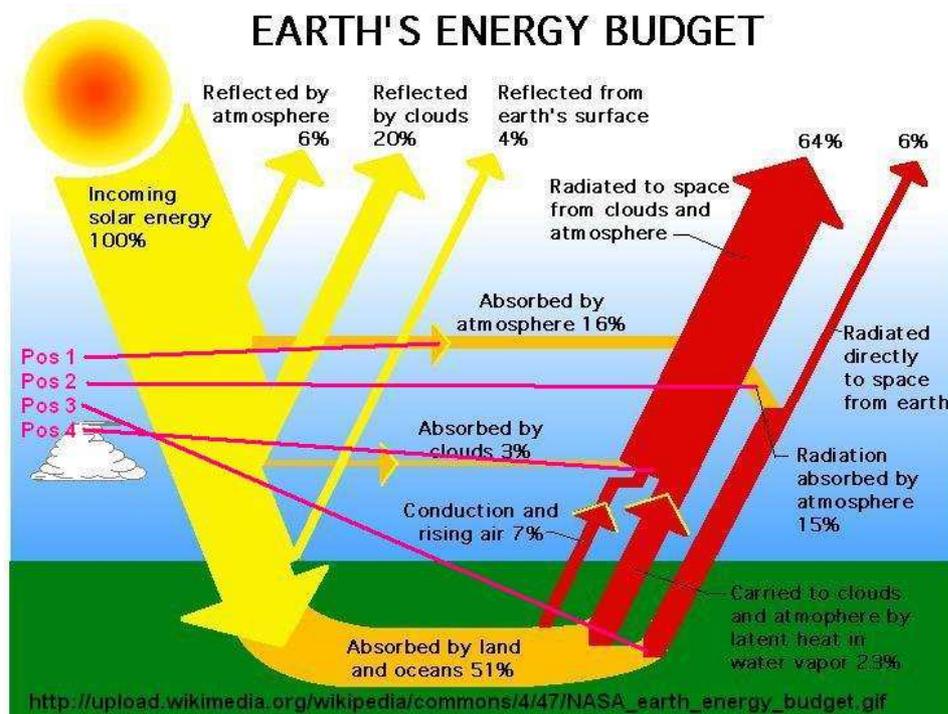


Warum CO₂ die Erdoberfläche kühlt

Dr. Gerhard Stehlik, Hanau,
Prof. Dr.-Ing. Vollrath Hopp, Dreieich, Obmann für Umwelt des VDI Bezirks Frankfurt-Darmstadt
Dr. Edmund Wagner, GIANT, Wiesbaden
© 22. August 2013

Die beste Darstellung der tatsächlichen Energieflüsse an der Oberfläche des Planeten Erde, die wir finden konnten, stammt von der NASA (Abbildung 1)¹. Eine ähnliche Darstellung gibt es auch vom Weltklimarat. Qualitativ unterscheiden sich die Messwerte der globalen Energieflüsse von NASA und Weltklimarat² nicht. Es gibt aber einige unterschiedliche Zahlenwerte. Diese Feinheiten sind unerheblich.

Abbildung 1:



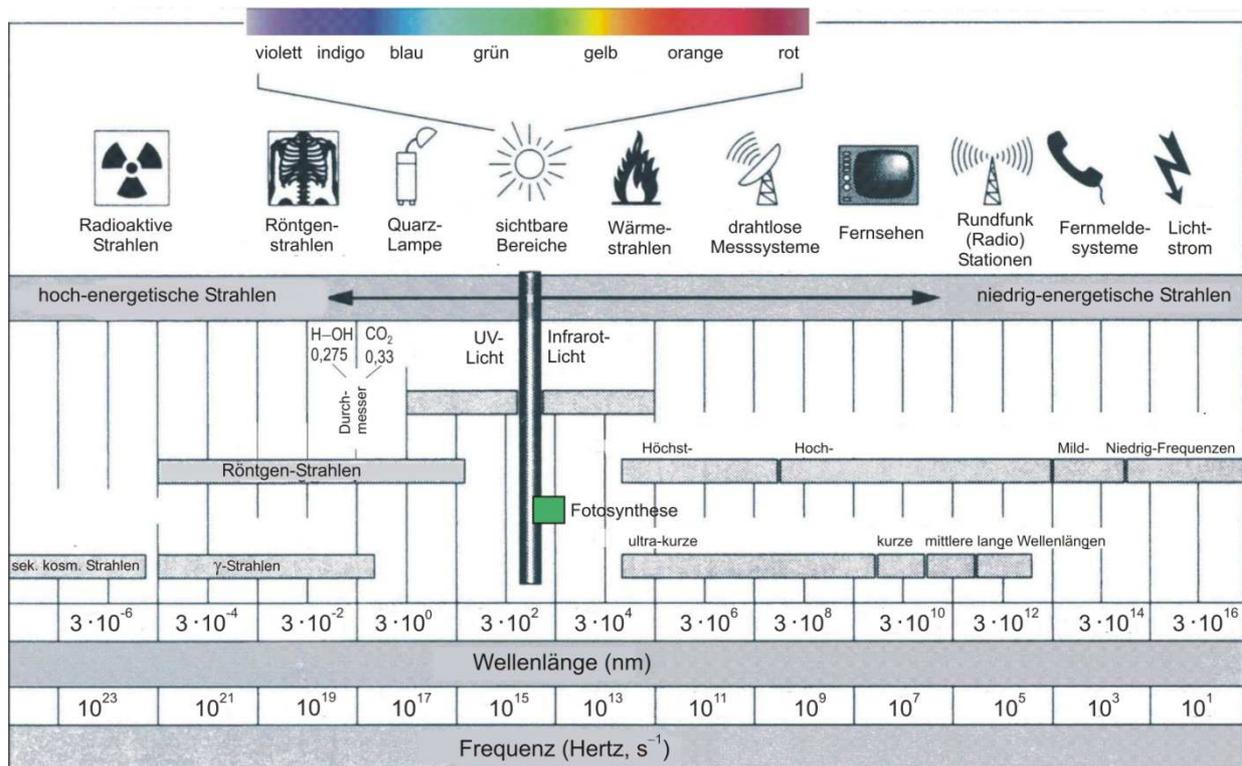
Die Grafik der NASA zeigt in gelben Farbtönen die Sonneneinstrahlung zur Erde als 100 % und deren Aufteilung. Drei Anteile werden reflektiert, zwei weitere fließen in die Atmosphäre und der Hauptteil von 51 % erwärmt die Erdoberfläche.

Die Erwärmung der Erde durch die Sonne ist elementar und unumstritten, ebenso die Lage der Sonnenstrahlung im elektromagnetischen Spektrum (Abbildung 2). Unbestritten ist, dass sich die Erde nicht von selbst erwärmen kann. Und das bedeutet, dass sich kein chemischer Stoff auf diesem Planeten, auch nicht das CO₂ Gasmolekül, aus sich selbst heraus erwärmen kann. Wenn CO₂ sich selbst und darüber hinaus auch noch seine Umgebung erwärmen soll, muss dem CO₂ von außen Energie zugeführt werden.

¹ NASA - National Aeronautics and Space Administration, USA
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA_earth_energy_budget.gif

² IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Frequently Asked Question 1.1 „What Factors Determine Earth's Climate“ Page 94 [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Abbildung 2:



Das Spektrum der energetischen Solarstrahlung in Nanodimensionen

(Durchmesser eines Wassermoleküls 0,275 nm
eines Kohlenstoffdioxid-Moleküls, kinetisch: 0,33 nm; statisch: 0,4 nm)

Die Wärmeverluste der Erde an das Weltall erfordern eine differenzierte Betrachtung der Begriffe Erdatmosphäre und Erdoberfläche. Die Verluste an Wärmeenergie an das Weltall werden in Abb. 1 rot dargestellt³. Drei Bereiche an Wärmeverlusten an das Weltall führen zu Temperaturabfall auf der Erdoberfläche: Der erste Bereich betrifft die Luftbewegung (Thermik), durch die -7 % der Wärme abgegeben wird. Der zweite und wichtigste sind die Wärmeverluste (Kühlung) durch Verdunstung der Wasseroberflächen in Höhe von -23 %. Der dritte besteht in den Wärmeverlusten an der Erdoberfläche an das Weltall mit -15 % - 6 %.

Ein Wärmeübergang von der Atmosphäre auf die Erdoberfläche existiert nicht. Ein Treibhauseffekt von +33 °C würde aber einen solchen Energiefluss erfordern.

Tatsächlich aber zeigt die NASA-Grafik zwei ockerfarbige Energieflüsse, welche der Atmosphäre Strahlungsenergie zuführen. Die Energiezufuhr von der Sonne ist als langer waagerechter Pfeil (Pos. 1) dargestellt. Er weist einen Anteil von 16 % der Sonneneinstrahlung aus. Die Abfuhr von Wärmestrahlung von der Erdoberfläche aus (Pos. 2) ist als abbiegender Pfeil ausgewiesen und repräsentiert einen Anteil von 15 %. Diese Wärmestrahlung entstammt dem roten Pfeil rechts unten (Pos. 3), welcher aus Richtung Erdoberfläche kommt und sich in der Erdatmosphäre in die beiden Energieflüsse von 15 % (ockerfarbig)⁴ und 6 % (rot) aufteilt.

Der Energiefluss von 15 % (Pos. 2) ist des „Pudels Kern“, der über die Frage entscheidet, kühlt oder erwärmt das CO₂. Da die Wärmeenergie von der Erdoberfläche aus in Richtung Weltall abfließt und nicht umgekehrt, findet auf der Erdoberfläche eine Abkühlung durch

³ Die Position 2 bildet dabei eine Ausnahme.

⁴ Er sollte auch rot (für Wärmestrahlung) satt ocker (für Sonnenstrahlung) sein!

Wärmeabstrahlung statt und somit ein Wärmeverlust von der Erdoberfläche in Richtung Atmosphäre (Konvektion) von 15 % und direkt ins Weltall durch Wärmestrahlung von 6 %.

Für diesen Wärmeübergang von der Erdoberfläche aus in Richtung Atmosphäre gilt der Satz von der Erhaltung der Energie (Stefan Boltzmann). Aus dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik folgt, dass Wärmeenergie nicht vollständig in Nutzenergie umgesetzt werden kann, es entstehen Verluste. Weiterhin gilt, dass Wärmeenergie immer nur unter Mitwirkung von Materie aus Strahlungsenergie erhalten werden kann. Gibt ein Stoff an einen anderen, weniger energiereichen, Energie ab, bleibt die Menge der Energie insgesamt erhalten. Gibt ein Stoff Wärmeenergie an einen anderen ab, kühlt der eine durch Wärmeverlust ab, der andere erwärmt sich, bis zum vollständigen Wärmeenergie-Austausch bei Temperaturgleichheit.

Die Erwärmung eines Stoffes durch Wärmestrahlung ist nur möglich, wenn die Strahlungsleistung absorbiert und nicht einfach durchgelassen wird. Die Hauptbestandteile der Atmosphäre Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2) lassen aber nahezu alle Sonnenstrahlung⁵ hindurchfließen und somit auch die Wärmestrahlung aus Richtung Erdoberfläche. Es tritt somit weder eine Erwärmung durch äußere Wärmestrahlung ein, noch ergeben sich auf diesem Wege Wärmeverluste.

Falls es dennoch Energieflüsse in diese Gase und von ihnen weg geben sollte, würde dies bedeuten, dass Energie von den Gasmolekülen aufgenommen und abgegeben werden müsste.

Die UV-Strahlung der Sonne mit einem Anteil von 16% an der Sonnenstrahlung wird durch diese zwei Ozonprozesse in Wärme umgewandelt, Aufbau von Ozon aus Sauerstoff durch Absorption des UV-Lichts und Abbau des Ozons wieder zurück zu Sauerstoff unter Freisetzung von Wärme. Die frei gesetzte Wärme ist als erhöhte Temperatur der „Ozonschicht“ messbar.

biatomarer Sauerstoff O_2 \leftrightarrow O_3 triatomarer Sauerstoff (Ozon)

UV-Strahlung wird benötigt + **3 O_2** \rightarrow **2 O_3**

Wärmeenergie wird frei + **3 O_2** \leftarrow **2 O_3**

Wie vor dem Ozonprozess existiert auch danach das O_2 -Molekül unverändert und das O_3 -Molekül besteht nicht mehr. Der Ozonprozess ist daher insgesamt nichts anderes als die Umwandlung der UV-Strahlungsenergie der Sonne in Wärmeenergie im oberen Bereich der Atmosphäre. Der Ozonprozess entspricht nicht dem Planckschen Strahlungsgesetz.

Der für unser Thema entscheidende Fluss an Wärmestrahlung (Pos. 2) erfordert eine genauere Betrachtung. Seine Beziehung zum CO_2 -Gasmolekül steht dabei im Vordergrund.

Eingangs wurde festgestellt, dass sich die Erde und somit alle chemischen Stoffe der Erde für sich betrachtet nicht von selbst, also ohne äußere Einwirkung, erwärmen können. Im Gegensatz dazu müssen aber fast alle Stoffe im Sinne des Newtonschen Abkühlungsgesetzes - nicht rückwandelbar - nach Abstrahlung ins Weltall ihren Wärmehalt verlieren, d. h. sich abkühlen. Die wenigen chemischen Stoffe, die hier eine Ausnahme bilden, sind für die CO_2 -Diskussion von Bedeutung. Diese wenigen Ausnahmen weisen freie kugelsymmetrische und völlig unpolare Atome auf, wie dies beispielsweise bei dem Edelgas Argon nachweisbar ist, was auch bei den beiden symmetrischen Gasmolekülen Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2), den Hauptbestandteilen

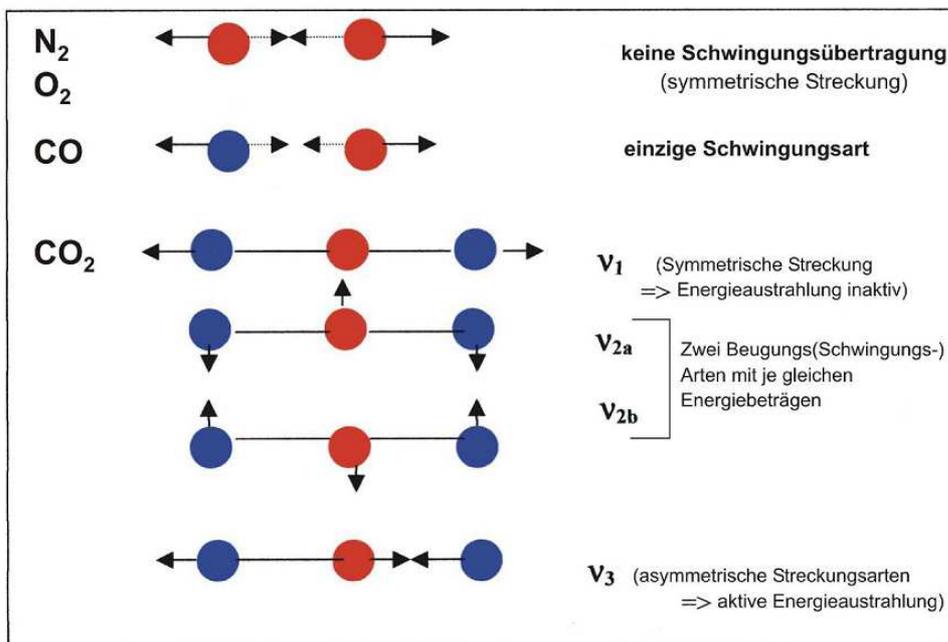
⁵ Ausnahme ist der Ozonprozess der UV-Sonnenlichts (Position 3)

der Erdatmosphäre, zutrifft. Diese besitzen kein elektrisches Dipolmoment. Ohne ein Dipolmoment⁶ können thermische Bewegungen der Molekülteile keine elektromagnetische Wärmestrahlung emittieren oder absorbieren.

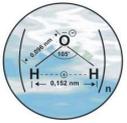
Die nächtliche Abkühlung der Atmosphäre zeigt, dass sie eigentlich keinen >Körper< darstellt, der im Sinne des Newtonschen Abkühlungsgesetzes an das Weltall Wärmeenergie abgibt, also verliert, was in Wirklichkeit nur für die Erdoberfläche anhand ihrer Molekülsubstanz zutrifft. Diese Ausnahmesituation der Gashölle der Erde betrifft diese nur wegen der sehr hohen Molekülsymmetrie ihrer Hauptbestandteile N₂ und O₂ und der daraus folgenden IR-Inaktivität.

Abbildung 3⁷:

Schwingungsarten von zwei- und dreiatomigen Molekülen in der Atmosphäre



Das Newtonsche Abkühlungsgesetz gilt aber sehr wohl für die asymmetrischen dreiatomigen Gasmoleküle

von Wasser,  und Kohlenstoffdioxid, $\text{O}=\text{C}=\text{O}$,

welche ein elektrisches Dipolmoment in ihren chemischen Bindungen besitzen und daher IR-aktiv sind (s. auch Abb. 3). Dies zeigt, dass dem Hauptanteil der Atmosphäre etwa 2 % >normale Erdmasse beigemischt< ist. Diese 2 % ergeben sich aus der mittleren Konzentration an H₂O-Molekülen (etwa 0 bis 4 %) und CO₂-Molekülen (0,04 % entsprechend 400 ppm). H₂O und CO₂ verhalten sich gegenüber dem Weltall wie die Erdoberfläche. Alle drei Substanzen verlieren Wärmeenergie an das Weltall. Die Abkühlung von H₂O und CO₂ ist aber aufgrund ihrer sehr geringen Anteile an der

⁶ Eine chemische Bindung besitzt dann ein elektrisches Dipolmoment, wenn ungleiche Atome miteinander verbunden sind. Dann ist immer ein Atom im Verhältnis zum anderen elektrisch positiv und das andere im gleichen Maße elektrisch negativ geladen, so dass insgesamt nach außen die elektrische Neutralität gewahrt ist. Die thermische Bewegung der beiden chemisch gebundenen Atome, verursacht die elektromagnetische Wärmestrahlung.

⁷ <http://www.heliosat3.de/e-learning/remote-sensing/Lec7.pdf> (übersetzt)

Gesamtsubstanz der Erde von nur 2 % mit meteorologischen Temperaturmessungen in 2 m Höhe über dem Erdboden nicht messbar.

Anders ist die Situation bei der Energiebilanz der gesamten atmosphärischen Säule von rund 75 km Höhe bis zur Turbopause. Offenbar reicht die zweiprozentige Beimischung von H_2O und CO_2 aus, um die gesamte atmosphärische Säule so gut abzukühlen, dass ihr Wärmeinhalt nach oben hin gleichmäßig geringer wird⁸. Während die Atmosphäre über ihr gesamtes Volumen bis in rund 75 km Höhe ihre Wärme an das Weltall verliert, beschränkt sich das Volumen der Erdoberfläche, welche ebenfalls ihre Wärme an das Weltall verliert, auf wenige Zentimeter Tiefe ihrer Substanz. Dies erklärt den großen Unterschied im Verlustpotenzial an Wärmeinhalt (Abkühlpotenzial) bei der Atmosphäre (64 %) und bei der Erdoberfläche (6 %).

Das Abkühlungspotential der Atmosphäre, also ihre Fähigkeit Energie durch Wärmestrahlung⁹ ans Weltall abzugeben, ist enorm. Sie transportiert nicht nur alle Energie, die sie von der Erdoberfläche erhält, weiter ins All, sondern auch noch die beiden Energieflüsse, welche sie direkt von der Sonne erhält mit 16 % aus dem UV-Ozon-Prozess und mit weiteren 3 % über die Wolken. Trotz all dieser Energieeinträge gibt es keinen Rückfluss an Energie aus der Atmosphäre zur Erdoberfläche, sondern aller Transport von Energie ist immer nach oben gerichtet zum Weltall und die Atmosphäre ist im Mittel immer kälter als die Erdoberfläche.

Deshalb ist es dringend anzuraten, das Diagramm der Energieflüsse der NASA genau zu betrachten und jeden einzelnen Energiefluss zu verstehen.

Die Prozentangaben im Diagramm der NASA beziehen sich auf die Sonnenstrahlung, welche die Erde als Ganzes erreicht. Sie ist mit 100 % angegeben. In diesem Diagramm ist die kühlende Wirkung der Spurengase H_2O und CO_2 , welche dem Newtonschen Abkühlungsgesetz gehorchen, als roter Pfeil (Position 3) der Wärmestrahlung ganz rechts unten dargestellt. Diese Wärmestrahlung teilt sich in der Atmosphäre in zwei Anteile. Einer geht (rot) mit 6 % direkt weiter ins Weltall. Der andere biegt (ocker) mit 15 % (Position 2) in die Atmosphäre ab.

Der gelbe Pfeil stellt die Strahlungskühlung der Erdoberfläche durch die Spurengase H_2O und CO_2 der Atmosphäre dar. Dieser Strahlungsfluss ist mit 15 % angegeben. Dieser Energiefluss ist des „Pudels Kern“. Er stellt die Strahlungskühlung der Erdoberfläche dar. Diese effektiv messbare Strahlungskühlung ist das genaue Gegenteil, des von den Klimaforschern postulierten Treibhauseffektes, also einer Erwärmung um +33 °C. Der Rechengang zur Berechnung dieser Temperaturerhöhung um +33 °C ist physikalisch sinnlos.

Am wichtigsten für die gesamte Energiebilanz der Erde ist aber die Wärmestrahlung der Atmosphäre (Position 4), dargestellt als dicker roter Pfeil, welche alle Energie, die in die Atmosphäre eingebracht wird, direkt ans Weltall abführt. Dieser gewaltige kühlende Fluss an Wärmestrahlung ist mit 64 % angegeben. Was hier als sprunghafte Geburt eines Pfeils irgendwo in der Atmosphäre graphisch dargestellt ist, erfolgt in Wirklichkeit nicht sprunghaft, sondern stetig über 75 km Höhe in Form des immer kälter Werdens der Atmosphäre nach oben.

Dabei nimmt die Temperatur der Atmosphäre mit der Höhe stärker ab als nur um die bekannten -0,6 °C bis -1 °C pro 100 Höhenmeter, was dem Einfluss der Gravitation auf Dichte und Temperatur entspricht.

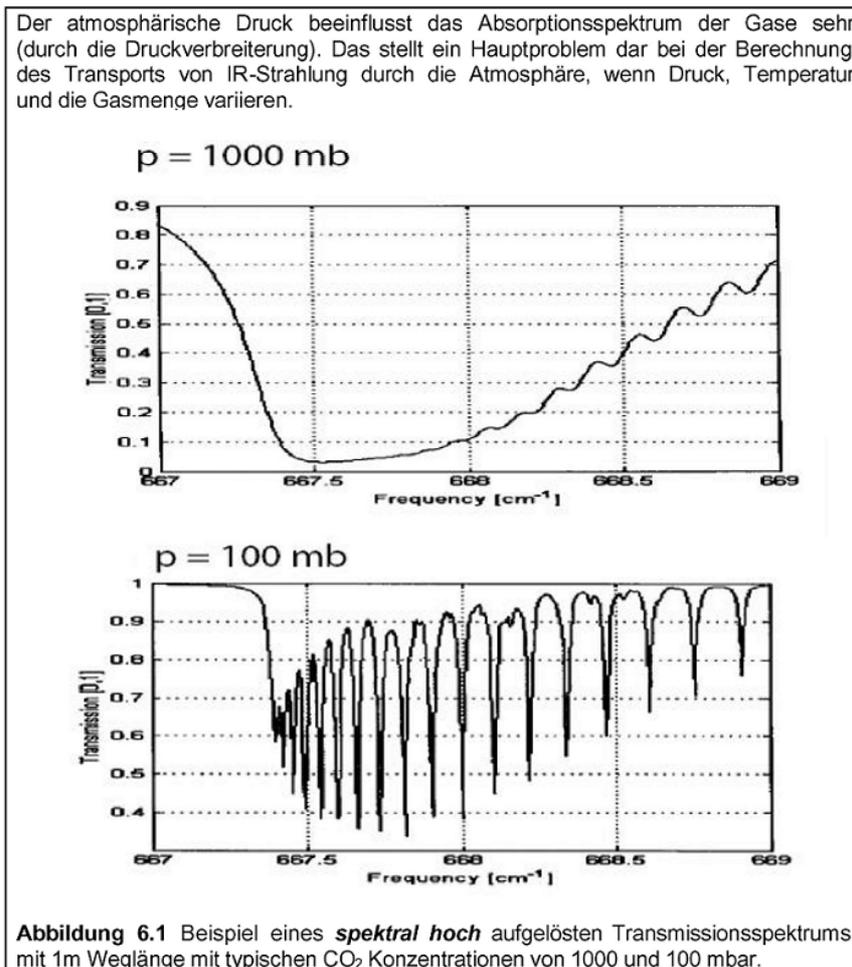
⁸ Mit Ausnahme der UV-Ozon-Anomalie.

⁹ Einschließlich der Wolken mit 7 %.

Dieser gewaltige Fluss an Wärmestrahlung aus der Atmosphäre ins Weltall, der mit 64 % größer ist als der Energiefluss von der Sonne zur Erdoberfläche mit 51 % macht das CO₂ zum wichtigsten Kühlmittel der Erde, obwohl es nur in Spuren von 400 ppm in der atmosphärischen Säule vorhanden ist. Der Gehalt an gasförmigem Wasser sinkt nämlich bei etwa 12 km Höhe am Oberrand der Troposphäre auf ca. 10 ppm ab, weil das gasförmige Wasser dort oben zu Eis kondensiert. Von 12 bis 75 km Höhe erfolgt die Strahlungskühlung mehr oder weniger alleine durch das CO₂.

CO₂ ist - nachweislich der Energieflüsse der Erdoberfläche - das wichtigste Kühlmittel der Erde wegen der besonders intensiven IR-Aktivität¹⁰ dieses Moleküls. (Abbildung 4) Ausgerechnet dem CO₂ eine erwärmende Wirkung - genannt Treibhauseffekt - herbei modelliert zu haben, ist eine der größten Fehlleistungen der Wissenschaftler.

Abbildung 4¹¹:



¹⁰ Die C=O-Bindung des CO₂-Moleküls ist wesentlich polarer als die H-O-Bindung des H₂O Moleküls. Daher sind die IR-Banden des CO₂-Moleküls wesentlich intensiver als die des H₂O-Moleküls.

¹¹ http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803_Fall2009/Lec6.pdf (übersetzt)