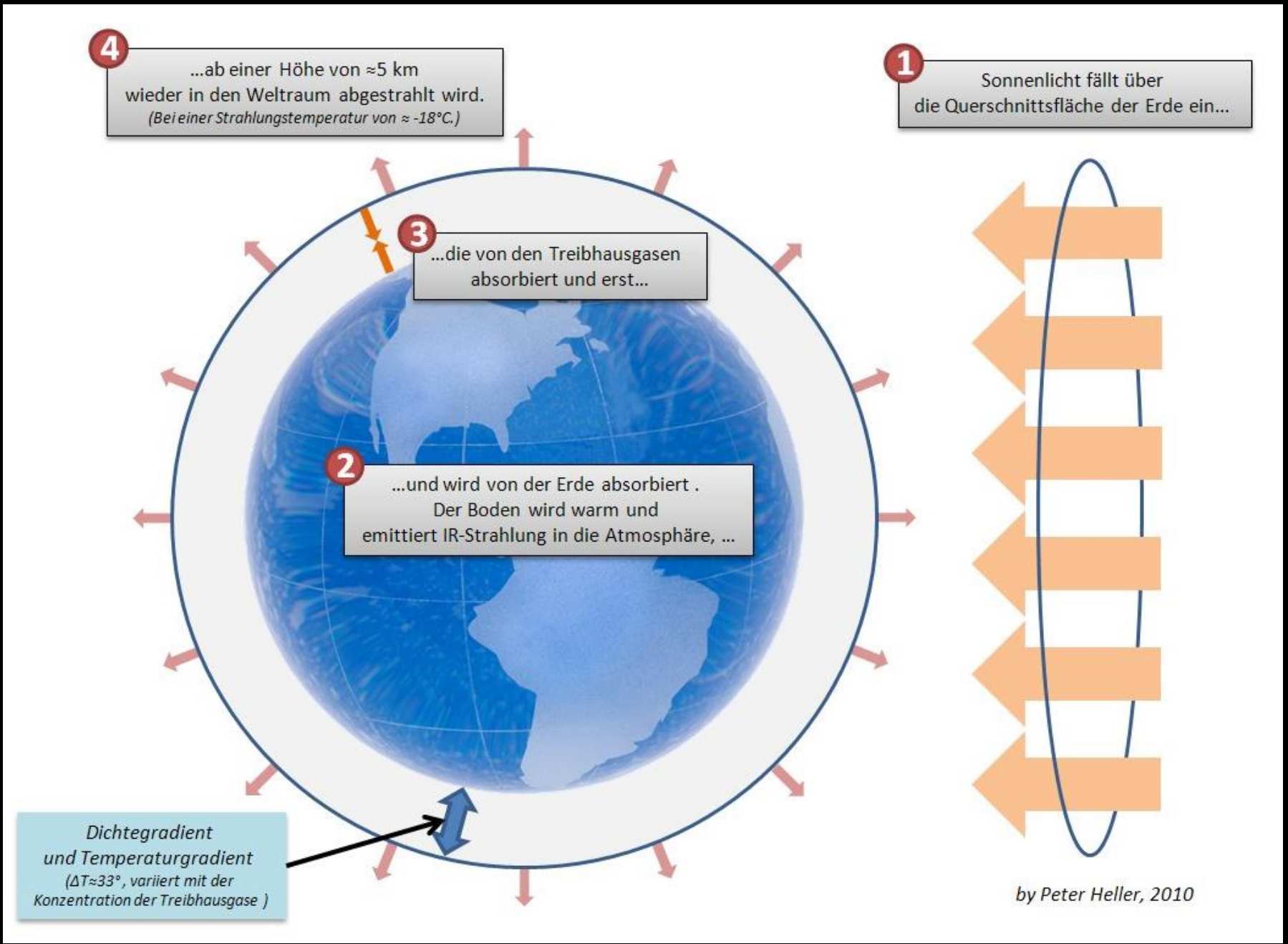
Kohlendioxid und Kohlenstoffkreislauf (Teil 1)

Wiederholung: Natürlicher Treibhauseffekt



Klimasensitivität der Treibhausgase

Die **Klimasensitivität** ist eine Größe, die die globale Erwärmung der Erdatmosphäre durch die Wirkung von Treibhausgasen ins Verhältnis zu einer Strahlungseinheit setzt. Man kann sie in Grad Celsius pro Watt je Quadratmeter (°C/(W/m²) angeben.

Jedes Treibhausgas hat seine eigene Klimasensitivität. In der Regel betrachtet man aber nur die Klimasensitivität des Kohlendioxids, und zwar in der Fragestellung:

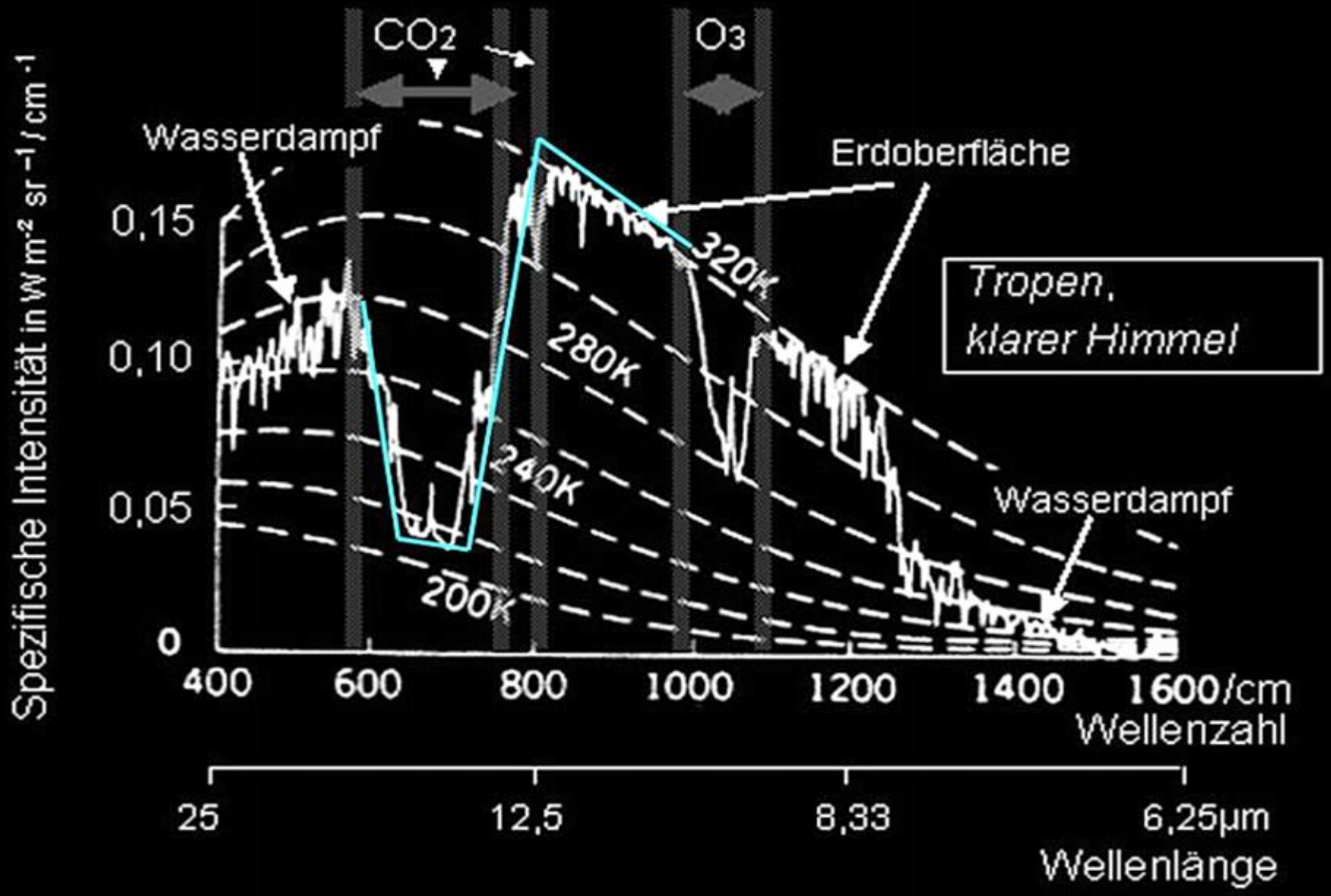
Um wieviel erhöht sich die mittlere globale Temperatur der Erdoberfläche, wenn der Gehalt der Atmosphäre an Kohlendioxid verdoppelt wird (d. h. von 0,03% auf 0,06%)? [3,7 W/m²]

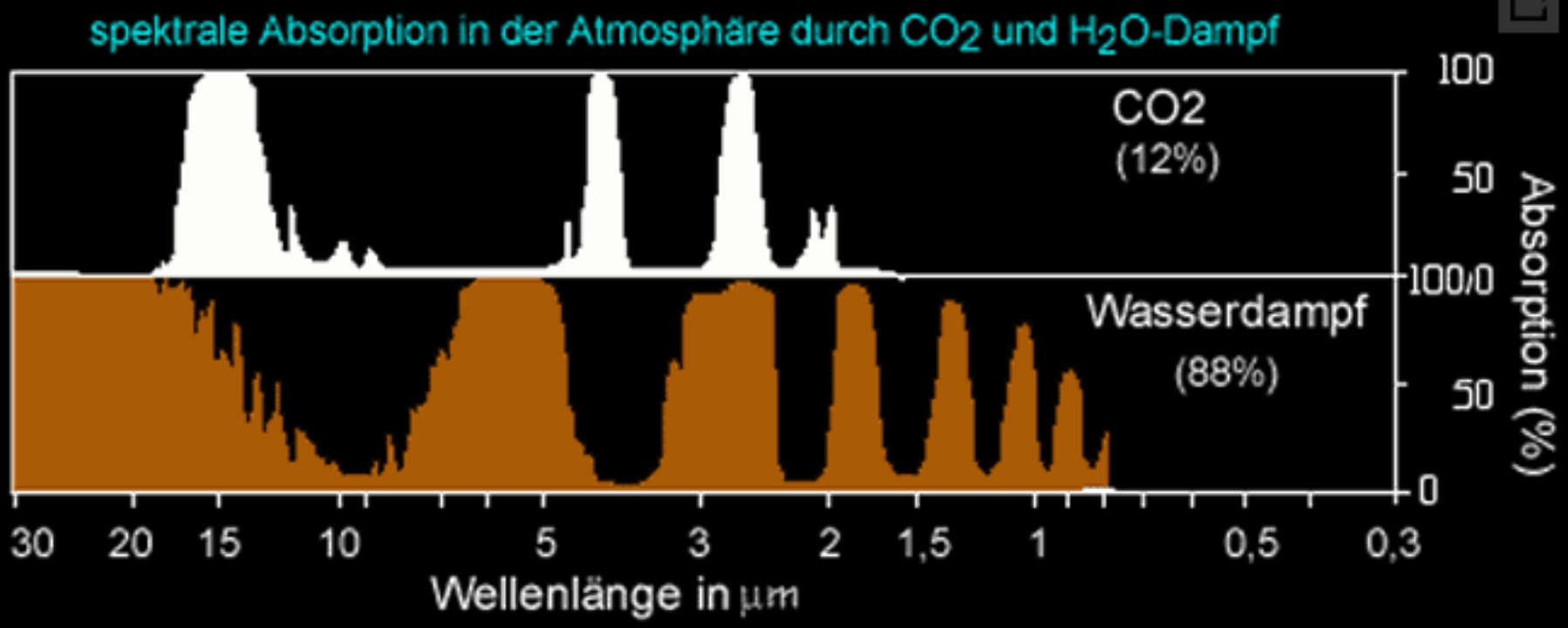
(vorindustriell 280 ppm, heute 479 ppm)

Für die postulierte anthropogene globale Erwärmung ist die Klimasensitivität von CO_2 ausschlaggebend, da nur deren Konzentration sich durch menschliche Einflüsse erhöht. Deshalb ist diese Kennziffer (sie liegt nach IPCC zwischen 1,5 und 2,8 °) von großer Bedeutung, da sie ein wesentlicher vorgegebener Eingabeparameter von globalen Klimamodellen ist und deren Ergebnisse stark beeinflusst.

Frage: Wie und wie genau lässt sich die Klimasensitivität von Treibhausgasen bestimmen?

Theoretische Untersuchungen zum Absorptionsverhalten klimarelevanter Gase



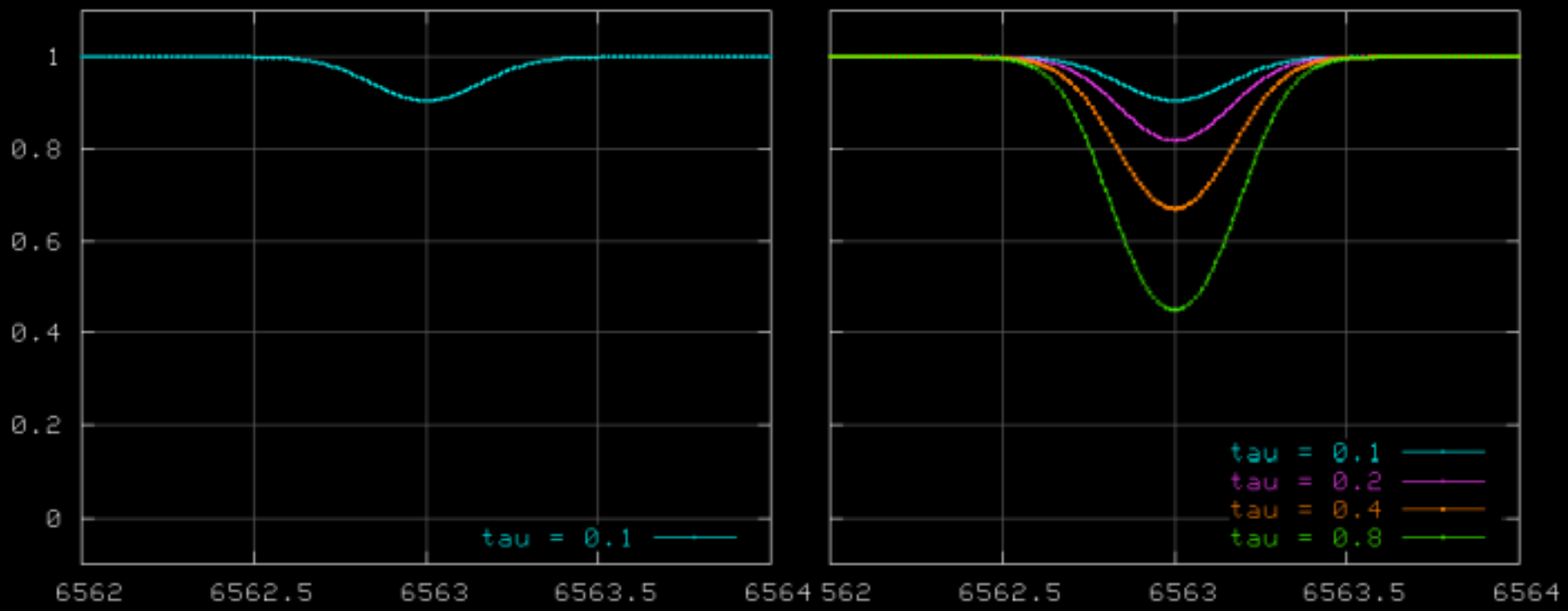


Wie verändert sich das Absorptionsverhalten der Erdatmosphäre, wenn man die Konzentration der Treibhausgase erhöht?

-- gibt es überhaupt einen Effekt?
-- wenn ja, wie groß ist er?

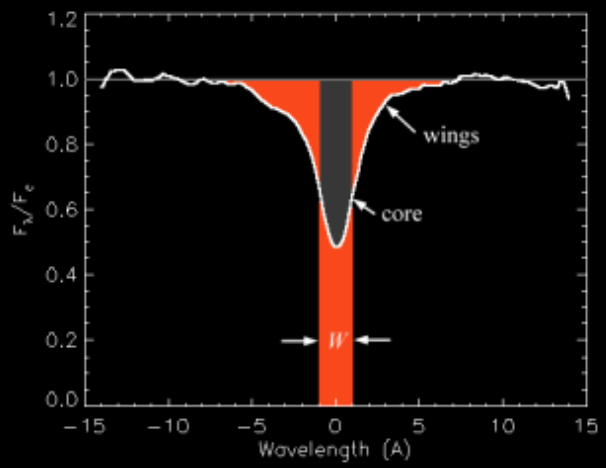
Methode: Modellrechnungen Strahlungstransport in der Erdatmosphäre

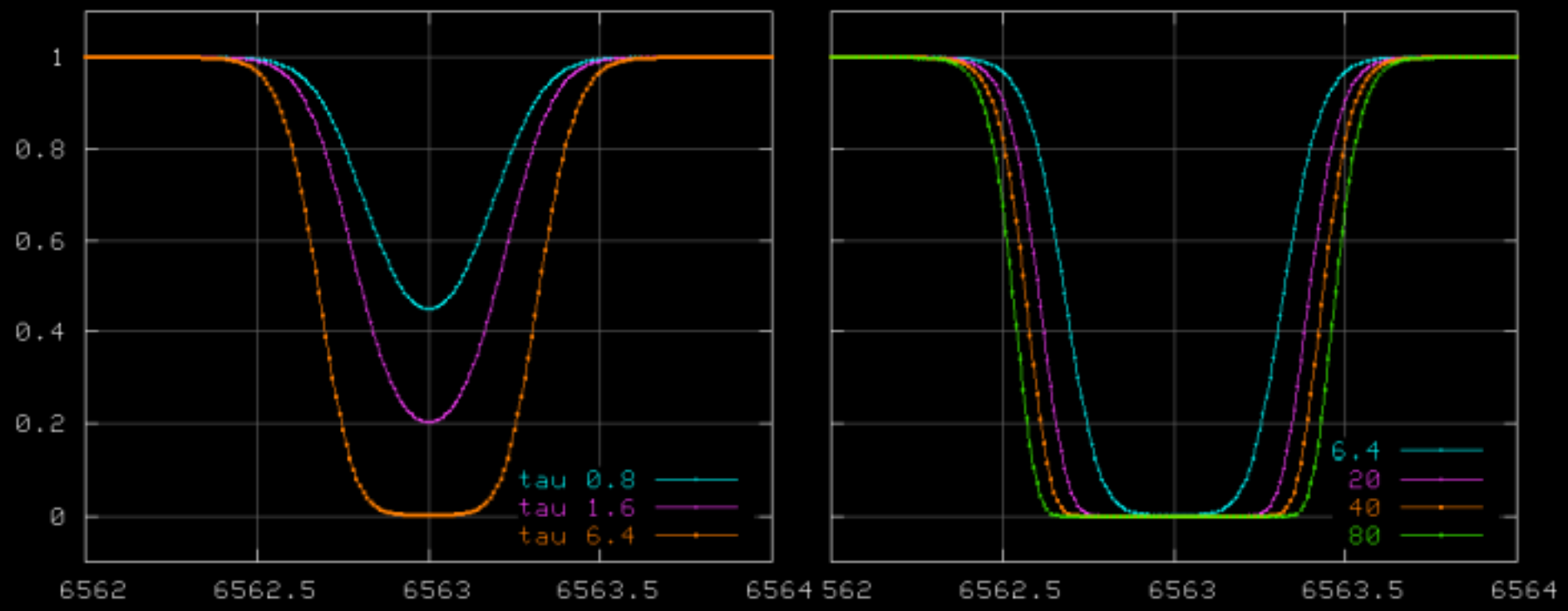
Änderung des Profils einer Absorptionslinie bei Konzentrationserhöhung des absorbierenden Gases



$$\frac{I}{I_0} = e^{-\kappa \rho s}$$
$$= e^{-\tau}$$

τ = „optische Tiefe“





Im Bereich zwischen 0,1 und 8 µm (nahes IR) liegen

60.994 Absorptionslinien des Wassermoleküls
162.104 Absorptionslinien des Methanmoleküls
234.210 Absorptionslinien des Kohlendioxidmoleküls

Molekülanregungen Wassermolekül

Sie liegen so dicht beieinander, so dass sie „Banden“ ausbilden …

Um die Klimasensitivität von (z. B.) Kohlendioxid bestimmen zu können, muss man in einem entsprechenden Modell die Beiträge aller in einer Datenbank (HITRAN) mit ihren Absorptionskoeffizienten gelisteten Absorptionslinien berechnen und aufsummieren.

→ Lösung der Strahlungstransportgleichungen

Methode (Prinzipskizze)

- Annäherung der kugelförmigen Erde durch ein abgestumpftes Ikosaeder
- Unterteilung der unteren Atmosphäre in Schichten (z. B. 250)
- Berechnung des Strahlungsflusses von der Erdoberfläche bis zur abstrahlenden Schicht
- Berechnung des Rückstrahlungsanteils
- Bestimmung der Wechselwirkungsanteile (Rückkopplungen) der Treibhausgase

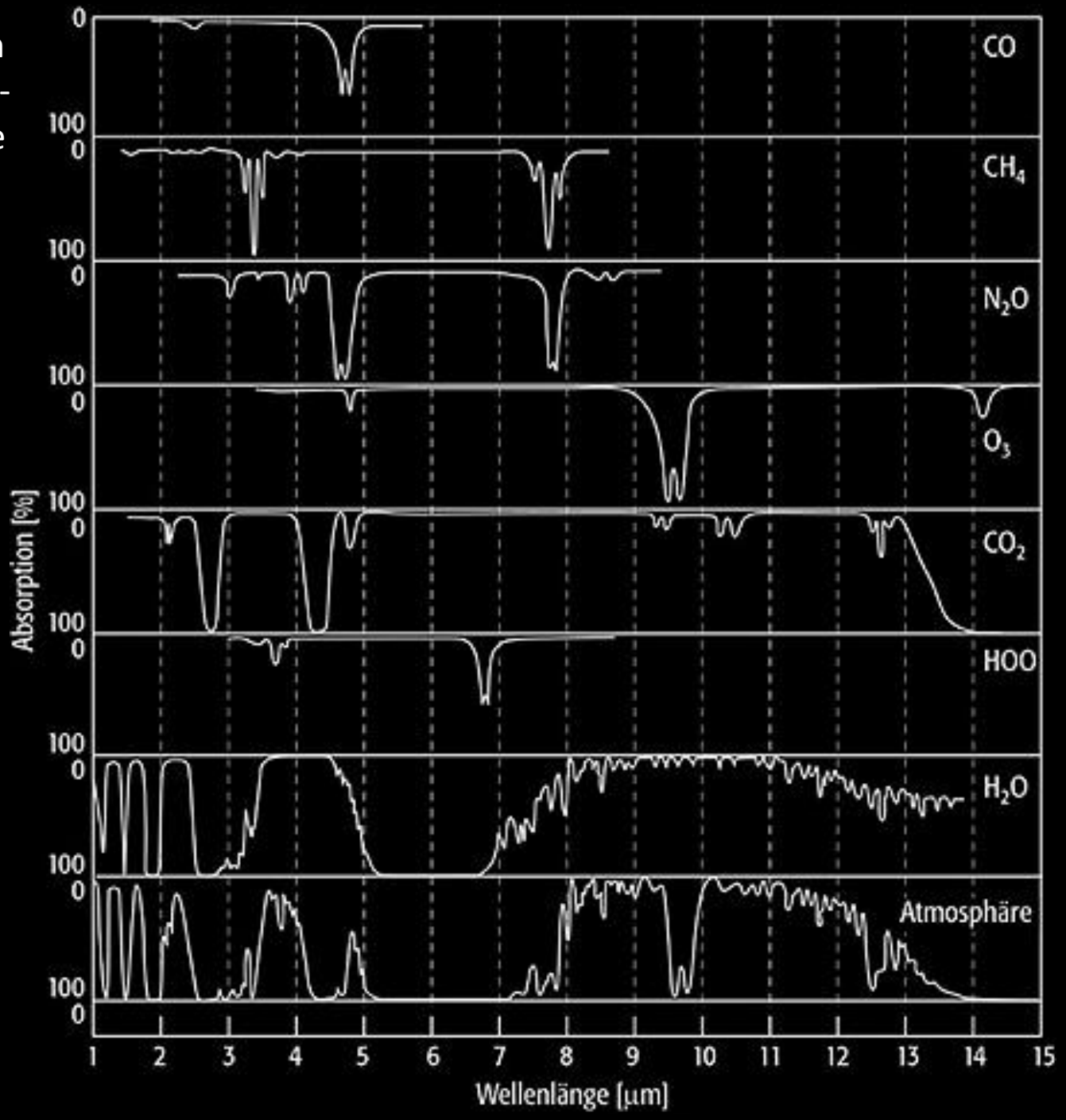
Ergebnisse:

Hinweis: Die Ergebnisse derartiger Rechnungen unterscheiden sich je nach realisierten Modell mehr oder weniger stark, liegen aber, was die Klimasensitivität von CO2 betrifft, in der Bandbreite des IPCC (1 bis 3°)

- CO_2 hat noch Potential (d. h. die Sättigung ist noch nicht vollständig erreicht), wobei das Potential durch Überlappung mit den H_2O-Absorptionen abgeschwächt wird.
- Eine Erhöhung (Verdopplung) der CO_2-Konzentration selbst erhöht den Treibhauseffekt nur marginal (1 bis 1,5°) → ungünstige Rückkopplungen können den Effekt verstärken

Anteile der klimawirksamen Moleküle an der Strahlungs-absorption der Troposphäre

CO_2 schließt Lücken im Bereich der Wasserdampf-absorption und ist damit eine wichtige Regelgröße



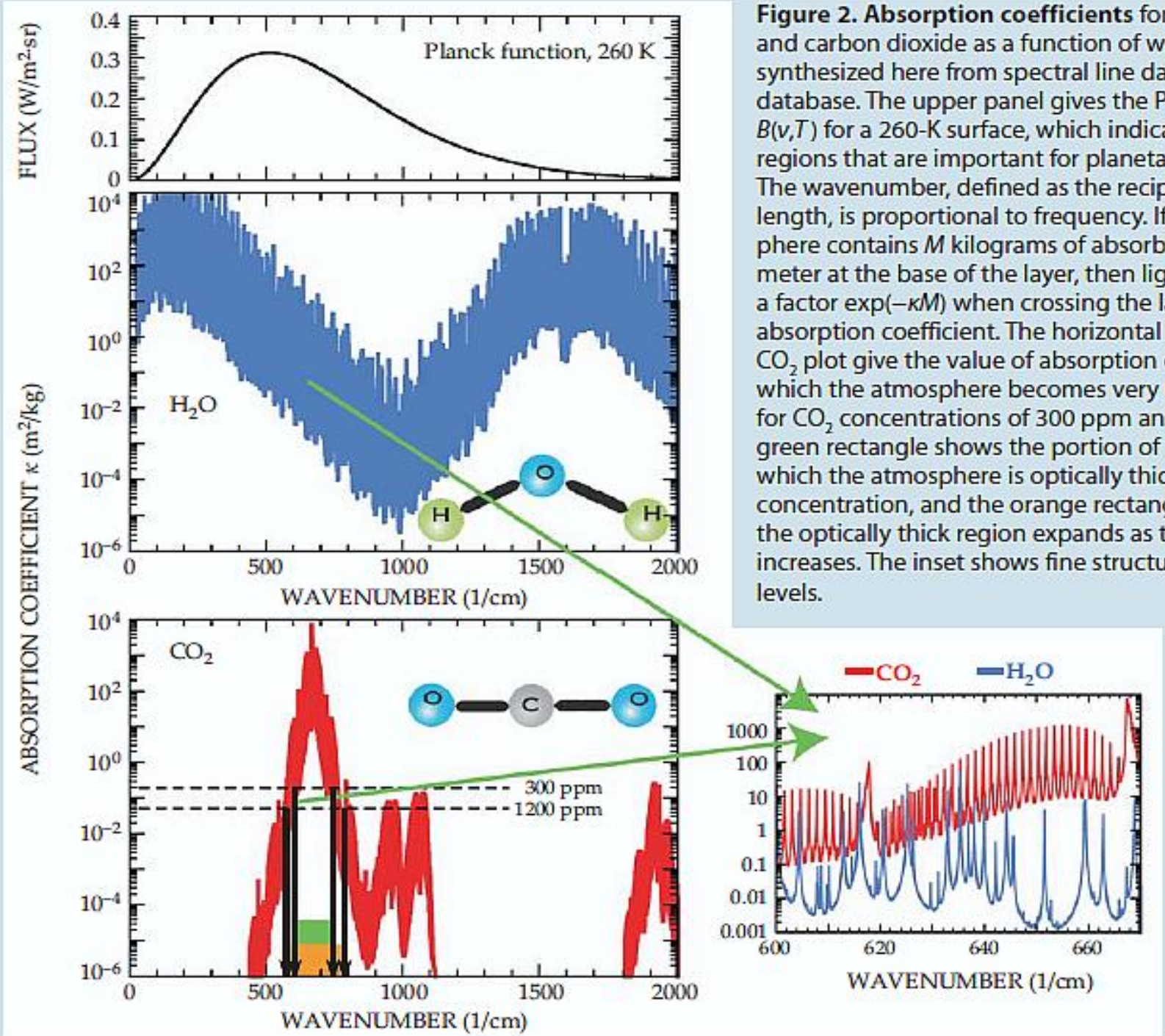


Figure 2. Absorption coefficients for water vapor and carbon dioxide as a function of wavenumber are synthesized here from spectral line data in the HITRAN database. The upper panel gives the Planck function $B(\nu,T)$ for a 260-K surface, which indicates the spectral regions that are important for planetary energy balance. The wavenumber, defined as the reciprocal of the wavelength, is proportional to frequency. If a layer of atmosphere contains M kilograms of absorber for each square meter at the base of the layer, then light is attenuated by a factor $\exp(-\kappa M)$ when crossing the layer, where κ is the absorption coefficient. The horizontal dashed lines on the CO_2 plot give the value of absorption coefficient above which the atmosphere becomes very strongly absorbing for CO_2 concentrations of 300 ppm and 1200 ppm; the green rectangle shows the portion of the spectrum in which the atmosphere is optically thick for the lower concentration, and the orange rectangle indicates how the optically thick region expands as the concentration increases. The inset shows fine structure due to rotational levels.