

Die Gesamtstrahlungsenergie pro Flächeneinheit ist

$$E = \int_A^B \frac{I(\lambda)}{\lambda} d\lambda$$

mit λ : Wellenlänge, $I(\lambda)$: Photonenintensität. Man kann so für jede Messung in bestimmter Höhe bestimmen, wie viel Energie die Erden erhält oder abstrahlt, wenn man das Intensitätsspektrum misst.

Wenn die Erdoberfläche etwas abstrahlt, wird in der Atmosphäre ein Teil absorbiert. Die Diskussion dreht sich dabei vorzugsweise um Kohlendioxid. In der Höhe h gilt aufgrund der Absorption (Wellenlänge zur Vereinfachung fortgelassen)

$$I(h) = I_0 \exp\left(-\mu \int_0^h \rho_{\text{CO}_2}(x) dx\right)$$

mit μ : Absorptionskoeffizient, $\rho_{\text{CO}_2}(x)$: Dichte (Normalerweise rechnet man im Lambert-Beerschen Gesetz mit konstanter Konzentration und Durchgangslänge, was man aber auch problemlos durch die Konzentrationsdichte ersetzen kann, um unterschiedliche Konzentrationen in verschiedenen Höhen zu berücksichtigen).

Man kann so berechnen, wie viel Strahlungsenergie im CO_2 -Absorptionsbereich in welcher Höhe vorhanden ist. Geht man von einer Rückstrahlung aus, d.h. einer Emission absorbierter Strahlen in eine beliebige Raumrichtung, trifft in der Höhe h über dem Erdboden aber nur der Teil

$$\frac{1}{\pi} \left(\pi - \arcsin\left(\frac{r}{h+r}\right) \right)$$

der Strahlung die Erdoberfläche mit r : Erdradius, also etwas weniger als die Hälfte.

Ab welcher Höhe kann man eine Rückstrahlung erwarten? Die Wahrscheinlichkeit, einen angeregten Zustand nach der Zeit t noch zu finden, ist

$$w(t) = \exp(-t/\tau)$$

mit τ : mittlere Lebensdauer. In einem Gas stoßen Moleküle andererseits im Mittel nach der Zeit $\theta(p, T)$ zusammen (p : Druck, T : Temperatur). Viele Stöße sind inelastisch, d.h. die Impulssumme ist nicht konstant und Energie wird vom Schwingungszustand in Translationsenergie=Wärme (oder umgekehrt) transferiert. Bei $\theta(p, T) \ll \tau$ wird also keine Spontanemission stattfinden, sondern die Schwingungsenergie in Wärme umgewandelt. Dies ist bezüglich der CO_2 -Absorption nach Abschätzungen (

$$\tau > 10^{-2} \text{ s}, \theta(0, 18^\circ \text{C}) < 10^{-5} \text{ s}) \text{ im größten Teil der Atmosphäre der Fall.}$$

Spontanemission (und damit Rückstrahlung) tritt also nur in der oberen Atmosphäre auf, woher vermutlich das Märchen kommt, die CO_2 Schicht reflektiere die IR-Strahlung. Tut sie natürlich nicht.

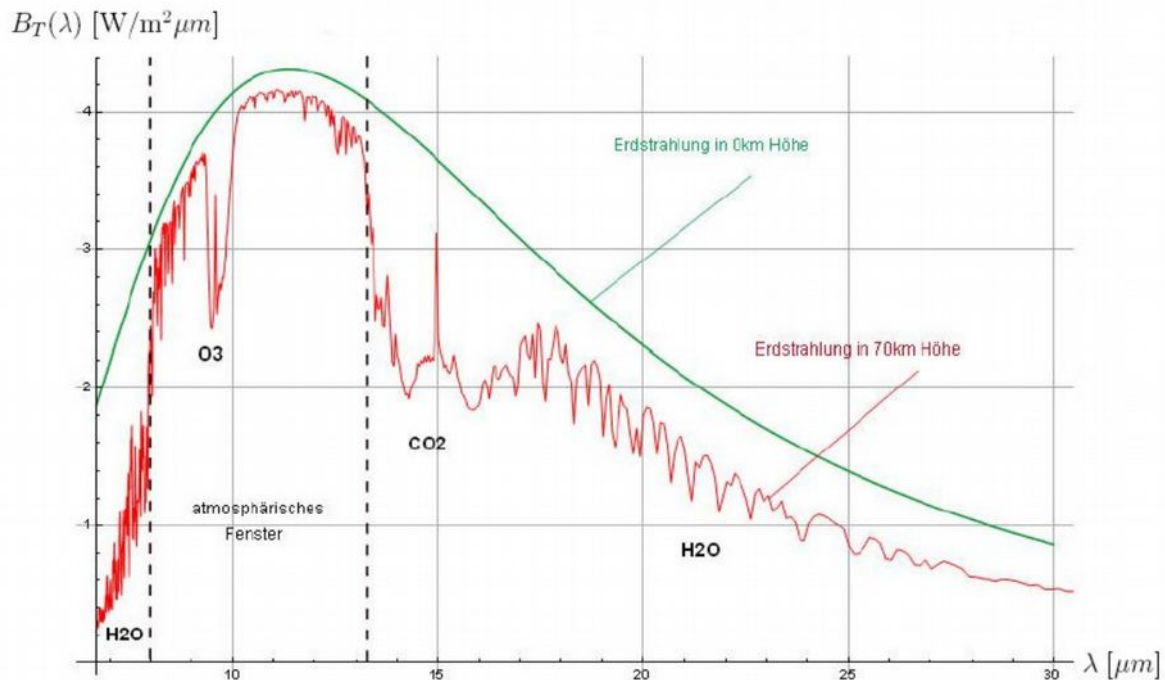
Anzumerken ist, dass in der oberen Atmosphäre nur noch ein Bruchteil der Strahlung des Erdbodens ankommt und der tatsächlich wieder emittierte Bruchteil wiederum in den tieferen Schichten absorbiert wird (um so mehr, je größer der Abstrahlwinkel von der Senkrechten abweicht, weil daraus eine größere Weglänge in der Atmosphäre folgt), bevor er die Erdoberfläche trifft. Die Erdoberfläche selbst wird also allenfalls durch infinitesimale Mengen durch Strahlung aufgeheizt.

Aufgeheizt wird allerdings die Atmosphäre durch die zusätzliche Wärme aus den Stößen. Insgesamt ergibt sich dadurch eine Erwärmung, indirekt auch eine wärmere Erdoberfläche, da sich aufgrund

$$dQ = k \cdot (T_{\text{Boden}} - T_{\text{Luft}}) \cdot dt \text{ der Wärmestrom durch Nichtstrahlungsprozesse aufgrund der höheren}$$

Lufttemperatur ändert. Wie groß der Effekt ist, hängt vom Sättigungsgrad der Atmosphäre an CO_2 bezüglich

der Absorption ab. Ein Messbeispiel zeigt die folgende Abbildung (weitere Details leider nicht dokumentiert).



Im Gleichgewichtszustand wird die absorbierte Strahlung letztlich in anderen Wellenlängenbereichen ebenfalls wieder abgestrahlt. Die für das CO_2 geltenden Überlegungen sollten weitgehend auch hierfür anwendbar sein.

Die Dichte $\rho_{\text{CO}_2}^{(x)}$ hängt in der Realität vom Wasser und seinem Aggregatzustand in der Luft ab. In Wolken liegen Wassertropfchen in der Größenordnung 5 – 500 μm vor, bei Regen auch im mm-Bereich. Kohlendioxid löst sich in Wasser recht gut und zwischen freien CO_2 und wassergebundenem CO_2 besteht die Beziehung

$$\frac{p_{\text{CO}_2}}{[c_{\text{CO}_2}]_{\text{Wasser}}} = k(T)$$

Gebundenes CO_2 besitzt andere Absorptionseigenschaften. Mit dem Abregnen wird CO_2 aus der Atmosphäre entfernt, ein Teil wird durch die mit Regenereignissen verbundenen Thermikeffekte auch in die obere Atmosphäre transportiert. Messungen der CO_2 -Konzentration in der Luft weisen daher auch sehr große Schwankungsbreiten in Abhängigkeit vom Wetter auf. Durch die Dynamik wird eine Gesamtbilanzierung, welche Wärmeeffekte wo zu erwarten sind, erschwert.

Fazit: ein größerer Einfluss der CO_2 -Konzentration auf die Temperatur auf der Erdoberfläche kommt nur unter ganz bestimmten Werten für die verschiedenen Parameter zu Stande, die vermutlich nicht vorliegen bzw. in bestimmten Bereichen anscheinend definitiv nicht vorliegen. Der größere Einfluss spielt sich anscheinend in der Atmosphäre selbst ab, die in ihrer Dynamik mutmaßlich viel Energie in die höheren Schichten transportiert, wo die Abstrahlung erleichtert ist. Die gleiche Dynamik macht eine verlässliche Simulation der Vorgänge aber auch schwierig bis unmöglich.