Bild 50 und die Gesamtkostenprognosen des Energiewirtschaftssystems bezogen auf das Bruttoinlandprodukt (Bild 51) erstellt. Man erkennt, daß erwartet wird, daß durch Einsparung und Umstellungen innerhalb von 50 Jahren selbst bei 80% CO₂-Emissionsminderung die Kosten für die Volkswirtschaft tragbar wären. Allerdings müßten die vorausgesetzten Umstellungen nach Bild 52 auch rechtzeitig in Angriff genommen und die geschätzten Ziele erreicht werden.



Quelle: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), Karlsruhe.

Bild 51: Gesamtkosten des Energiewirtschaftssystems bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt



Quelle: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), Karlsruhe.

Bild 52: Vorausgesetzten Umstellungen zur CO₂-Emissionsminderung.

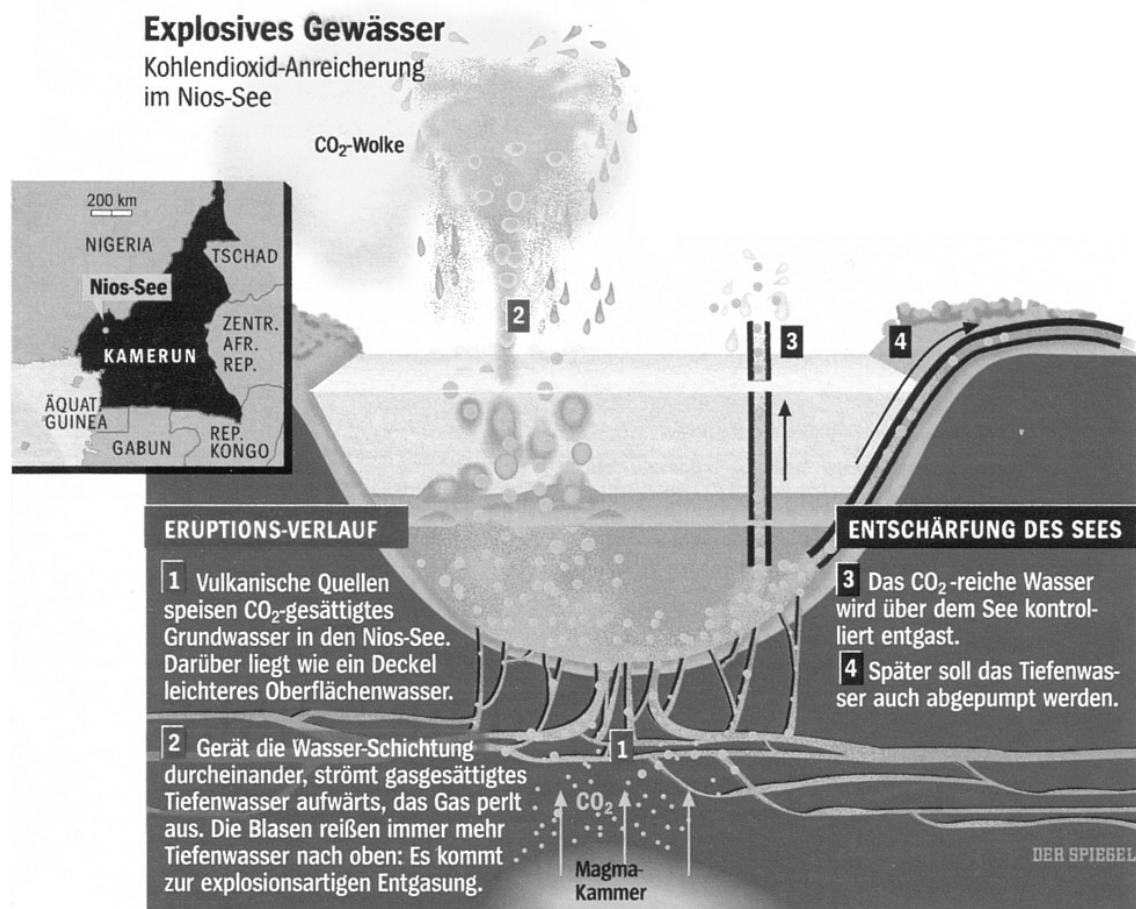
Methoden der CO₂-Entsorgung

CO₂ kann entsorgt werden durch

- Verpressen in Erdöl-, Erdgas- oder Kohlelagerstätten oder Salzstöcken
- CO₂-Verflüssigung und Einleitung in die Tiefsee
- Aufforstung, Intensivierung der Landwirtschaft, d.h., Produktion und Deponierung von Biomasse (neueste Entwicklung: Meeresdüngung mit Eisensulfat und dadurch Algenblüte, die Kohlenstoff in die Tiefseesedimente absenken sollen, Spiegel 45/2000 S.306)
- Karbonatbildung aus Serpentin und Oliven (Bild 41)

Die letzte Methode ist dabei – wie erwähnt – die absolut sichere, weil das gebildete Magnesiumkarbonat die tiefste Energiestufe darstellt. Bei der Deponierung des CO₂ in Biomasse besteht eine Unsicherheit über Umfang und Dauer der Entsorgung, bei der Einleitung in die Tiefsee könnten Umweltschäden im Meer auftreten oder das CO₂ nach vielen Jahren vielleicht emporsprudeln wie beim Nios-See (Bild 53), was für Menschen und Tiere tödlich sein kann.

Ähnliches kann natürlich passieren, wenn die Öl-, Gas-, Kohlelagerstätten oder die Salzstöcke in größerem Umfang undicht werden. Insgesamt bedeutet die CO₂-Entsorgung einen zusätzlichen Aufwand und vermutlich meist nur eine mehr oder weniger lange Zwischenspeicherung.



Quelle: Bethge Ph. Spiegel 48/1999, S.290

Bild 53: CO₂-Anreicherung im Nios-See.

Zusammenfassung

„**Klimakatastrophen**“ gab es schon wiederholt in der Erdgeschichte; große und schnelle Klimaänderungen auch in der jüngsten Vergangenheit.

Klimaänderungen können eine Chance sein – keine Eiszeit, sondern Warmzeit.

Auch ohne Bedrohung durch eine Klimakatastrophe ist der sparsame Umgang mit Ressourcen wie z. B. fossilen Brennstoffen (Öl, Erdgas, Kohle) ökologisch und ökonomisch sinnvoll.

Des halb ist die **Verbesserung** der **Wirkungsgrade** der **Energieumwandlungsprozesse** und die **Verminderung** des **Energieeinsatzes** bei **Produktionsprozessen**, im **Verkehr** und im **Haushalt** (vor allem Heizung und Klimatisierung) sinnvoll – **Forschung und Entwicklung** müssen weiter gefördert werden **bei allen Energieträgern**.

Bei allen Vorgängen sind die **sozialen Auswirkungen** zu berücksichtigen. Insbesondere müssen die **Chancen der Entwicklungsländer drastisch verbessert werden**.

Eine „**Diktatur**“ der „**Klimabesorgten**“ - auch das Schüren **von Zukunftsängsten** – ist **abzulehnen**.

Literatur

Aronis N., Leithner R., Witkowski A.: „Combined Cycle with Integrated Low Temperature Heat, Int. Conf. on Efficiency, Cost, Optimisation, Simulation and Environmental Aspects of Energy and Process Systems-ECOS 2000, Enschede, Niederlande 5.-7.7.2000

Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M. 1996: Thermal Design & Optimization, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-58467-3

Bethge Ph.: Sprudelwasser des Todes, Der Spiegel 48/1999, S.290

Birg, H. 1992: Dynamik des Weltbevölkerungswachstums – Ursachen, Folgen, Handlungsbedarf, VDI-Bericht 1016 und VDI-GET-Jahrbuch 1993

Butler P. (Hrsg.): Economist, die Welt in Zahlen, Carl Ueberreuter Wien 1991 ISBN 3-8000-3385-2

Calder, Nigel: The Manic Sun. Pilkington Press, Northamptonshire, 1997

Crutzen Paul J.: Atmosphäre, Klima, Umwelt; Spektrum der Wissenschaft 1990, ISBN 3-89330-752-4

Dechema, GVC und SATW 1990: Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie – Verpflichtung und Praxisbeispiele, ISBN 3-926959-21-5

Ehlers C., Leithner R.: „Pressurized Pulverized Coal Combustion Combined Cycle with High Temperature Heat Exchange“ 25th Int. Techn. Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, Clearwater, Florida, USA 6.-9.3.2000, ISBN 0-93 2066-25-1

Eisenbeiß Gerd: Perspektiven für die Energie der Zukunft, Spektrum der Wissenschaft, Dossier, Klima und Energie, 1996 ISSN 0947-7934

Frakes (1997): Climates throughout geologic time. 310 S. Elsevier Amsterdam

Göttlicher, G. 1999: Energetik der Kohlendioxidrückhaltung in Kraftwerken, Dissertation 1999, Universität GH Essen ,Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 6 Nr.421, ISBN 3-18-342106-2

Graßl, H., Klingholz, R. 1990: Wir Klimamacher – Ausweg aus dem globalen Treibhaus, S. Fischer ISBN 3-10-0286-05-7

Hake J. F., Stein G., Wagner H.F.: Klimagas-Reduktionsstrategien und ihre Beurteilung, Spektrum der Wissenschaft, Dossier, Klima und Energie, 1996 ISSN 0947-7934

Hanel RA, Conrath BJ, Kunde VG, Prabhakara C., Revah I. Salomonson VV, Wolford G. (1972): The Nimbus-4 infrared spectroscopy experiment, 1. Calibrated infrared thermal emission spectra. J. Geophys Res. 11: 2629-2641

Hays, J. D., Imbrie, J., Shackleton, N. J. (1976): Variation in Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages. Science 194: 1121-1132

Hennicke, Peter (1996): Der Bau von Einsparkkraftwerken mit Least-Cost Planning, in: Spektrum der Wissenschaft, Dossier: Klima und Energie, ISSN 0947-7934

Huch, M., Warnecke, G., Germann, K. Hrsgb. 2001: Klimazeugnisse der Erdgeschichte – Perspektiven für die Zukunft, Springer Verlag, ISBN 3-540-67421-7

Jacoby Henry D., Prinn Ronald G.: Unsicherheiten in der politischen Analyse von Klimaänderungen, Spektrum der Wissenschaft, Dossier, Klima und Energie, 1996 ISSN 0947-7934

Joussaume S. (1996) : Klima Gestern. Heute. Morgen. Springer-Verlag Berlin

Koch P., Leonhard G., Siuka D., Wurm J., Harbison E.: Clevere Kombination: Kohlevergasung, Roheisenerzeugung und GuD-Kraftwerk, Energie Spektrum 4/95, S.23ff

Kübler K.: Energiepolitik und Klimaschutz in Europa (Von Kyoto nach Buenos Aires), Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48 Jg. (1998) Heft 11, S.696ff.

Labitzke K., Van Loon H (1988): Associations between the 11-year solar cycle, the QBO and the atmosphere, Part I The troposphere and stratosphere in the northern hemisphere winter. J Atmosph Terrestr Phys 50: S.197 - 206

Lackner, K., Ziock, H.-J. 2000: Zero Emission Coal, Proceedings of the 25th Internat. Conference on Coal Utilization and Fuel Systems, Mach 6-9, 2000, Clearwater, USA, ISBN No. 0-932066-25-1

Linnhoff, B. 1982: Process integration for the efficient use of energy; The Institution of Chemical Engineers; Rugby 1982

Lippke, F. 1994: Numerische Simulation der Absorberdynamik von Parabolrinnen-Solarkraftwerken mit direkter Dampferzeugung, VDI Fortschrittsberichte Reihe 6: Energieerzeugung Nr. 307, ISBN 3-18-330706-5

Luttwak, Edward: Turbokapitalismus. Gewinner und Verlierer der Globalisierung, Europa-Verlag 1999, ISBN: 3-203-79549-3

Malabre Alfred L. jr.: Ungehörte Propheten, Schäffer-Poeschel, Verlag Stuttgart 1994, ISBN 3-7910-0809-9

Maxeiner, D. 2000: Der Spiegel 45/2000

Maxeiner, D., Miersch, M. 1998: Lexikon der Öko-Irrtümer, Eichborn ISBN 3-8218-0586-2

Meadows D. 1973: Die Grenzen des Wachstums: Bericht des „Club of Rome“ zur Lage der Menschheit, Reinbek: Rowolt-Verlag 1973, ISBN 3-499-16825-1

Pruschek R. 1999: Visionen einer zukünftigen Energieversorgung im BWK – Brennstoff–Wärme–Kraft – Bd.51 (1999) Nr.5/6, S.114-120

Roedel, W. 2000: Physik unserer Umwelt – Die Atmosphäre, Springer ISBN 3-540-67180-3

Roth, R. 1991: Wie genau kennen wir unser Klima, VGB-Kraftwerkstechnik 71 (1991) Heft 9, Seite 865-870

Semke S., Markewitz P.: Kosten und Potentiale in Deutschland, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48.Jg. (1998) Heft 11

Solanki, S. 2000: Braunschweiger Zeitung 25.11.2000

Stanley, Steven M. 1988: Krisen der Evolution – Artensterben in der Erdgeschichte, Spektrum der Wissenschaft, ISBN 3-922508-89-8

Stein G., Wagner H.-F.: Das IKARUS-Projekt: Klimaschutz in Deutschland Strategien für 2000–2020, Springer 1999, ISBN 3-540-65375-9

Traufetter G.: Tiefseegrab für Treibhausgase, Der Spiegel 45/2000 S.306

VDI-Nachrichten 19.01.2001, Nr. 3, S.19: Warum es im Eishaus plötzlich warm wird, Störungen der Atlantikströmung führen zu Klima-Kapriolen

Veizer, J. 2000: Nature Vol. 408, 7.12.2000

Veizer, J. 2001: VDI-Nachrichten Nr. 2, 19.01.2001

VGB-Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V., Jahresbericht 1998/1999

Wagner, U.: Mit Energie CO₂-Emissionen senken! in BWK – Brennstoff-Wärme-Kraft Bd.51 (1999) Nr.5/6

Warnecke G. (1997): Meteorologie und Umwelt. Eine Einführung. 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin

Wesp, U. 1992: Ist unser Klima noch zu retten? Bastei, Lübbe ISBN 3-404-60317-6

Wiehn H. et al (1985): Trends und Lösungen im Internationalen Dampferzeugerbau VGB-Kraftwerkstechnik 65 (12) S.1126-1132