

Der Treibhauseffekt

Prof. Dr. Horst-Joachim Lüdecke,
Dr. Rainer Link
Jan. 2010

Einleitung

Der „Treibhauseffekt“ der Erdatmosphäre ist eine unglückliche Bezeichnung. Die Atmosphäre hat nämlich kein festes Dach, weder aus Glas noch aus Gas. Durch eigene Beobachtung hat jeder diese Erkenntnis vielfach schon selbst gewonnen: Jede sommerliche Quellwolke steigt viele Kilometer ungebremst in die Höhe, einschließlich aller enthaltenen Gase. In einem Gärtnertriebhaus ist der weit überwiegende Erwärmungs-Effekt dagegen durch die „Luft-Falle“ oder Konvektionsverhinderung verursacht, die es in der Atmosphäre nicht geben kann. Die durch die Gewächshaus-Heizung, oder, am Tage, die durch die Sonne erwärmte Luft kann im Glashaus nicht entweichen. Jedoch - öffnet bzw. lüftet man das Glasdach, so fällt die Temperatur in kurzer Zeit auf das Temperaturniveau der Außenluft.

Dennoch gibt es auch eine Gemeinsamkeit: Gewächshaus-Glas und die sog. Treibhausgase, wie Wasserdampf, CO₂, Methan usw. absorbieren einen Teil der vom Erdboden ausgehenden Infrarot-Strahlung. Die dabei auf die Moleküle der Treibhausgase übertragene Energie verbleibt fast vollständig als Wärme in der Atmosphäre und trägt somit zu ihrer Temperaturerhöhung bei. Im Detail wird dabei die Schwingungsenergie eines angeregten Treibhausgasmoleküls durch Stöße auf die Stickstoff- und Sauerstoffmoleküle der Atmosphäre übertragen. Auf Grund dieser Stöße sowie der Dopplerverschiebung sind die Spektrallinien der Atmosphäre stark verbreitert. Sie ergeben durch Überlappung ein weitgehend zusammenhängendes Spektrum.

Der Effekt der atmosphärischen „Strahlen-Falle“, der im Gewächshaus gegenüber dem Luftfallen-Effekt außerordentlich gering ist, wird in der Physik als **Treibhaus-Effekt der Atmosphäre** bezeichnet. Wie groß ist er?

Energiebilanzen und natürlicher Treibhauseffekt der Erdatmosphäre

Die Sonne strahlt an ihrer Oberfläche die unvorstellbare Leistung von $3,8 \cdot 10^{26}$ W ab. Das ergibt bei einem Abstand zur Erde von 150 Millionen km noch eine bei uns außerhalb der Atmosphäre ankommende Leistungsdichte von 1367 W/m^2 . Diese muss mit der Querschnittsfläche $A = R^2 \cdot \pi$ der Erde multipliziert werden, um die von der Erde aufgenommene Sonnenleistung von $1367 \cdot A$ W zu ermitteln, weil die auf die Halbkugel flächendeckende Strahlung zum Rand hin immer größere Winkel zur Oberflächen-Normalen aufweist. Von dieser Leistung wird der Anteil von etwa 30% Erdalbedo sofort in den Weltraum reflektiert und steht der Erde nicht mehr zur Verfügung [1].

Q_E sei umgekehrt die Leistungsdichte der Erdatmosphäre. Dann gehen $4 \cdot A \cdot Q_E$ W Leistung ins Weltall zurück. Dabei wird angenommen, dass Q_E an jedem Ort der Erde gleich ist, was nur näherungsweise zutrifft, da die Abstrahlung am Äquator wesentlich größer ist als an den

Polen. Hinzu kommen jahreszeitliche Änderungen. Im Gleichgewicht von Einstrahlung = Abstrahlung gilt mit der genannten Vereinfachung und dem Erd-Albedofaktor $r = 0,3$

$$1367 \cdot A \cdot (1 - r) = 4 \cdot A \cdot Q_E \quad \text{W}$$

bzw.

$$Q_E = 1367 \cdot (1 - r) / 4 \approx 235 \text{ W/m}^2$$

Q_E wird nun in das Strahlungsgesetz eines schwarzen Körpers

$$S = \sigma \cdot T^4 \quad (\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4)$$

von Stefan-Boltzmann eingesetzt. Man erhält dann für die Bodentemperatur T der Erde **ohne** Atmosphäre

$$T \approx 255 \text{ K} = -18^\circ\text{C}$$

Die Rechnung ist nur für eine Erde mit perfekt „schwarzer“ Oberfläche gültig, was bedeutet, dass alle auf sie treffende Strahlung absorbiert und nichts reflektiert wird. Ein solcher „Schwarzkörper“ strahlt seine Energie in Form des sog. Planck-Spektrums ab (Abb. 1).

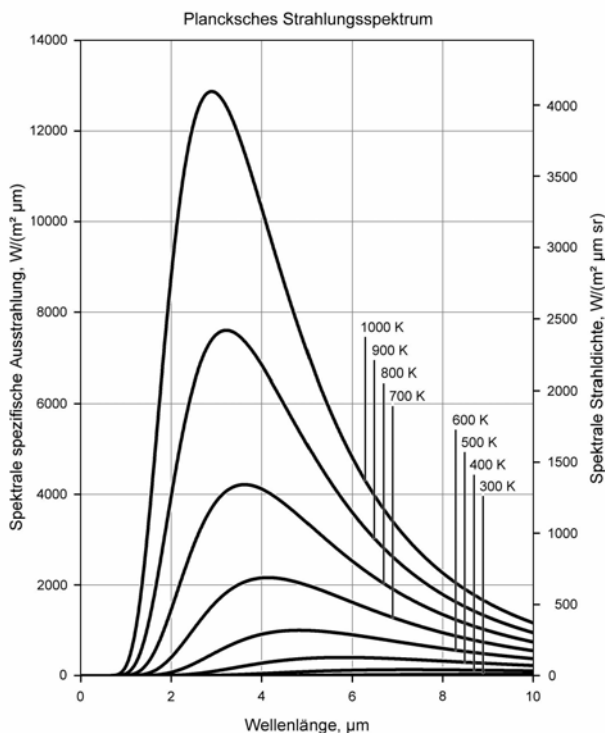


Abb. 1 Die Abstrahlungskurven eines „schwarzen“ Körpers in Abhängigkeit von seiner Temperatur

Integriert man die Planck'sche Strahlungskurve über alle Wellenlängen, erhält man das schon genannte, hier auf den Erdboden angewandte Stefan-Boltzmann-Gesetz.

Die Erde ist kein perfekter schwarzer Körper, für die hier herrschenden Temperaturen trifft diese Näherung aber hinreichend gut zu, was man sofort erkennt, wenn man sich in Abb. 2 die Planck-Strahlungskurve am „langwelligen Schwanz“ und zusammen mit dem von Satelliten gemessenen Abstrahlungsspektrum ansieht [2].

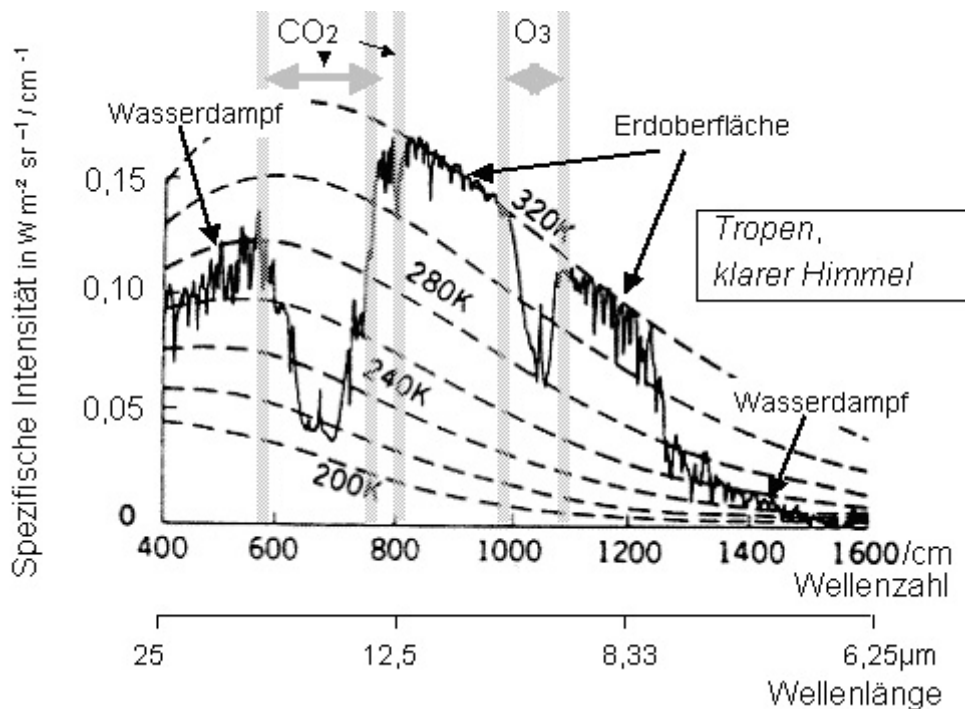


Abb. 2: Von Satelliten gemessene Abstrahlungsspektren der Erdatmosphäre. Die gestrichelten Kurven sind die theoretischen „Schwarzstrahler-Kurven“. Die Wellenlängenbereiche, die von der Erdoberfläche zum Rand der Atmosphäre gelangen, bezeichnet man auch als „offene Fenster“ für die Wärmestrahlung der Erde.

Entsprechend dem oben hergeleiteten $T = -18\text{ °C}$ wäre die Erde ohne Atmosphäre ein einziger Eisblock, auf dem Leben der uns gewohnten Form nicht existieren könnte. Real **gemessen** wird dagegen im Mittel über alle Tages- und Jahreszeiten sowie über alle Erd-Klimazonen die Bodentemperatur von $T \approx 15\text{ °C}$. Abb. 2 liefert ein Beispiel: Hier, in den Tropen, beträgt die gemessene Bodentemperatur $T = 320\text{ K} = 47\text{ °C}$. Die Differenz des real gemessenen Mittelwerts der Bodentemperatur zur oben berechneten Bodentemperatur ohne Atmosphäre, also $15 - (-18) = 33\text{ °C}$, wird durch die Treibhausgase der Erdatmosphäre verursacht und von der Klimaforschung als **natürlicher Treibhauseffekt** bezeichnet.

Die Wirkung der Treibhausgase als **Treibhauseffekt** geht aus Abb. 2 hervor. CO_2 , O_3 und Wasserdampf verhindern die direkte Abstrahlung der Wärmestrahlung von der Erdoberfläche ins Weltall. Die Emission dieser Treibhausgase erfolgt nun aus wesentlich größerer Höhe, Wasserdampf ab 5 km Höhe bei $260\text{ K} = -13\text{ °C}$, CO_2 aus 11 km Höhe bei $220\text{ K} = -53\text{ °C}$ und O_3 aus 3 km Höhe bei $280\text{ K} = 7\text{ °C}$. Da die Abstrahlung durch diese Treibhausgase bei niedrigeren Temperaturen erfolgt und somit gemäß dem Planckschen Strahlungsgesetz eine geringere Energiedichte besitzt als die unblockierte Erdatmosphäre, muss sich die Temperatur auf der Erdoberfläche solange erhöhen, bis zur Einhaltung der Energiebilanz, also des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik, insgesamt wieder 235 W/m^2 in das Weltall im Gleichgewicht zurückgestrahlt werden. Diese Gesetzmäßigkeit ist für die heutige

Konzentration der Treibhausgase bei einer gemittelten Bodentemperatur von $288\text{ K} = 15^\circ\text{C}$ erfüllt.

Weil es für das Verständnis des Treibhauseffekts wichtig ist, sei der Mechanismus nochmals an Hand der Abb. 3 erläutert. Wenn die Konzentration eines Treibhausgases, hier ist CO_2 gemeint, in der Atmosphäre erhöht wird, so verbreitert sich der CO_2 -Absorptions-Trichter wie in Abb. 3 schematisch dargestellt (rot eingezeichnet). Damit fehlen in der gemäß erstem Hauptsatz zu erfüllenden Gesamtbilanz die Energieanteile, die in Abb. 3 zwischen der roten und der alten Trichterkurve liegen. Diese Anteile müssen bilanzmäßig ersetzt werden. Sie werden es durch Erhöhung der Bodentemperatur, in Abb. 3 sichtbar als Differenz der roten „Schwarzkörperkurve“ zur alten Schwarzkörperkurve (hier für 320 K angegeben). Die höher liegende (rote) Schwarzkörperkurve bedeutet, dass die Temperatur der Erdoberfläche, wie zuvor erläutert, gestiegen ist. Das Gleichgewicht zwischen eingestrahelter Leistung der Sonne und abgestrahlter Leistung der Erde von jeweils etwa 235 W/m^2 wird also durch den Treibhauseffekt eingehalten.

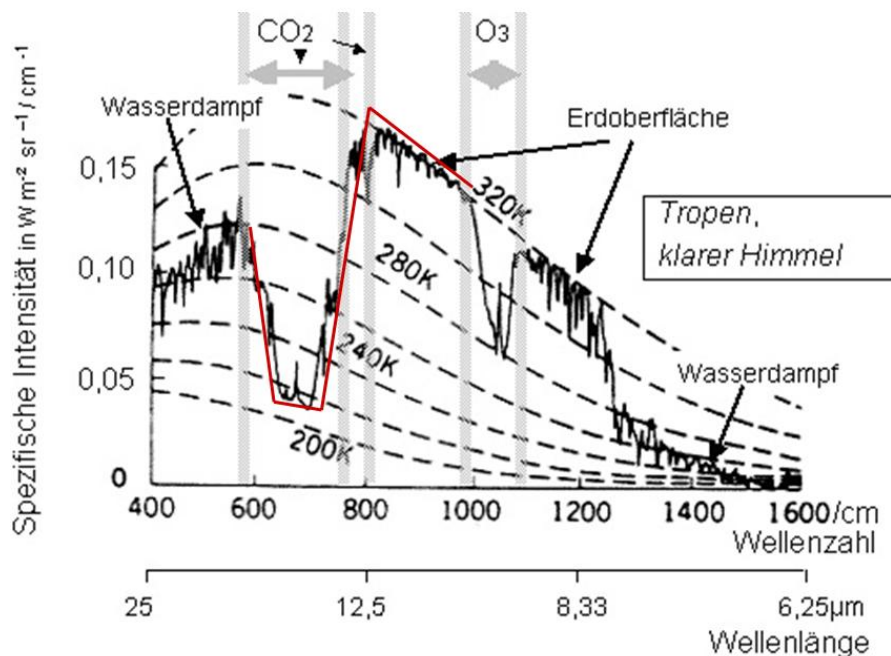


Abb. 3: Änderung des Absorptionstrichters von CO_2 durch dessen Konzentrationserhöhung in der Atmosphäre in schematischer Darstellung [3].

Die zusätzliche Leistungsdichte erhält die Erdoberfläche im Wesentlichen durch Gegenstrahlung aus der Atmosphäre.

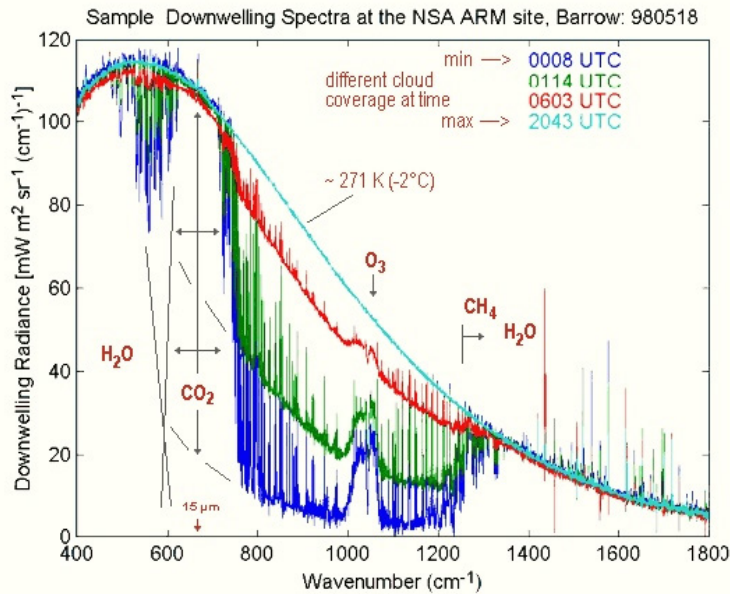


Abb. 4: Gegenstrahlung aufgenommen in Barrow, Alaska, am 18. Mai 1998, bei unterschiedlicher Bewölkung, minimal um 00:08 Uhr UTC, maximal um 20:43 UTC [4]. Deutlich ist die Gegenstrahlung des CO_2 , O_3 und des Wasserdampfes sowie der Einfluss der Gegenstrahlung der Wolken zu erkennen.

Zur Berechnung des Temperaturprofils der Erdatmosphäre geht die Atmosphärenphysik neben der Strahlungsübertragung von den folgenden, in guter Näherung zutreffenden Annahmen aus:

- die Atmosphäre wird vom Erdboden aus erwärmt
- die Transportprozesse (Konvektion und Advektion) der Atmosphäre sind nahezu adiabatisch
- die Wasserdampfkondensation (latente Wärme) stellt eine weitere Wärmequelle dar

Aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik, der Gleichung für ideale Gase und der barometrischen Höhenformel kann dann das Temperaturprofil der Erdatmosphäre berechnet werden. Als einziger gemessener Temperaturwert geht die reale mittlere Bodentemperatur von $T = 288 \text{ K}$ ($= 15 \text{ °C}$) in die ideale Gasgleichung und damit die weiteren Beziehungen ein. Unterhalb der Tropopause dominieren die adiabatischen, oberhalb von ihr die Strahlungsprozesse.

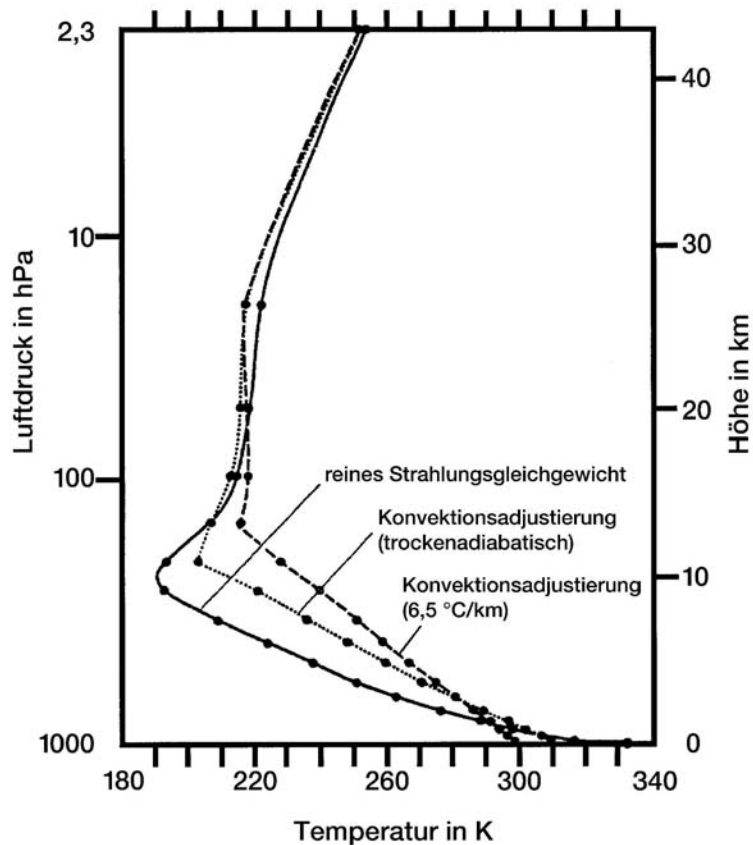


Abb. 5: Temperaturprofil der Erdatmosphäre [5]. Der beobachtete Temperaturgradient entspricht dem feuchtadiabatischen mit 6,5°C/km.

Die Klimasensitivität des Treibhausgases CO₂

Die Klimasensitivität des CO₂ ein Schlüsselbegriff der aktuellen Klimaforschung. Man versteht darunter die globale gemittelte Temperatursteigerung - zunächst ohne Rück- oder Gegenkoppelungseffekte -, wenn die Konzentration von CO₂ in der Erdatmosphäre verdoppelt werden würde. Verdoppelung kann ganz grob mit einem vollständigen Verbrennen aller der Menschheit zugänglichen, mit heutigen technischen Mitteln wirtschaftlich abbaubaren fossilen Brennstoffreserven, gleichgesetzt werden, d.s. ungefähr 1250 Gt C [6].

Die Klimasensitivität dT des CO₂ kann aus einer einfachen Bilanzbetrachtung ermittelt werden. Leitet man die Stefan-Boltzmann-Gleichung nach der Temperatur T ab und setzt für $T^3 = S / (\sigma \cdot S)$ ein, ergibt dies

$$\frac{dS}{dT} = 4 \cdot \sigma \cdot T^3 = 4 \cdot S / T$$

und nach dT aufgelöst

$$dT = dS \cdot \frac{T}{4 \cdot S}$$

Zur Berechnung von dT werden Messwerte von T , S und dS benötigt. Für dS gibt das IPCC für CO_2 bei Konzentrationsverdoppelung den Wert $3,7 \text{ W/m}^2$ an, was aus spektroskopischen Labormessungen ermittelt werden kann (ohne Berücksichtigung von Linienüberlappung mit anderen Treibhausgasen). An der Atmosphärenengrenze werden von Satelliten gemittelte $S = 240 \text{ W/m}^2$ Abstrahlung sowie gemittelte $T = 255 \text{ K}$ gemessen. Daraus folgt

$$dT(2 \times CO_2) = 3,7 \cdot \frac{255}{4 \cdot 240} \approx 1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Feinheiten bleiben in dieser einfachen Bilanzrechnung unberücksichtigt, so dass der Zahlenwert, der die Bodentemperatur angibt, unsicher ist. Genannt werden daher auch noch andere Werte, so beispielsweise

Lindzen	$\Delta T = 0,95 \text{ K}$	[7]
Dietze	$\Delta T \approx 0,7 \text{ K}$	[8]
IPCC	$\Delta T = 1,2 \text{ K}$	[13]

Ungeachtet dieser Unterschiede sind aber alle diese Werte von dT unbedenklich, denn bis zur Verdoppelung der atmosphärischen CO_2 -Konzentration bedarf es, wie bereits erwähnt, des Verbrennens sämtlicher fossilen Brennstoffe, auf die die Menschheit Zugriff hat. Werte von dT um $1 \text{ }^\circ\text{C}$ liegen ferner weit innerhalb der natürlich bedingten Klimaschwankungen des letzten Jahrtausends und bieten keinerlei Anlass für katastrophale Zukunftsszenarien.

Der Zusammenhang zwischen CO_2 -Konzentrationen und globaler Temperatursteigerung ist im Bereich der hier betrachteten CO_2 -Konzentrationen **logarithmisch**. Daraus folgt, dass bei einer weiteren Verdoppelung von CO_2 , also einer Vervierfachung der CO_2 -Konzentration der Erdatmosphäre, die globale Temperatursteigerung $2 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt - nicht $4 \text{ }^\circ\text{C}$, wie man es aus gewohnter linearer Abhängigkeit annehmen könnte. Das IPCC gibt die logarithmische Formel als

$$dS = 5,35 \cdot \ln\left(\frac{C}{C_0}\right) \text{ W/m}^2$$

an [10].

- C - neue CO_2 -Konzentration der Erdatmosphäre
- C_0 - alte CO_2 -Konzentration der Erdatmosphäre
- dS - Radiative Forcing oder Heizrate, verursacht durch Konzentrationsänderung des atmosphärischen CO_2 von C_0 auf C

Man erhält bei Konzentrationsverdoppelung, d.h. mit $C/C_0 = 2$ den hier schon genannten Wert von $dS = 3,7 \text{ W/m}^2$.

Strahlungsbilanzen

Die bisherigen Betrachtungen können an Hand der Energieflüsse in der Atmosphäre weiter detailliert werden. Die heute gültige Vorstellung, die unter anderem durch Messungen des ERBE-Satelliten belegt ist, geht aus Abb. 6 hervor [1], [11].

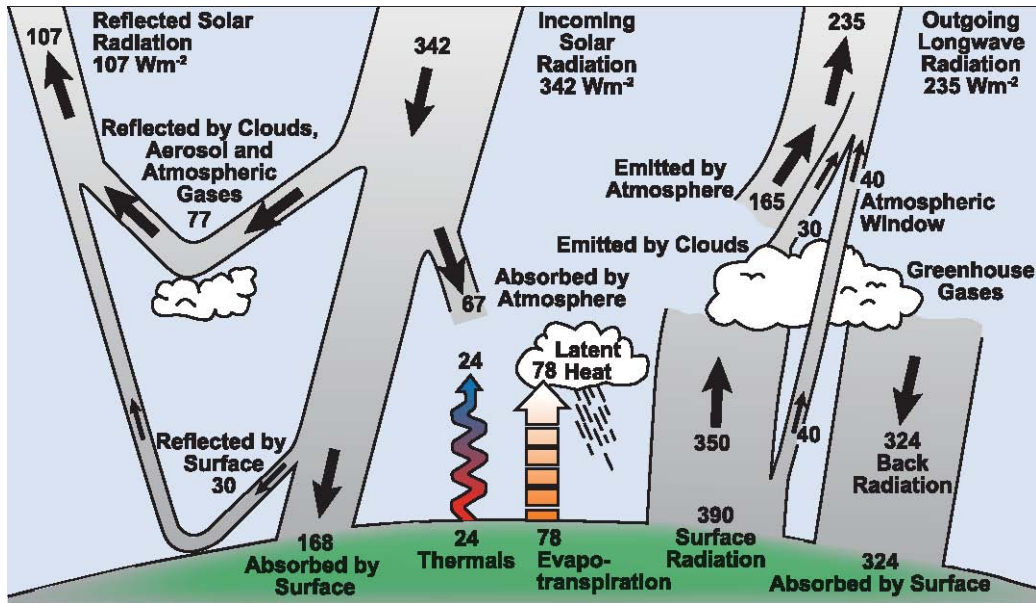


Abb. 6: Das Gegenstrahlungsmodell des natürlichen Treibhauseffekts

Die drei wichtigsten Treibhausgase sind in Reihenfolge ihrer Wirksamkeit der Wasserdampf, das CO₂ und das Methan. Der in Abb. 6 eingetragene Wert $Q_E = 235 \text{ W/m}^2$ wurde hier bereits hergeleitet. Abb. 6 vereinfacht stark. Vor allem dürfen die eingetragenen Pfeile nicht mit Strahlungsbündeln verwechselt werden, denn die Moleküle der Erdatmosphäre strahlen in alle Raumrichtungen ab. Die Pfeile sind vielmehr Leistungsdichten, deren Richtungen ihren maßgeblichen Einfluss veranschaulichen. Überraschend erscheint beim ersten Blick auf Abb. 4 der hohe Wert der Bodenstrahlung von 390 W/m^2 , der die eintreffende Strahlung von 342 W/m^2 weit übertrifft. Er ist, wie schon oben detailliert beschrieben, eine Folge des Treibhauseffekts bzw. der Gegenstrahlung der Atmosphäre und entspricht gemäß Stefan-Boltzmann-Gesetz der realen, gemittelten Bodentemperatur von $T = 288 \text{ K}$.

Es soll nochmals betont werden, dass alle von der Erde aufgenommene Sonnenenergie ohne Verluste mit periodisch-instationärem Verlauf wieder in den Weltraum zurückgestrahlt wird. Die der Sonneneinstrahlung entnommene mechanische Energie von Wind und Gezeitenströmungen, oder die von der Photosynthese verbrauchte Sonnenenergie, die schließlich über Wärme in die Abstrahlungsbilanz der Erde eingeht, unterliegt natürlich anderen Zeitkonstanten als beispielsweise der Tag-/Nachtzyklus der Erde. Der gesamte Prozess kann aber nach ausreichender Zeitmittelung zutreffend als stationär behandelt werden. Die Gleichgewichtsbilanz ist nichts anderes als die Folge des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik, der sich auf alle Energieformen bezieht und besagt, dass deren Summe stets konstant bleibt.

Die Erde ist zudem eine irreversible Wärmekraftmaschine, die durch die Sonne und kaltes Weltall „betrieben“ wird. Gemäß zweitem Hauptsatz der Thermodynamik benötigt eine Wärmekraftmaschine ein heißes und ein kaltes Reservoir - bei einem Kohlekraftwerk ist es z.B. der Heizkessel und der Kühlturm. Im Fall der rotierenden Erde ist es der jeweilige Raumwinkel, in dem die Sonne steht und der hierzu komplementäre Raumwinkel des kalten Weltraums. Mit der erzeugten Energie der „Wärmekraftmaschine Erde“ werden die Wind- und Wasserbewegungen in Atmosphäre und Ozeanen angetrieben, aber auch die Photosynthese, der wir unsere Existenz verdanken.

Abb. 6 zeigt, dass die oft herangezogene anschauliche Erklärung des atmosphärischen Treibhauseffekts als „Gärtnertreibhaus“ nicht ganz verkehrt ist, obwohl beim Gärtnertreibhaus die Erwärmung durch den Luft-Fallen-Effekt verursacht wird, in der Atmosphäre dagegen durch den Strahlungs-Fallen-Effekt. Die unabweisbare Auswirkung, nämlich Erwärmung, ist trotz der völlig unterschiedlichen Ursachen qualitativ die gleiche.

Wenn von „Gegenstrahlung“ die Rede ist (s. Abb. 4), entstehen gelegentlich Missverständnisse. Kann ein kälterer Körper, z.B. Wolken, einem wärmeren Körper, z.B. einem Menschen am Erdboden, Wärme zuführen? Und vor allem, widerspricht dies nicht dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik? Nein, denn Energieaustausch durch Strahlung kann aus dem anfänglich kühleren Körper natürlich nicht den schlussendlich wärmeren Körper machen. Beim Strahlungsaustausch kühlt der wärmere Körper langsamer ab, was seine Gleichgewichtstemperatur im Vergleich zur Situation ohne den abstrahlenden kälteren Körpers erhöht. Ein einzelnes abgestrahltes Photon weiß nicht mehr, ob es von einem warmen oder einem kalten Körper kommt. Es kann immer, auch wenn es vom kälteren Körper kommt, im wärmeren Körper ein Molekül anregen. Beim Übergang in den Grundzustand (spontan oder durch Kollision) wird das Molekül diese Energie abgeben und damit zur Erhöhung der kinetischen Energie, d. h. der Wärme und damit der Temperatur des wärmeren Körpers beitragen.

Schon die tägliche Erfahrung zeigt in vielen Situationen spürbar den Einfluss der Gegenstrahlung. Viele werden im Winter in einen Kellerraum mit sehr kalten Wänden schon einmal die Situation erlebt haben, wo zwar ein schnell installierter Heizlüfter die übliche Zimmertemperatur erzeugte, es aber immer noch „gefühl“ kalt blieb. Dieses Gefühl war keine Täuschung, denn die gewohnte Gegenstrahlung von warmen Wänden fehlte. Das Fehlen von Infrarot-Strahlung spürt unser größtes Organ, die Haut, und daran kann auch die auf Zimmertemperatur gebrachte Kellerluft nichts ändern. Auch die Frontscheibe eines Autos, das in kalter Winternacht unter dem luftdurchlässigen Blätterdach eines Baums abgestellt ist, so dass der Luft-Falleneffekt hier keinen Einfluss ausüben kann, bleibt oft noch eisfrei, während die Frontscheiben der unter freiem Himmel abgestellten Nachbarautos am nächsten Morgen mit einer Eisschicht überzogen sind. In klarer Wüstennacht wird es bitterkalt, ziehen Wolken auf, wird es milder. Diese „Gegenstrahlungs-Liste“ ließe sich beliebig fortsetzen.

Wasserdampfrück- oder -Gegenkoppelung?

Die bisherige Beschreibung des Treibhauseffekts ging von einer Vereinfachung aus, die in der Realität keineswegs vorliegt und die Verhältnisse entscheidend beeinflussen kann: Die Erdatmosphäre enthält nicht nur ein einziges Treibhausgas. Das stärkste unter den weiteren Treibhausgasen ist der Wasserdampf, der für grob $\frac{3}{4}$ des Treibhauseffekts verantwortlich ist. Wird nun durch individuelle Infrarot-Anregung das CO_2 erwärmt, erfolgt, wie schon beschrieben, Energie-Dissipation, wobei die angeregten CO_2 -Moleküle ihre Schwingungsenergie an andere Moleküle der Atmosphäre abgeben. Da sich unter diesen Molekülen auch andere Treibhausgasmoleküle, insbesondere der wesentlich treibhauswirksamere Wasserdampf befinden, wird die Erwärmungswirkung des CO_2 verändert. So könnte beispielsweise infolge einer CO_2 -induzierter Erwärmung

1. mehr Wasserdampf entstehen und der stärkere Wasserdampf-Treibhauseffekt die geringe Treibhaus-Wirkung des CO_2 **erhöhen**. Diese positive Rückkoppelung war

bisher in allen IPCC-Klimamodellen eingebaut und erklärt die zum Teil sehr hohen, vom IPCC mit Hilfe von Computermodellen berechneten Temperatursteigerungen (s. Abb. 7).

2. sich infolge von mehr entstandenem Wasserdampf mehr Wolken bilden. Wolken schirmen die Sonnenstrahlung ab und wirken abkühlend. Die Erwärmung infolge ansteigendem CO₂ wird durch diesen Effekt **abgeschwächt**.

Das IPCC gibt die Gleichgewichts-Empfindlichkeit für eine Verdopplung der atmosphärischen CO₂ Konzentration ohne Rückkopplungen, wie oben beschrieben, mit 1,2 °C an. Erst eine in den **Modellen** eingebaute Rückkopplung, die ganz überwiegend durch das Treibhausgas Wasserdampf bewirkt werden soll, ergibt die vom IPCC und seinen Modellen beschworene Klimakatastrophe (Abb. 7). Die hier unterstellten Feedback-Beiträge sind im IPCC-Report des Jahres 2007 aufgeführt [13].

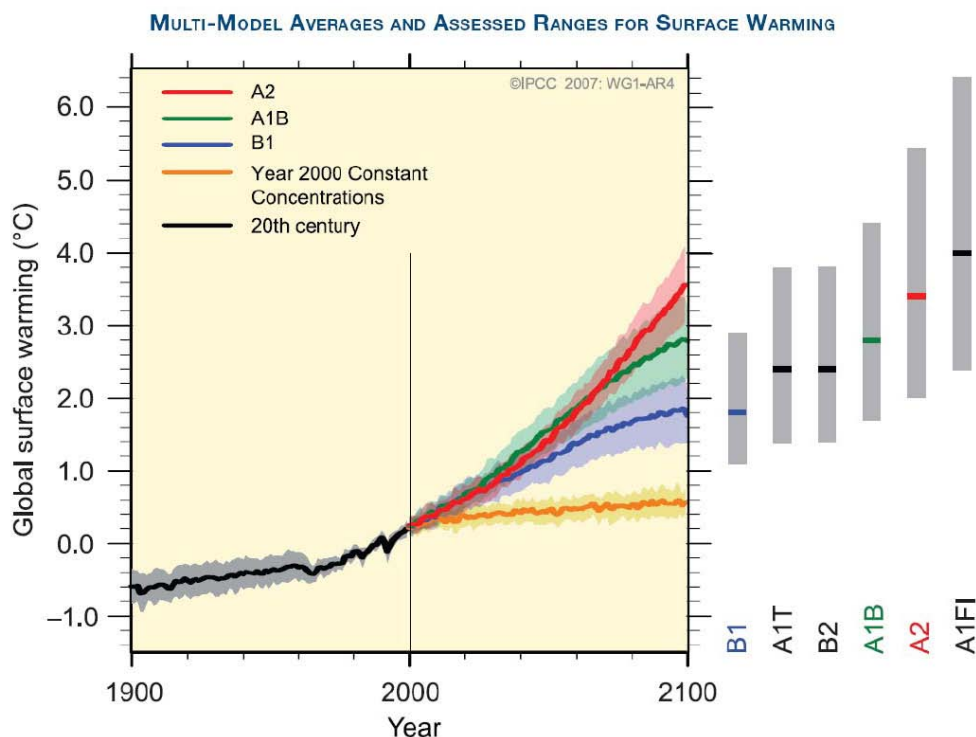


Abb. 7: Die vom IPCC propagierten „Klimakatastrophen“ aus Computer-Modellen, meist bezeichnet als „Klimaprojektionen“ [18]

Bis Ende des Jahres 2008 lagen keine veröffentlichten Messungen vor, die den Wert der Rückkopplung, ob nun positiv oder negativ, aller Beiträge bestimmen konnten. Diese unbefriedigende Situation änderte sich mit zwei grundlegenden Arbeiten, von denen eine im Feb. 2009 in Theoretical and Applied Climatology [12], die andere im Sept. 2009 in Geophysical Research Letters erschien [7].

Die Autoren G. Paltridge, A. Arking und M. Pook zeigten [12], dass die spezifische und relative Feuchte in der mittleren und oberen Troposphäre, also oberhalb 850 hPa Luftdruck, im **Gegensatz zu den Annahmen der Klimamodelle des IPCC** in den Jahren 1973 bis 2007 mit den steigenden Temperaturen dieser Zeit abnahm, was einer Wasserdampf-Gegenkoppelung entspricht. Lediglich die wenig rückkopplungswirksame Feuchte der unteren

Troposphäre nahm in dieser Zeit zu (Abb. 8). Paltridge et al. benutzten hierzu die Daten der troposphärischen Feuchte des National Centers for Environmental Prediction (NCEP), die aus Messungen von Ballon-Sonden gewonnen wurden [14]. Wie sehr sich die Klimasensitivität des CO₂ zahlenmäßig verringerte, konnten die Autoren auf Grund der mit hohen Fehlern behafteten Datenlage zwar nicht angeben, unzweifelhaft ist allerdings die Tendenz in Richtung Gegenkoppelung.

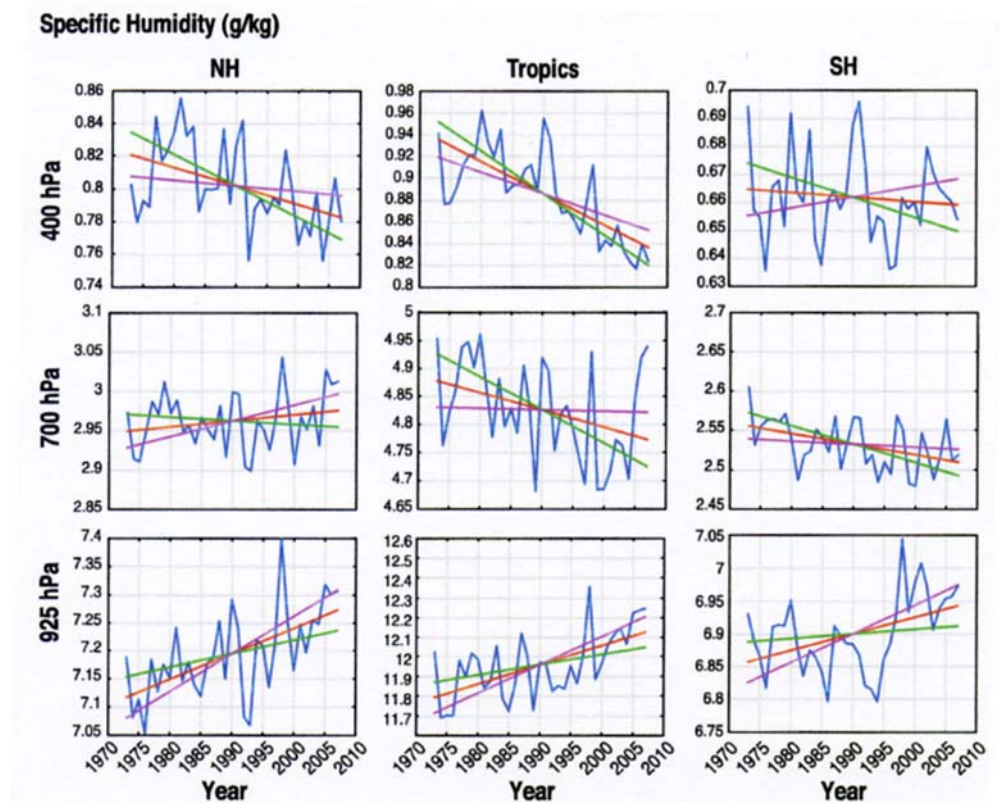


Abb 8: Spezifische Feuchte, NH Nördliche, SH Südliche Hemisphäre bei 400, 700 und 925 hPa, was grob den Höhen 7400 müNN, 2900 müNN bzw. 700 müNN entspricht [12].

Die zweite Arbeit wurde von dem, über engere Fachkreise hinaus bekannten Atmosphärenforscher Richard L. Lindzen vom Massachusetts Institute of Technology (MIT), zusammen mit Yong-Sang Choi verfasst [7]. Die Autoren wiesen ebenfalls nach, dass Gegenkoppelung vorliegen muss, konnten aber zudem noch den Effekt quantifizieren. Sie untersuchten hierzu die Empfindlichkeit des Klimas auf externe Störungen und benutzten für ihre Untersuchung die Messdaten von ERBE (Earth Radiation Budget Experiment), geliefert vom ERBS-Satelliten, der 1984 vom Space-Shuttle aus gestartet wurde [9]. Hieraus konnten sie die externen Einwirkungen auf das Strahlungsgleichgewicht extrahieren, wie sie die Oszillationen El Nino, El Nina sowie Vulkanausbrüche (Pinatubo) hervorrufen und die sich in den Temperaturen der Meeresoberflächen manifestieren. Da die Wirkung von CO₂ ebenfalls über die Störung des Strahlungsgleichgewichtes abläuft, ist eine analoge Übertragung korrekt und physikalisch zulässig. Im Grunde gelten diese Überlegungen für jede Art externer Störung.

R. Lindzen und M.-D. Chou führten bereits in ihren Arbeiten der Jahre 2001 und 2005 [15], [16] die Definition eines Rückkoppelungsfaktors f wie folgt ein:

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_0} = \frac{1}{1-f}$$

ΔT - realer Wert der Klimasensitivität von CO₂

ΔT_0 - Klimasensitivität von CO₂ ohne Rück- bzw. Gegenkoppelung (etwa 1 °C)

Das Ergebnis der Autoren ist in Abb. 9 zu sehen, wobei hier insbesondere der Rückkoppelungsfaktor f interessiert, den die rechte Ordinatenkala zeigt. Die Klimamodelle, auf die sich das IPCC stützt, geben einen fiktiven positiven Rückkopplungsfaktor zwischen +0,5 und +1 an, während die Messungen und Auswertungen der Earth Radiation Budget Daten gemäß Lindzen und Choi negativ sind und bei ungefähr -1 liegen.

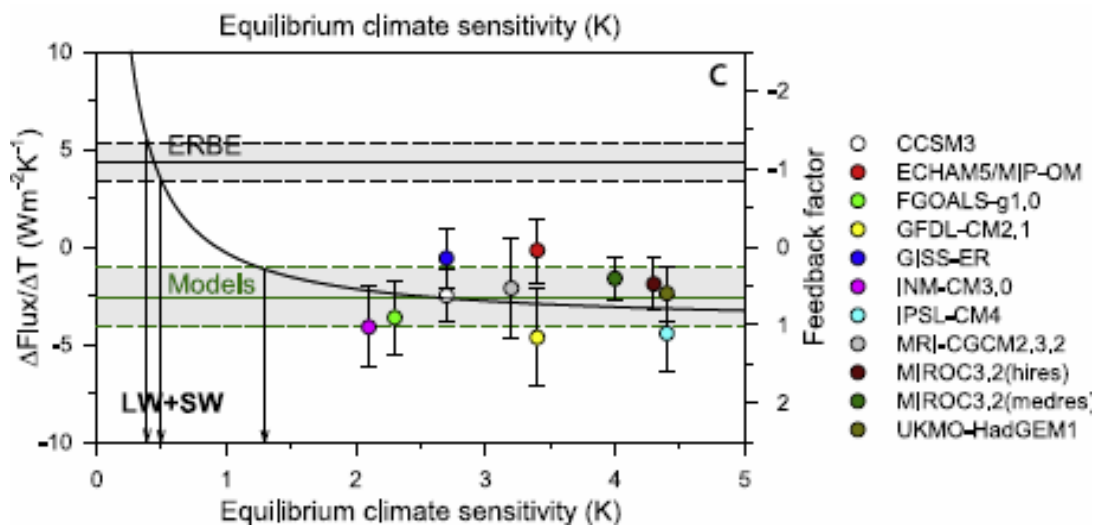


Abb 9: Rückkopplungsfaktor als Funktion der Gleichgewichtstemperatur[1]

Aus Abb. 9 geht ferner hervor, dass die IPCC-Klima-Modelle im Grunde keine quantitativen Angaben zur Klimasensitivität erlauben. Änderungen des $\Delta\text{Flux}/\Delta T$ in der Modell-Zone von Abb. 9 lassen nämlich so gut wie jeden beliebigen Wert > 1 für die Klimasensitivität zu, weil kleinste Änderungen auf der Ordinatenachse infolge der Flachheit der Modellkurve fast beliebige Wertezuordnungen auf der Abszissenachse erlauben. Dagegen ist die Messung von $\Delta\text{Flux}/\Delta T$ des ERBE-Sateliten bestens für eine Aussage zur Klimasensitivität geeignet, denn der Wert liegt im steil ansteigenden Kurventeil und erlaubt eine genaue Zuordnung zur Gleichgewichtstemperatur.

Mit dem nunmehr durch ERBE-Messungen belegten Rückkopplungsfaktor von $f = -1$ ergibt sich aus dem bereits erwähnten rückkoppelungsfreien Wert der Klimasensitivität des CO₂ von etwa 1 °C jetzt nur noch der halbe Wert, also die Temperaturerhöhung $\Delta T = 0,5$ °C. Lindzen und Choi merken an, dass sich der negative Rückkopplungsfaktor auf 2/3 reduzieren könnte, wenn höhere Breiten einbezogen werden. Ihre Messungen zeigen ungeachtet dieser Verfeinerungen indes sicher, dass nicht nur eine Erhöhung der CO₂-Konzentration auf das Doppelte keinerlei Gefahr für das Erdklima bedeuten kann. Selbst eine noch unrealistischere Verdopplung, also Vervielfachung der CO₂-Emission (Verbrennung der doppelten Menge der Reserven) würde wegen der hier bereits beschriebenen logarithmischen Abhängigkeit der Globaltemperatur von der CO₂-Konzentration und der nunmehr nachgewiesenen negativen Rückkoppelung nur zu einer globalen Temperaturerhöhung von etwa $\Delta T = 1$ °C führen.

Unter der Voraussetzung, dass die in den Arbeiten von Lindzen et al. sowie von Paltridge et al. mitgeteilten Messergebnisse und Schlussfolgerungen korrekt sind, bedeutet dies nicht mehr und nicht weniger als das wissenschaftliche Ende einer vom Menschen verursachten Klimakatastrophe. Der temperatursteigernde Einfluss des anthropogenen CO₂ wird dann zu dem, was bereits schon seit längerem viele Klimaforscher vermuten – einem **Nulleffekt**.

Der Treibhauseffekt und „Klimaschutz“-Protokolle

Es wurde bereits wiederholt darauf hingewiesen, dass die gemäß Kyoto-Protokoll vorgesehenen, aber niemals wirklich realisierten CO₂-Einsparungsmaßnahmen auch unter der hilfsweisen Voraussetzung der ungünstigsten IPCC-Modellprojektionen (s. hierzu Abb. 7) nur eine unmerkliche Verringerung der globalen Erderwärmung bis zum Jahre 2100 von grob 0,1 °C bewirken können [17]. Betrachtet man speziell Deutschland, ist das „Nutzen-Ertrags-Verhältnis“ der CO₂-Emissionsvermeidung geradezu absurd, wie es die folgende Überschlagsrechnung, die angenähert lineare Zusammenhänge annimmt, ausweist:

In 2005 betrug der deutsche Anteil an den weltweiten CO₂-Emissionen rund 3% mit abnehmender Tendenz. Deutschland verpflichtete sich gemäß EU-Beschluss, 14% seiner CO₂-Emissionen - bezogen auf das Jahr 2005 - bis 2020 einzusparen. Mit grob 2 ppm globaler Steigerung pro Jahr werden ohne die EU-Einsparungen global 15 x 2 = 30 ppm mehr CO₂ nach 15 Jahren, also in 2020 vorhanden sein. 3% deutscher Anteil davon sind 30 x 0,03 = 0,9 ppm mehr. Die vorgesehenen 14% Einsparung hiervon betragen 0,9 x 0,14 = 0,13 ppm. Nimmt man sogar eine CO₂-Klimasensitivität von 3 °C an, die nach den hier geschilderten Fakten hoffnungslos zu hoch angesetzt ist, erhält man mit der aktuellen CO₂-Konzentration von 380 ppm den "deutschen" Beitrag von unmessbaren 3 x (0,13 / 380) = 0,001 Grad an eingesparter globaler Erwärmung bis 2020. Der Aufwand, um dieses Ziel zu erreichen, wird in vielen Milliarden € geschätzt.

Geht man von der nunmehr durch Messungen belegten Wasserdampfgegenkoppelung aus, wird der anthropogene Einfluss auf Erdtemperaturen infolge erhöhter CO₂-Emissionen so gut wie verschwindend. Unter diesem Gesichtspunkt ist das Scheitern der Kopenhagener-Klimakonferenz zu begrüßen. Es wird höchste Zeit, dass sich Politik und Medien wieder dem wirklichen Naturschutz zuwenden, bevor unsere Weltmeere endgültig leergefischt, Regenwälder und die Artenvielfalt zerstört und globalweit sinkende Grundwasserspiegel in Dürregebieten irreparablen Schaden angerichtet haben.

Quellen:

- [1] Kiehl, J.T., Trenberth, K.E.: Earth's annual global mean energy budget, Bull. Am. Met. Soc. Vol. 78, No. 2 (1997)
- [2] Hanel, R. et al.: The NIMBUS 4 infrared spectroscopy experiment, Journ. Geophys. Res. 77, 2629-2641 (1972)
- [3] http://mensch.org/5223/RadForce_print.pdf
- [4] <http://www.arm.gov/>
- [5] Bakan, S., Raschke, E.: Promet 28, Heft 3/4, 85-94, Deutscher Wetterdienst (2002)
- [6] BGR Kurzstudie: Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen (2009)
- [7] Lindzen, R.S., Choi, Y.-S.: On the determination of climate feedbacks from ERBE data, Geophysical Research Letters, Vol. 36, L16705 (2009)
- [8] Dietze, P.: Energie, CO₂ und Klima, energiewirtschaft, 22 energie, 0107

- [9] <http://asd-www.larc.nasa.gov/erbe/ASDerbe.html>
- [10] IPCC-Report 2001, the scientific basis, TAR-06, S. 358, Tab. 6.2
- [11] IPCC-Report 2007, AR4, WG1, Seite 96
- [12] Paltridge, G., Arking, A., Pook, M.: Trends in middle- and upper-level tropospheric humidity from NCEP reanalysis data, *Theor. Appl. Climatol.* (2009) 98:351-359
- [13] IPCC-Report 2007, AR4-WG1_Ch08, Kap. 8.6.2, Fig. 8.14, Seite 631
- [14] <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
- [15] Lindzen, R.S., Chou, M.-D., Hou, A.Y.: Does the Earth have an adaptive iris?, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 82, 417-432, doi:10.1175/1520-0477 (2001)
- [16] Chou, M.D., Lindzen, R.S.: Comments on “examination of the decadal tropical mean
- [17] Jaworowski, Z.: Solar Cycles, not CO₂, determine Climate, 21st Century Science & Technology, (Juli 2007), im Internet “googen”
- [18] IPCC-Report (Summary for Policymakers), WG1_SFM_17Apr07, Fig. SPM.5, S.14 (2007)