

Wie funktioniert der Treibhauseffekt?

Elektromagnetische Strahlung

Materie sendet elektromagnetische Strahlung aller Wellenlängen in Form von Photonen aus (Emission), und zwar um so mehr je wärmer der emittierende Körper ist. So sorgt z.B. die Emission von der ca. 6000 °C heißen Sonnenatmosphäre für das sichtbare Licht auf der Erde. Andererseits wird einfallende elektromagnetische Strahlung von Materie verschluckt (Absorption) und trägt dadurch zur lokalen Energieerhöhung bei, die sich meist in einer Erwärmung ausdrückt. So wird z.B. das Licht der Sonne in der irdischen Atmosphäre und vor allem am Erdboden absorbiert und erwärmt diese.

Bei den Temperaturen der Erde und der Atmosphäre findet die Emission elektromagnetischer Strahlung (oft auch Wärmestrahlung genannt) überwiegend im sogenannten thermischen Bereich des Wellenlängen-Spektrums zwischen 3 und 50 μm statt. Da diese Wellenlängen viel größer als die der einfallenden Sonnenstrahlung (zwischen 0,3 und 3 μm) sind, kann man die beiden Strahlungsarten und Spektralbereiche getrennt betrachten.

Emission und Absorption finden bei den meisten Gasen, wie z.B. bei den wichtigsten Treibhausgasen Wasserdampf und CO_2 , in Spektrallinien und -banden (Ansammlungen von Linien) in festen Wellenlängenbereichen statt. Die beiden Hauptgase der Atmosphäre Sauerstoff (O_2) und Stickstoff (N_2) absorbieren und emittieren jedoch in den hier betrachteten Bereichen des Spektrums nur unwesentlich.

Der Treibhauseffekt

Bei einer Erde ohne Atmosphäre wäre die Oberflächentemperatur durch die Bilanz zwischen eingestrahelter Sonnenenergie und der vom Boden abgestrahlten Wärmestrahlung festgelegt. Diese Oberflächentemperatur würde im globalen Mittel etwa -20 °C betragen. Selbst eine Atmosphäre nur aus Sauerstoff und Stickstoff würde daran wenig ändern, da diese Gase kaum strahlungsaktiv sind.

Dagegen absorbieren Wasserdampf und in geringerem Maße auch CO_2 (und andere Spurengase) Teile der Sonnenstrahlung und geben selbst Wärmestrahlung ab. In Richtung zum Erdboden übertrifft diese zusätzliche Wärmestrahlung aus der Atmosphäre die Absorption der Sonnenstrahlung in der Atmosphäre stark und bewirkt so am Erdboden eine höhere Energieeinstrahlung, als dies ohne solche Gase der Fall wäre. Diese vermehrte Einstrahlung führt zu einer Erwärmung des Erdbodens und (infolge verschiedener Transportvorgänge) auch der unteren Atmosphäre.

Diese Erwärmung des Bodens verursacht aber auch eine erhöhte Abstrahlung, die nur zum kleineren Teil direkt in den Weltraum gelangt. Überwiegend wird sie durch die atmosphärischen Treibhausgase absorbiert, die dafür selbst Strahlung emittieren.

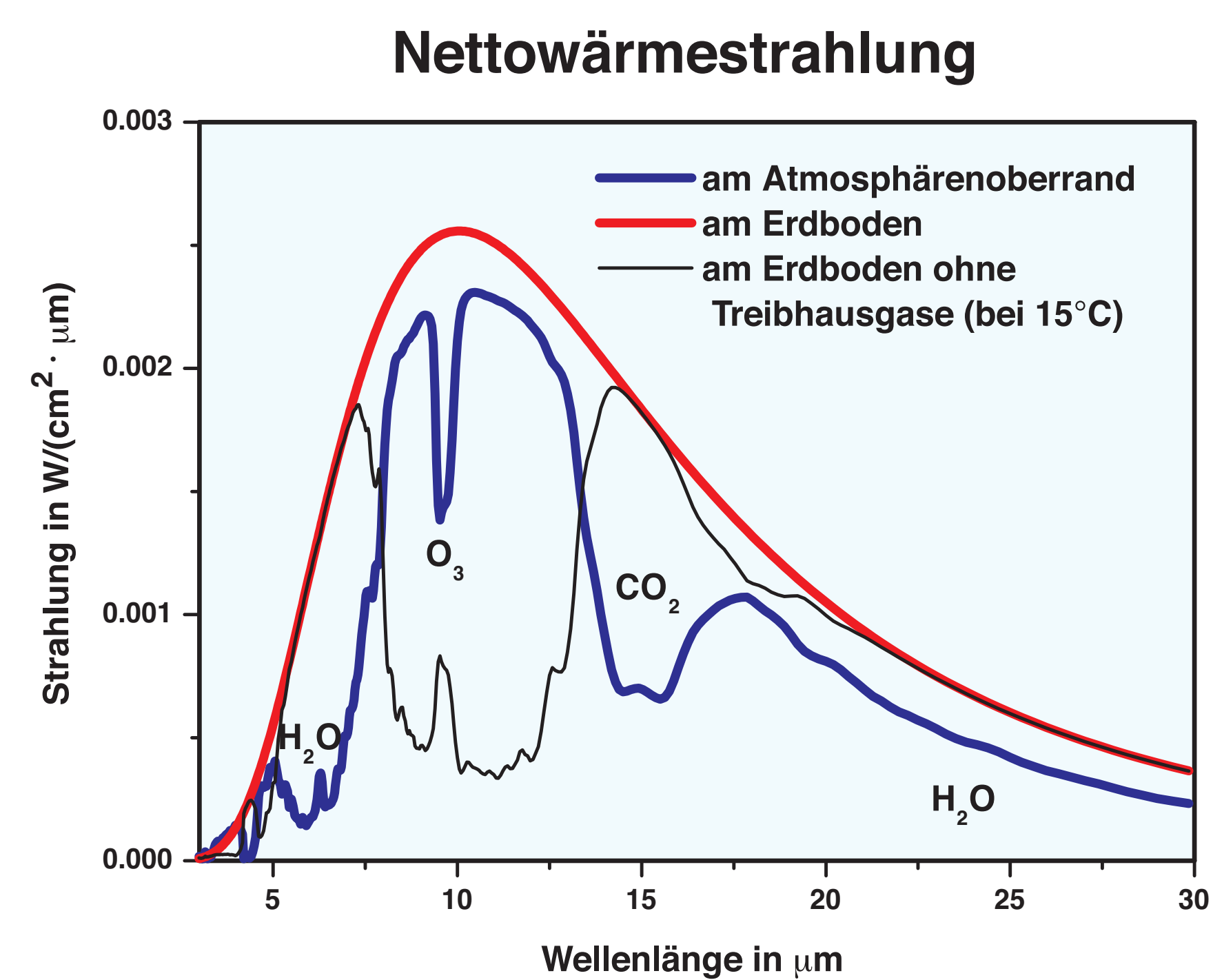
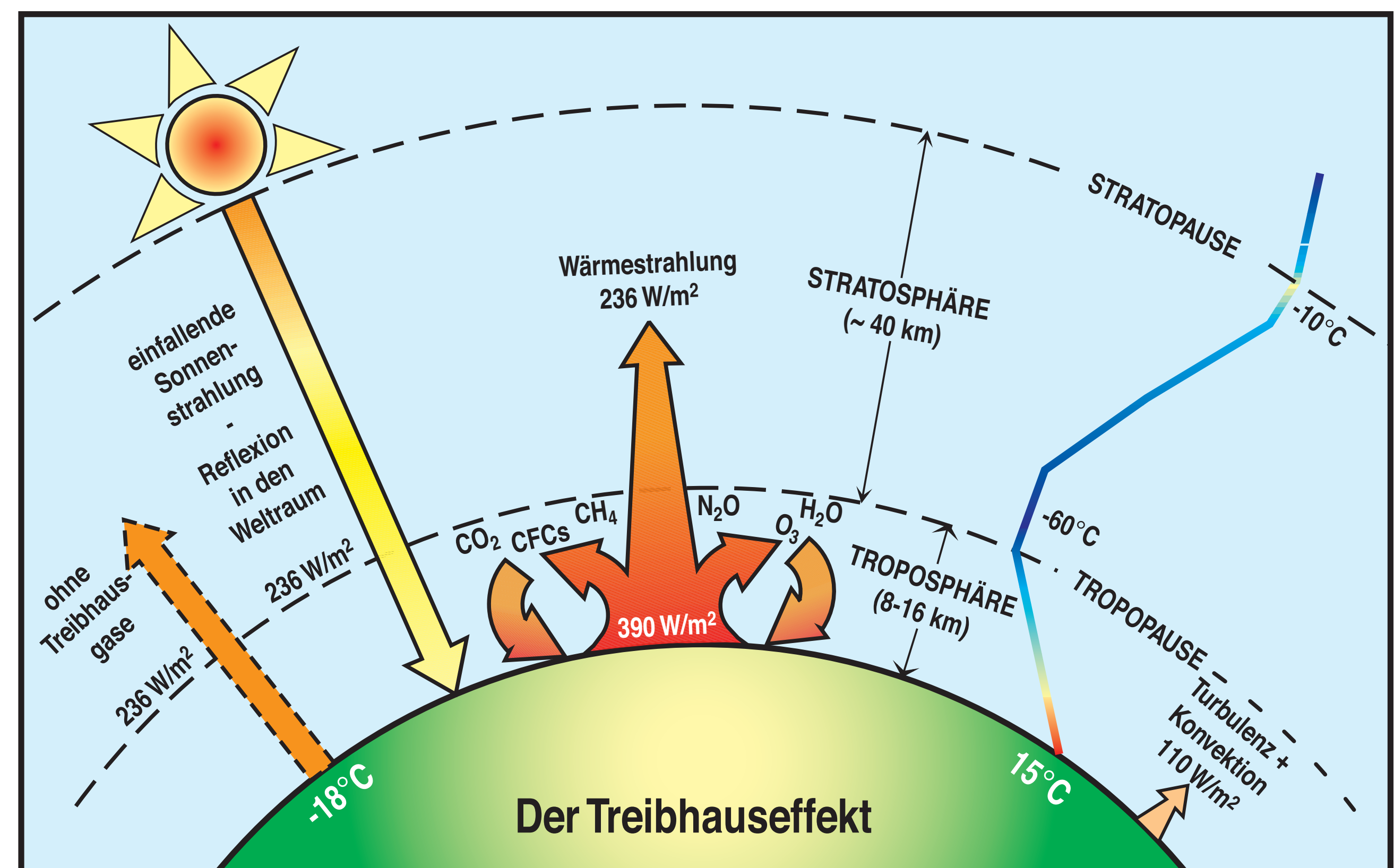
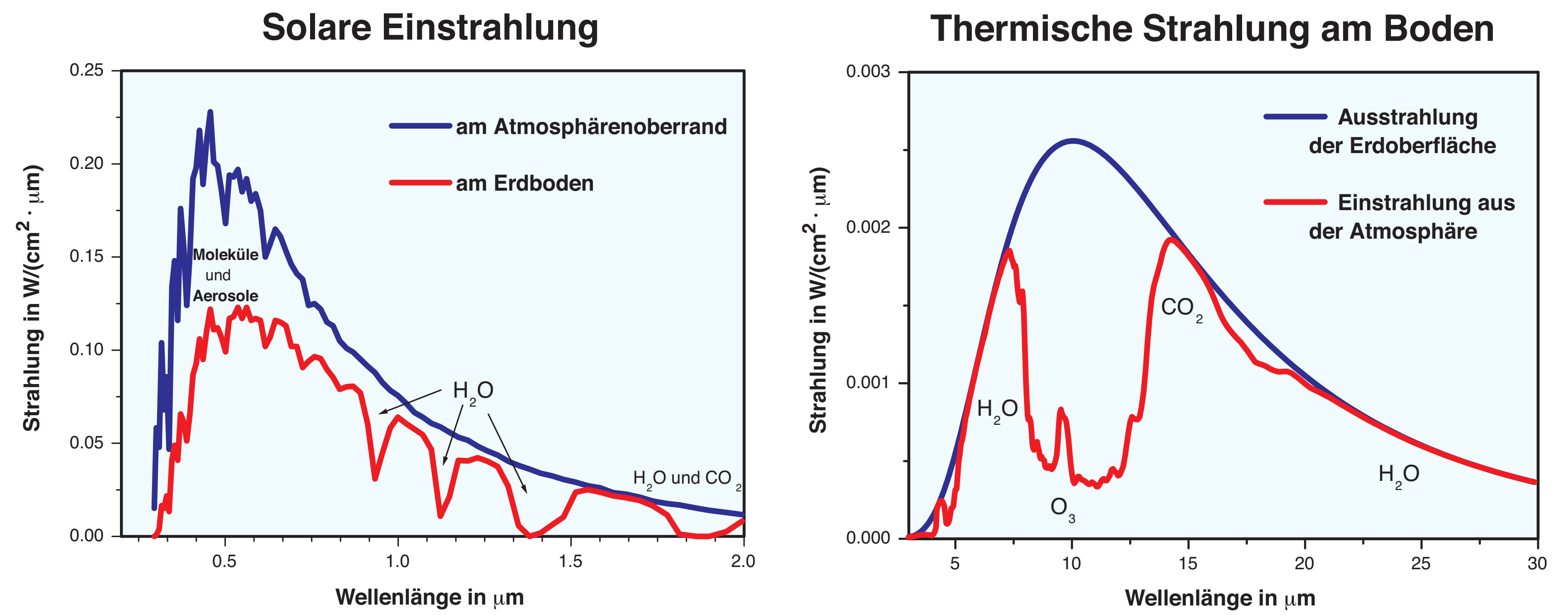
Diese ist aber wegen der Temperaturabnahme mit der Höhe in der Atmosphäre geringer als die des Erdbodens und sie gleicht daher die Strahlungsbilanz am Aussenrand der Atmosphäre aus. Für diesen Ausgleich ist vor allem das atmosphärische Strahlungsfenster entscheidend, der Spektralbereich bei 10 μm Wellenlänge innerhalb dessen die Strahlung von der Oberfläche bei wolkenloser Atmosphäre nur leicht geschwächt in den Weltraum entweichen kann.

Zu dieser lebenserhaltenden Erwärmung trägt Wasserdampf (H_2O) etwa zu zwei Drittel bei; es folgen Kohlendioxid (CO_2) mit einem Anteil von ca. 15%, Ozon mit unter 10% und schließlich Distickstoffoxid (N_2O) und Methan (CH_4) mit je etwa 3%. Darüber hinaus ist aber auch die Wirkung der Bewölkung und der Schwebeteilchen (Aerosole) auf die Sonnen- und Wärmestrahlung zu beachten, deren Zunahme eine im Mittel abkühlende Wirkung auf das Klimasystem hat.

Wegen der Analogie mit den Vorgängen in einem Treibhaus, dessen Glasdach ebenfalls die Sonnenstrahlung gut durchlässt, die Wärmestrahlung von der Erdoberfläche aber nicht entweichen lässt, ist das hier beschriebene Phänomen auch als natürlicher Treibhauseffekt bekannt. Beim Gebrauch dieser Treibhausanalogie ist aber Vorsicht geboten vor der allzu direkten Übertragung des Bildes auf die reale Atmosphäre. Gerade die Vernachlässigung von gleichzeitiger Absorption und Emission von Wärmestrahlung durch die Treibhausgase in verschiedenen Höhen der Atmosphäre führt hier immer wieder zu Verwirrung. Ausserdem sind natürlich die Verhältnisse in der strömenden Atmosphäre mit Bewölkung viel komplizierter als im Treibhaus eines Gärtners.

Anthropogener Treibhauseffekt

Werden die natürlich vorhandenen Treibhausgase durch menschlichen Einfluss vermehrt oder um neue Stoffe (z.B. FCKW) ergänzt, so muss sich die Temperatur des Bodens und der unteren Atmosphäre weiter erhöhen. Tatsächlich hat die Konzentration langlebiger Treibhausgase in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. Hierdurch wird eine langfristige Erwärmung der unteren Atmosphäre und der Erdoberfläche angestoßen. Deren Ausmaß ist aber stark von der Reaktion des Wasserkreislaufs (Wasserdampf, Bewölkung, Niederschlag, Verdunstung, Schneebedeckung, Meereisausdehnung, usw.) bestimmt. Der Wasserkreislauf kann sowohl verstärkend als auch dämpfend eingreifen, weil viele seiner Zweige stark temperaturabhängig sind. Die daraus folgenden Auswirkungen vermehrter Treibhausgase auf das regionale und globale Klima können nur mit möglichst vollständigen und daher aufwändigen Klimamodellrechnungen untersucht werden.



Wichtige langlebige Treibhausgase, die durch unsere Aktivitäten zunehmen

	CO_2	CH_4	N_2O	FCKW-12	SF_6
Konzentration (in ppm)	370	1,75	0,32	0,00032	$4 \cdot 10^{-6}$
Verweildauer einer zusätzlichen Menge (in Jahren)	>100	ca. 12	120	ca. 100	3200
Konzentrationsanstieg (in %/a)	0,4	0,5 - 1,0	0,25	~ 0	5
Treibhauspotential nach 100 Jahren im Vergleich zu CO_2	1	24	360	10600	22200
Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt (in %)	50	20	5	10	<<1

