

# Der Treibhauseffekt

Prof. Dr. Horst-Joachim Lüdecke (Dipl.-Physiker)  
Dr. Rainer Link (Dipl.-Physiker)

18.1.2010

## Einleitung

Der „Treibhauseffekt“ der Erdatmosphäre (TE) ist eine unglückliche Bezeichnung. Die Atmosphäre hat nämlich kein festes Dach. 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, z.B. Wasserdampf, CO<sub>2</sub>, Methan usw. absorbieren einen Teil der vom Erdboden ausgehenden Infrarot-Strahlung (IR). Die dabei auf die Moleküle des Treibhausgases übertragene Energie verbleibt fast teilweise als Wärme in der Atmosphäre und trägt somit zu ihrer Temperaturerhöhung bei. Im Detail wird hierbei die Energie der Molekül-Schwingungen des angeregten Treibhausgases durch Stöße auf die Stickstoff- und Sauerstoffmoleküle der Atmosphäre übertragen – man spricht von Thermalisierung oder Energiedissipation. Dieser Effekt einer Strahlen-Falle wird in der Physik als „Treibhaus-Effekt der Atmosphäre“ bezeichnet. Er ist im Gewächshaus gegenüber dem Luftfallen-Effekt außerordentlich gering. Wie groß ist er in der Erdatmosphäre?

## Energiebilanzen und natürlicher TE 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  $1367 \text{ W/m}^2$ . Diese muss mit der Querschnittsfläche der Erde multipliziert werden, um die von der Erde aufgenommene Sonnenleistung von  $1360 \cdot r^2 \cdot \pi$  W zu ermitteln. Von dieser Leistung wird der Anteil von etwa 30% Erdalbedo sofort in den Weltraum zurück und steht der Erde nicht zur Verfügung [9].

$Q_E$  sei umgekehrt die Leistungsdichte der Erdatmosphäre. Dann gehen  $4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot Q_E$  W Leistung ins Weltall zurück. Dabei wird angenommen, dass  $Q_E$  an jedem Ort der Erde gleich ist, was nur über die Erde gemittelt 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  $A = 0,3$

$$1367 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot (1-A) = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot Q_E \quad \text{W}$$

bzw.

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

Setzt man  $Q_E$  in das Strahlungsgesetz

$$S = \sigma \cdot T^4$$

von Stefan-Boltzmann ein, erhält man mit der Naturkonstanten  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$  für die Temperatur  $T$  der Erde **ohne** Treibhausgase in der 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).

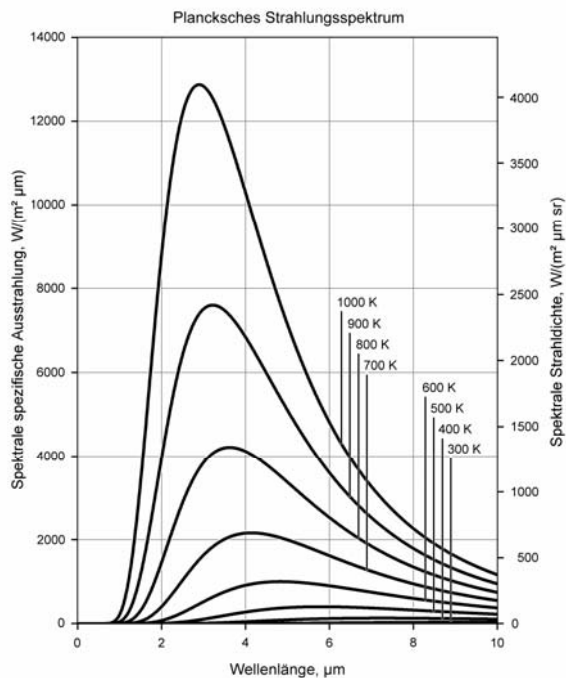


Abb. 1 Die Abstrahlungskurven eines „schwarzen“ Körpers in Abhängigkeit von seiner Temperatur

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 natürlich kein perfekter schwarzer Körper. Für die hier herrschenden Temperaturen trifft diese Näherung für die Infrarotstrahlung der Erde 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 (Hanel et al. 1972)

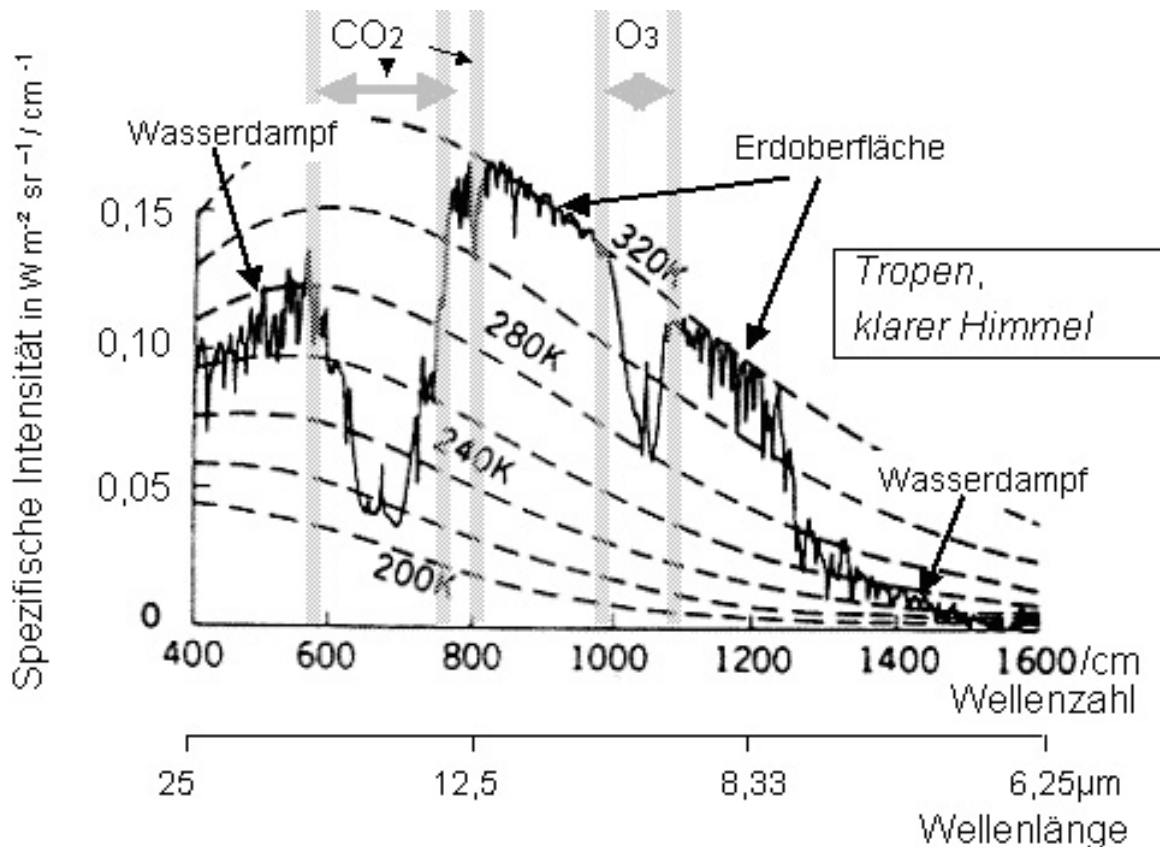


Abb. 2: Von Satelliten gemessene Abstrahlungsspektren der Erdatmosphäre. Die gestrichelten Kurven sind die theoretischen „Schwarzstrahler-Kurven“. Die Bereiche der Wellenlängen, die von der Erdoberfläche zum Rand der Atmosphäre kommen, bezeichnet man auch als offene Fenster für die Wärmestrahlung der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

Entsprechend dem oben erhaltenen Ergebnis von  $T = -18\text{ °C}$  wäre die Erde ohne Treibhausgase in der 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 Temperatur von  $T \approx 15\text{ °C}$ . Die Differenz von  $15 - (-18) = 33\text{ °C}$ , verursacht durch die Treibhausgase der Erdatmosphäre, wird von der Klimaforschung als **natürlicher TE** bezeichnet.

Die Wirkung der Treibhausgase wird in der Abbildung 2 deutlich. Die Treibhausgase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$  und Wasserdampf verhindern die direkte Abstrahlung der Wärmestrahlung der Erdoberfläche in das Weltall. Die Emission dieser Treibhausgase erfolgt nun aus wesentlich größerer Höhe (Wasserdampf ab 5km Höhe bei Temperatur von  $260\text{ K} = -13\text{ °C}$ ,  $\text{CO}_2$  aus 11 km bei einer Temperatur von  $220\text{ K} = -53\text{ °C}$ ,  $\text{O}_3$  aus 11 km Höhe bei  $260\text{ K} = -13\text{ °C}$ ). Da die Abstrahlung durch diese Treibhausgase bei niedrigeren Temperaturen erfolgt und somit gemäß dem Planckschen Strahlungsgesetz eine geringere Energiedichte besitzt als die unblockierte Erdabstrahlung muss sich die Temperatur auf der Erdoberfläche solange erhöhen bis insgesamt wieder  $235\text{ W/m}^2$  in das Weltall im Gleichgewicht zurückgestrahlt werden. Dies war bei der heutigen Konzentration der Treibhausgase bei einer gemittelten Erdtemperatur von  $288\text{ K} = 15\text{ °C}$  erfüllt.

Wenn nun die Konzentration eines Treibhausgases wie  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre erhöht wird, so vergrößert sich der  $\text{CO}_2$  Absorptions-Trichter wie in Abbildung schematisch dargestellt (rot eingezeichnet). Hier muss um das Gleichgewicht zwischen eingestrahelter Leistungsdichte

der Sonne und abgestrahler der Erde von jeweils 253 W/m<sup>2</sup> zu erreichen, die Temperatur der Erdoberfläche wie zuvor erläutert wieder steigen.

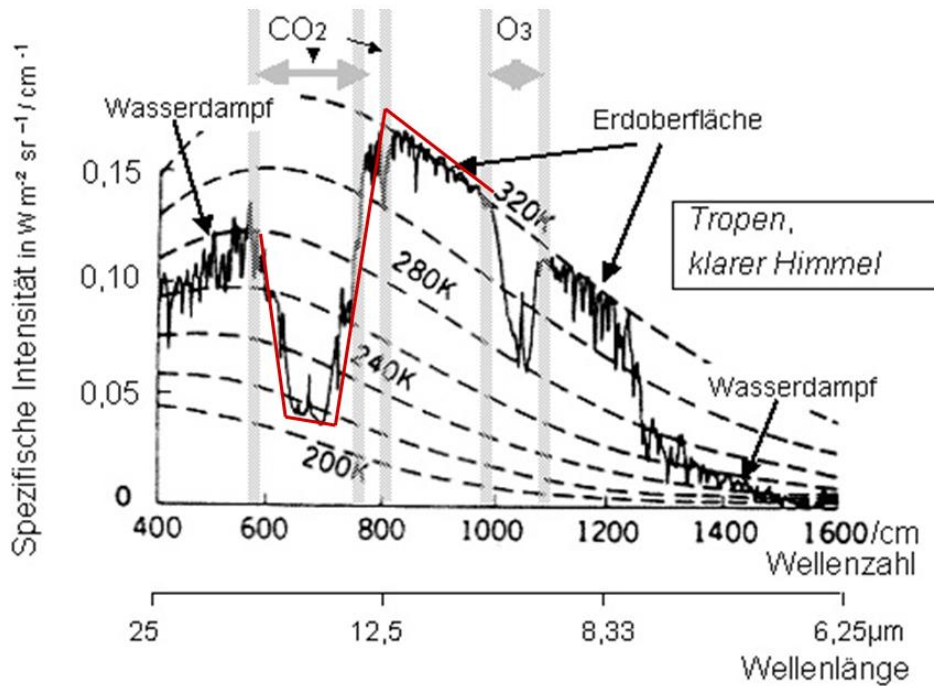


Abbildung 3: Änderung des Absorptionstrichters von CO<sub>2</sub> durch dessen Konzentrationserhöhung in der Atmosphäre schematisch (siehe auch: [http://mensch.org/5223/RadForce\\_print.pdf](http://mensch.org/5223/RadForce_print.pdf)).

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

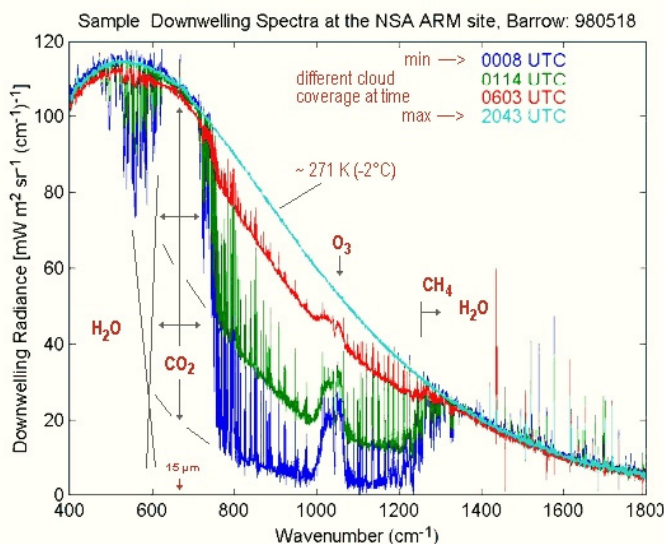


Abbildung 4: Gegenstrahlung aufgenommen in Barrow, Alaska, am 18. Mai 1998, bei unterschiedlicher Bewölkung, minimal um 00:08 Uhr UTC, maximal um 20:43 UTC, [<http://www.arm.gov/>]. Deutlich ist die Gegenstrahlung des CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> und des Wasserdampfes sowie der Einfluss der Gegenstrahlung der Wolken zu erkennen.

Die Atmosphärenphysik geht zur Berechnung des Temperaturprofils der Erdatmosphäre neben der Strahlungsübertragung von den folgenden, weiteren Voraussetzungen aus, die sämtlich in guter Näherung zutreffen:

- 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 1. Hauptsatz der Thermodynamik, der idealen Gasgleichung 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 Gasgleichung und damit die weiteren Beziehungen ein. Unterhalb der Tropopause dominieren die adiabatischen, oberhalb von ihr die Strahlungsprozesse.

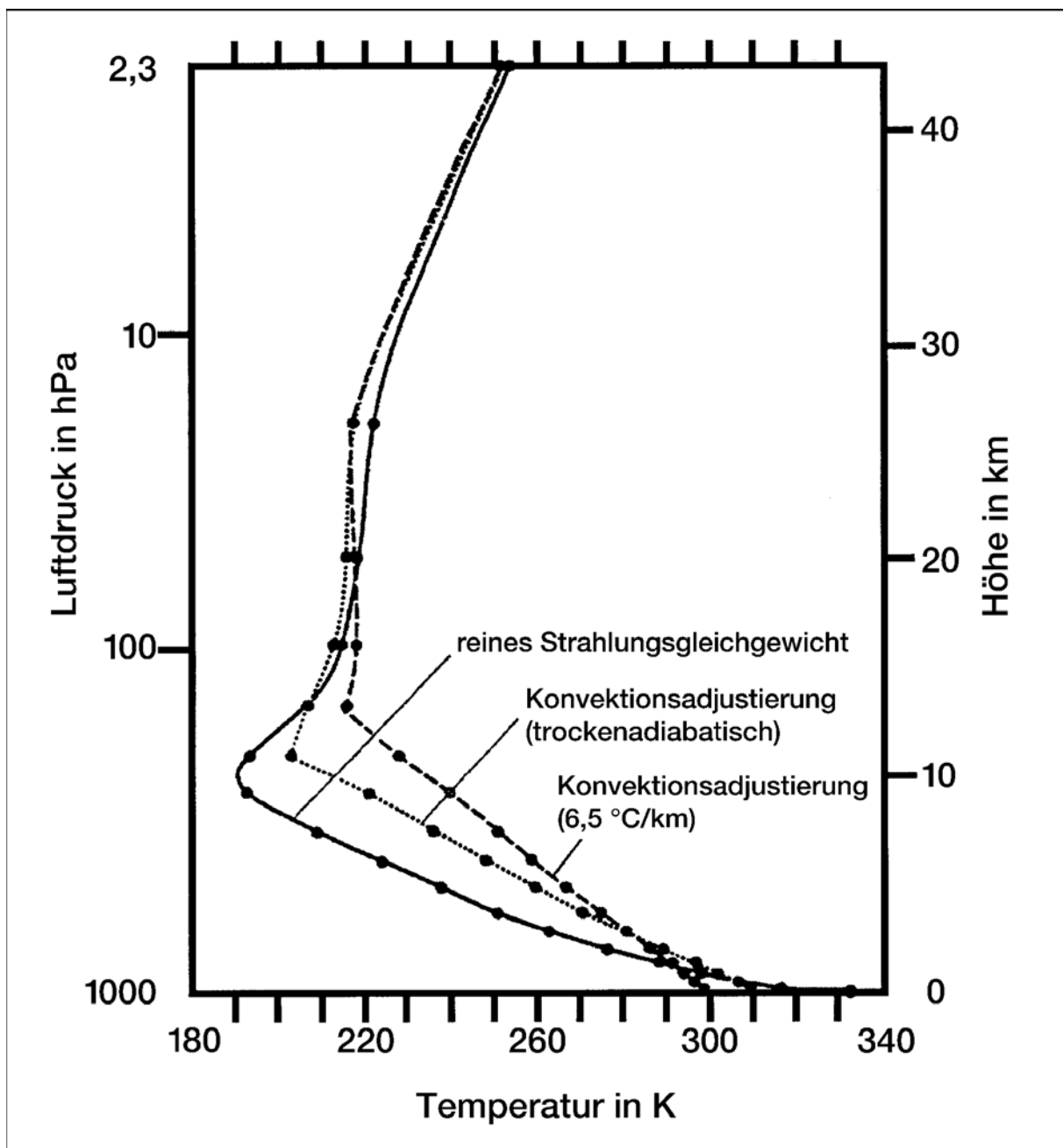


Abb. 3: Temperaturprofil der Erdatmosphäre [S. Bakan, E. Raschke, Promet, Heft 3/4, Deutscher Wetterdienst]. Der beobachtete Temperaturgradient entspricht dem feuchtadiabatischen mit 6,5°C/km.

## Die Klimasensitivität des CO<sub>2</sub>

Neben dem TE ist die sog. Klimasensitivität des CO<sub>2</sub> ein Schlüsselbegriff der Klimaforschung. Darunter versteht man die globale gemittelte Temperatursteigerung **ohne** Rück- oder Gegenkoppelungseffekte, wenn die Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Erdatmosphäre verdoppelt werden würde. Verdoppelung kann ganz grob mit einem vollständigen Verbrennen aller der Menschheit zugänglichen mit heutigen technischen Mitteln wirtschaftlich zur Energieerzeugung abbaubaren fossilen Brennstoffreserven (ungefähr 1250 Gt C, BGR Kurzstudie 2009, Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen) gleichgesetzt werden.

Die Klimasensitivität dT des CO<sub>2</sub> kann zutreffend und recht einfach aus einer Bilanzbetrachtung gewonnen werden. Leitet man die Stefan-Boltzmann-Gleichung nach der Temperatur T ab und setzt für  $T^3 = S / (\sigma \cdot T)$  ein, ergibt dies

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

bzw.

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

Zur Berechnung von dT sind die Messwerte von T, S und dS erforderlich. Für dS gibt das IPCC für CO<sub>2</sub> bei Konzentrationsverdoppelung der Wert 3,7 W/m<sup>2</sup> an, was sehr genau aus spektroskopischen Labormessungen ermittelt werden kann [IPCC 2007 TAR, WG1, Kapitel 6.3.1 und 6.2.1]. An der Atmosphären Grenze werden von Satelliten S = 240 W/m<sup>2</sup> Abstrahlung sowie T = 255 K gemessen. Daraus folgt

$$\Delta T_{2 \times CO_2} = 3,7 \cdot \frac{255}{4 \cdot 240} \approx 1 \text{ K bzw. } 1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Einzelprozesse der Atmosphäre bleiben in dieser einfachen Bilanzrechnung naturgemäß unberücksichtigt, so dass der Zahlenwert, der sich auf die Bodentemperatur bezieht, unsicher ist. Genannt werden daher auch noch andere Werte, so beispielsweise

Lindzen	$\Delta T = 0,95 \text{ K}$	Lindzen, S., Choi, Y.-S., [1]
IPCC	$\Delta T = 1,2 \text{ K}$	[IPCC 2007 TAR, WG1, Kapitel 6.3.1 und 6.2.1]. .
Dietze	$\Delta T \approx 0,95 \text{ K}$	[IPCC's Most Essential Model Errors, <a href="http://www.john-daly.com/forcing/moderr.htm">http://www.john-daly.com/forcing/moderr.htm</a> ]
Rahmstorf	$\Delta T = 1,2 \text{ K}$	[11]

Unberührt von diesen Differenzen sind aber alle Werte von dT unbedenklich, denn bis zur Verdoppelung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration bedarf es, wie bereits erwähnt, des

Verbrennung 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  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen und globaler Temperatursteigerung ist im Bereich der hier betrachteten  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen nicht linear, sondern **logarithmisch**. Daraus folgt beispielsweise, dass bei einer weiteren Verdoppelung von  $\text{CO}_2$ , also einer Vervielfachung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Erdatmosphäre, die globale Temperatursteigerung nur  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  und nicht  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  beträgt, wie man es bei irrtümlicher Annahme einer linearen Abhängigkeit folgern würde. Das IPCC gibt die hier gültige Formel als

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

an [10].

- C - neue  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Erdatmosphäre
- $C_0$  - alte  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Erdatmosphäre
- $dS$  - Radiative Forcing oder Heizrate, verursacht durch Konzentrationsänderung des atmosphärischen  $\text{CO}_2$  von  $C_0$  auf C

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

## Strahlungsbilanzen

Die bisherigen Betrachtungen sollen 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. 4 hervor [9], [12].

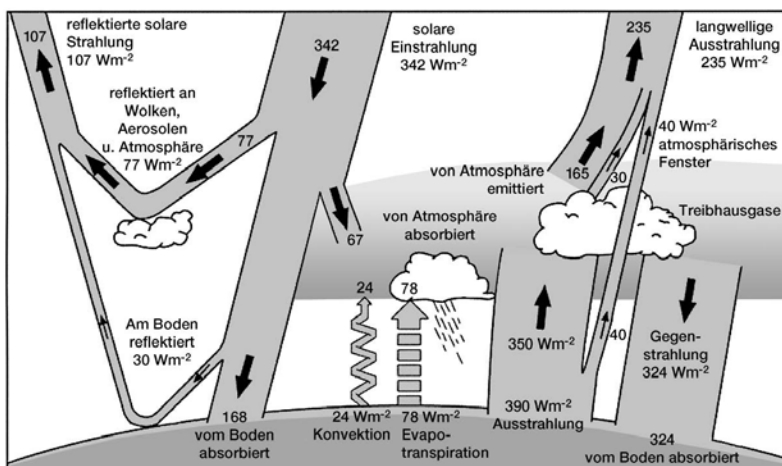


Abb. 4: Das Gegenstrahlungsmodell des natürlichen TE. Die drei wichtigsten Treibhausgase sind in Reihenfolge ihrer Wirksamkeit der Wasserdampf, das  $\text{CO}_2$  und das Methan. Der Wert  $Q_E = 235\text{ W/m}^2$  wurde hier bereits unter „Energiebilanzen und natürlicher TE der Erdatmosphäre“ hergeleitet. Das Bild 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 sollen. Sie sind außerdem gemittelte Werte, die an keinem Ort der Erde genau so beobachtet werden können.*

Es ist zu betonen, dass alle von der Erde aufgenommene Sonnenenergie langfristig ohne Verluste wieder in den Weltraum zurückgestrahlt wird. Langfristig, weil es im allgemeinen länger dauert, bis die aus der Sonneneinstrahlung entnommene mechanische Energie von Wind, Ozeanströmungen und Gezeitenströmungen oder die von der Photosynthese entnommene Energie wieder als Wärme in die Abstrahlungsbilanz der Erde eingeht. Diese langfristige Bilanz ist nichts anderes als der 1. Hauptsatz der Thermodynamik. Er bezieht sich auf alle Energieformen und besagt, dass deren Summe stets konstant bleibt. Überraschend erscheint beim ersten Blick auf Abb. 4 der hohe Wert der Bodenstrahlung von  $390 \text{ W/m}^2$ , der die eintreffende Strahlung von  $342 \text{ W/m}^2$  weit übertrifft. Er ist eine Folge des TE bzw. der Gegenstrahlung der Atmosphäre und entspricht gemäß Stephan-Boltzmann-Gesetz der real gemessenen Bodentemperatur von  $T = 288 \text{ K}$ .

Die oft herangezogene anschauliche Erklärung des atmosphärischen TE als „Gärtnertriebhaus“ ist demzufolge gar nicht so verkehrt, obwohl, wie bereits beschrieben, beim Gärtnertriebhaus die Erwärmung durch den Luft-Fallen-Effekt verursacht wird, in der Atmosphäre dagegen durch den Strahlungs-Fallen-Effekt (siehe oben). Die unabweisbare Auswirkung, nämlich Erwärmung, ist trotz der beiden unterschiedlichen Ursachen der gleiche.

Wenn von „Gegenstrahlung“, wie in Abb. 4, die Rede ist, entstehen gelegentlich Missverständnisse. Kann ein kälterer Körper, z.B. Wolken, einem wärmeren Körper, z.B. einem Menschen am Erdboden, Wärme zuführen, und widerspricht dies nicht dem 2. Hauptsatz? Natürlich nicht, denn ein Energieaustausch durch Strahlung kann aus dem anfänglich kühleren Körper natürlich nicht den schlussendlich wärmeren Körper machen. Beim Strahlungsaustausch kühlt der wärmere Körper lediglich langsamer ab, was seine Gleichgewichtstemperatur im Vergleich zur Situation ohne strahlende kältere Körper 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 uns in vielen Situationen spürbar den Einfluss der Strahlung. Manch einer wird schon einmal in einen Kellerraum mit sehr kalten Wänden die Situation erlebt haben, wo zwar ein schnell installierter Heizlüfter die übliche Zimmertemperatur erzeugte, es aber immer noch „gefühlte“ kalt blieb. Dieses Gefühl war keine Täuschung, denn die gewohnte Strahlung von warmen Wänden fehlte. Das Fehlen von IR-Strahlung spürt unser größtes Organ, die Haut, deutlich, 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. Wie viel angenehm wärmer (oder zu heiß) ist es oft in der Sonne verglichen mit dem Schatten. Diese „Strahlungs-Liste“ ließe sich beliebig fortsetzen.

## Rückkopplungen durch Wasserdampf, Wolken, Albedo, Temperaturgradient in der Troposphäre

Die bisherige Herleitung des TE 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 TE verantwortlich ist. Wird nun durch individuelle Infrarot-Anregung das  $\text{CO}_2$  erwärmt, erfolgt, wie schon beschrieben, Energie-Dissipation, wobei die angeregten  $\text{CO}_2$ -Moleküle ihre Energie an andere Moleküle der Atmosphäre abgeben. Da sich unter diesen Molekülen auch andere Treibhausgasmoleküle, insbesondere der wesentlich treibhauswirksamere Wasserdampf befinden, wird die Erwärmungswirkung des  $\text{CO}_2$  durch Zusatzeffekte abgeändert. So könnte beispielsweise infolge  $\text{CO}_2$ -induzierter Erwärmung

1. mehr Wasserdampf entstehen und der stärkere Wasserdampf-TE die geringe TE-Wirkung des  $\text{CO}_2$  **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.
2. sich infolge von mehr entstandenem Wasserdampf mehr Wolken bilden. Wolken schirmen die Sonnenstrahlung ab und wirken abkühlend. Die Erwärmung durch  $\text{CO}_2$  wird durch diesen Effekt **verringert**.

Das IPCC gibt die Gleichgewichts Empfindlichkeit (Sensitivity) für eine Verdopplung der Atmosphärischen  $\text{CO}_2$  Konzentration ohne Rückkopplungen wie oben beschrieben mit  $1,2\text{ }^\circ\text{C}$  an. Erst eine von den Modellen beschriebene Rückkopplung im Wesentlichen durch das Treibhausgas Wasserdampf (WV), die Erdalbedo (A), den Troposphärischen Temperaturgradienten (Lapse Rate LR) und durch die Wolken (C) ergibt die vom IPCC und seinen Modellen beschworene Klimakatastrophe. Die einzelnen Beiträge sind im AR4 des IPCC aufgelistet [IPCC AR 4, 2007, Kapitel 8.6, Climate Sensitivity and Feedbacks] und in der folgenden Abbildung dargestellt.

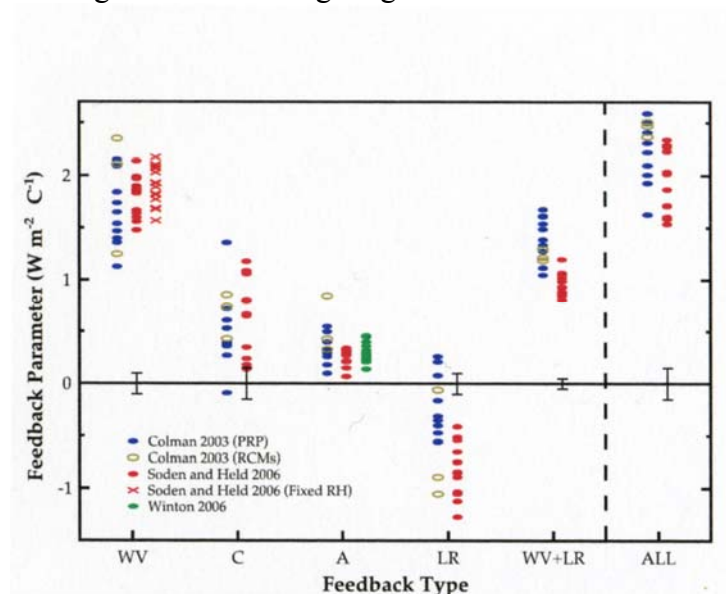


Abbildung 5: Feedbackparameter nach IPCC AR4, 2007. WV: Water Vapour, C: Cloud, A: Albedo, LR: Temperaturgradient der Atmosphäre (Lapse Rate)

Insgesamt ergibt sich ein Rückkopplungsparameter von  $1,91\text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$ , mit den Gleichungen

$$dT = dT_{(\text{CO}_2)} * 1 / (1 - f)$$

$$f = b * k = 1,91 / 3,2 = 0,597$$

f: Rückkopplungsfaktor (siehe unten);

$$k = 1/3,2 \text{ W/m}^2/\text{°C};$$

b= Summe der Rückkopplungsparameter gleich 1,91 W/m<sup>2</sup>/°C

folgt für die Temperaturerhöhung bei Verdopplung der CO<sub>2</sub> Konzentration nach IPCC inklusive der angenommenen Rückkopplungsparameter:  
dT=3 °C.

Bis Ende des Jahres 2008 lagen keine veröffentlichten Messungen vor, die den Wert der Rückkopplung, 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 [2], die andere im Sept. 2009 in Geophysical Research Letters erschien [1].

Die Autoren G. Paltridge, A. Arking und M. Pook zeigten [2], 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. 5). 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 [3]. Wie sehr sich die Klimasensitivität des CO<sub>2</sub> zahlenmäßig verringerte, konnten die Autoren auf Grund der mit hohen Fehlern behafteten Datenlage zwar nicht angeben, unzweifelhaft ist allerdings die Tendenz in Richtung Gegenkoppelung.

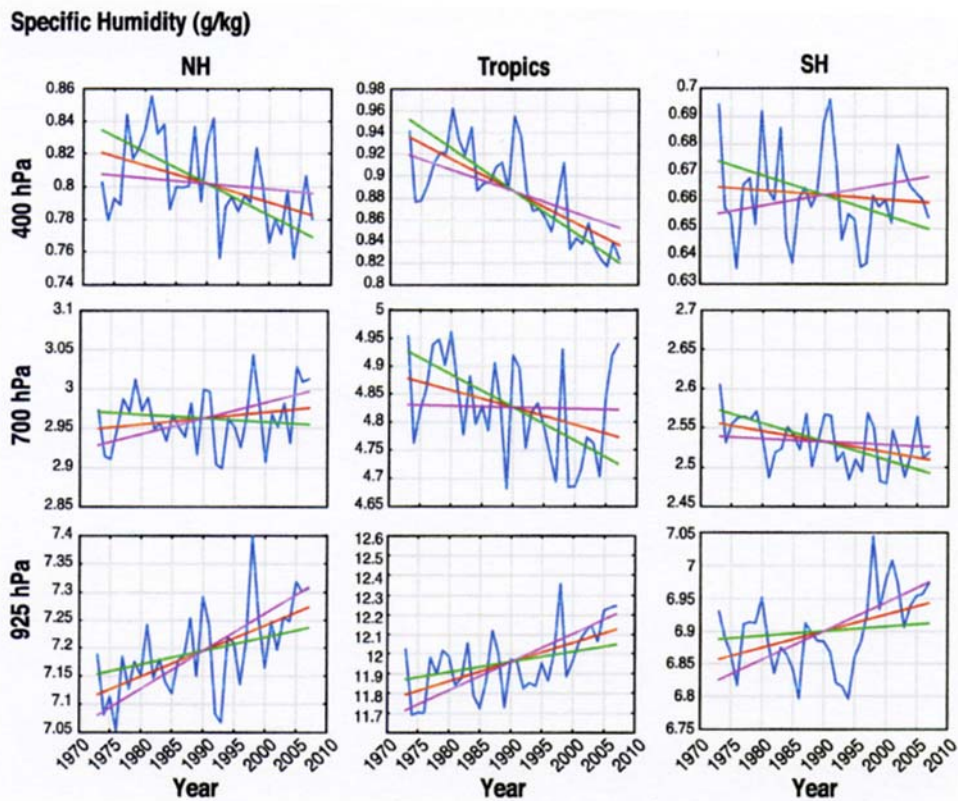


Abb 6: Spezifische Feuchte, NH Nördliche, SH Südliche Hemisphäre bei 400, 700 und 925 hPa, was grob den Höhen 7400 müNN, 2900 müNN bzw. 700 müNN entspricht [2]t.

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 [1]. 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 [4]. 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 CO<sub>2</sub> 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 [6], [7] die Definition eines Rückkoppelungsfaktors  $f$  wie folgt ein:

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

$\Delta T$  - realer Wert der Klimasensitivität von CO<sub>2</sub>

$\Delta T_0$  - Klimasensitivität von CO<sub>2</sub> ohne Rück- bzw. Gegenkoppelung (etwa 1 °C)

Das Ergebnis der Autoren ist in Abb. 6 zu sehen, wobei hier insbesondere der Rückkoppelungsfaktor  $f$  interessiert, den die rechte Ordinatenskala zeigt. Die Klimamodelle, auf die sich das IPCC stützt, geben einen fiktiven positiven Rückkoppelungsfaktor 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.

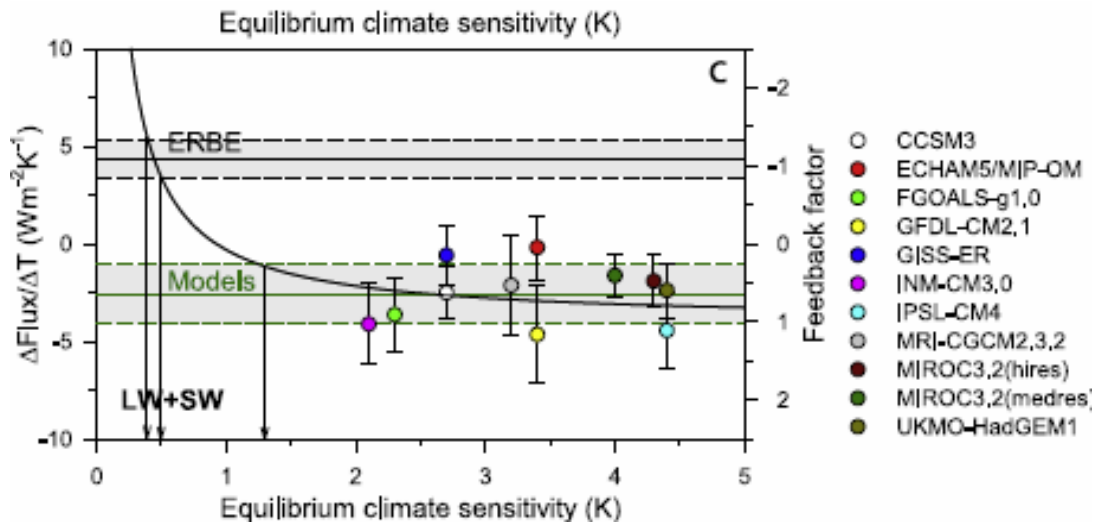


Abb 7: Rückkopplungsfaktor als Funktion der Gleichgewichtstemperatur[1]

Aus Abb. 6 geht ferner hervor, dass die IPCC-Klima-Modelle im Grunde gar keine quantitativen Angaben zur Klimasensitivität erlauben. Änderungen von  $\Delta\text{Flux}/\Delta T$  in der grünen Zone von Abb. 6 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  $> 1,5$  auf der Abszissenachse erlauben.

Mit dem nunmehr durch ERBE-Messungen belegten Rückkoppelungsfaktor von  $f = -1$  ergibt sich mit dem bereits erwähnten rückkoppelungsfreien Wert der Klimasensitivität des  $\text{CO}_2$  von etwa  $1^\circ\text{C}$  jetzt nur noch der halbe Wert, also die Temperaturerhöhung  $\Delta T = 0,5^\circ\text{C}$ . Lindzen und Choi merken an, dass sich der negative Rückkoppelungsfaktor auf  $2/3$  reduzieren könnte, wenn höhere Breiten einbezogen werden. Ihre Messungen zeigen indes nun sicher, dass nicht nur eine Erhöhung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration auf das Doppelte keinerlei Gefahr für das Erdklima bedeuten kann. Selbst eine noch unrealistischere Verdopplung, also Vervierfachung der  $\text{CO}_2$ -Emission (Verbrennung der doppelten Menge der Reserven) würde wegen der hier bereits beschriebenen logarithmischen Abhängigkeit der Globaltemperatur von der  $\text{CO}_2$ -Konzentration und der nunmehr nachgewiesenen negativen Rückkoppelung nur zu einer globalen Temperaturerhöhung von etwa  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$  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**.

## Klimaschutz-Protokolle

In mehreren Leserbriefen an überregionale Zeitungen, aber auch in Einzelveröffentlichungen wurde bereits darauf hingewiesen, dass die gemäß Kyoto-Protokoll vorgesehenen, aber niemals realisierten CO<sub>2</sub>-Einsparungsmaßnahmen auch unter der hilfsweisen Voraussetzung der ungünstigsten IPCC-Modellprojektionen nur eine unmerkliche Verringerung der globalen Erderwärmung bis zum Jahre 2100 von grob 0,1 °C bewirken. Geht man von der nunmehr durch Messungen belegten Wasserdampf~~gegen~~koppelung aus, wird der anthropogene Einfluss auf Erdtemperaturen infolge erhöhter CO<sub>2</sub>-Emissionen endgültig zum **Nulleffekt**. 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 die sinkenden Grundwasserspiegel in Dürregebieten irreparablen Schaden angerichtet haben.

### Quellen:

- [1] Lindzen,R.S., Choi,Y.-S.: On the determination of climate feedbacks from ERBE data, Geophysical Research Letters, Vol. 36, L16705 (2009)
- [2] 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
- [3] <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
- [4] <http://asd-www.larc.nasa.gov/erbe/ASDerbe.html>
- [5] IPCC report 2001, the scientific basis, TAR-06.pdf, S. 358, Tab. 6.2
- [6] 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)
- [7] Chou, M.D., Lindzen, R.S.: Comments on “examination of the decadal tropical mean ERBS nonscanner radiation data for the iris hypothesis, J.Clim., 18, 2123-2127, doi:10.1175/JCLI3406.1
- [8] [http://cfmip.metoffice.com/CFMIP\\_GEWEX\\_Newsletter.pdf](http://cfmip.metoffice.com/CFMIP_GEWEX_Newsletter.pdf)
- [9] Kiehl, J.T., Trenberth, K.E.: Earth’s annual global mean energy budget, Bull. Am. Met. Soc. Vol. 78, No. 2 (1978)
- [10] IPCC-Report 2001, the scientific basis, TAR-06, S. 358, Tab. 6.2.
- [11] Rahmstorf, S., Schellnhuber, H.J.: Der Klimawandel, C.Beck, Wissen (2007)
- [12] IPCC-Report 2007, AR4, WG1, Seite 96