

STRAHLUNGSHAUSHALT DER ERDE

Atmosphäre und Energiebilanz

Der Mond hat einen sehr ähnlichen Abstand zur Sonne wie die Erde. Dementsprechend wird er in etwa mit der gleichen Strahlungsenergie pro Fläche von der Sonne versorgt. Dennoch ist er mit einer gemittelten Oberflächentemperatur von -55°C bedeutend kälter. Bei uns auf der Erde liegt die globale Durchschnittstemperatur dagegen bei 15°C . Wie kann das sein?

Den Unterschied verdanken wir unserer Erdatmosphäre. Sie besteht zum größten Teil aus Stickstoff (N) und Sauerstoff (O). Doch die beiden Hauptbestandteile unserer Luft haben mit dem Treibhauseffekt nichts zu tun. Dafür verantwortlich sind Spurengase, die in nur sehr geringen Mengen in der Atmosphäre vorhanden sind, die diesen enormen Effekt auf unser Klima haben. Bevor wir uns die Treibhausgase und ihre Wirkungsweise genau anschauen, werfen wir noch einen Blick auf den Strahlungshaushalt, sozusagen die Energiebilanz, der Erde.

Ankommende Strahlung (Obergrenze Atmosphäre bis Erdoberfläche)

Die kurzwellige Sonnenstrahlung erreicht die Obergrenze der Atmosphäre mit einer durchschnittlichen Leistung von 342 W m^{-2} . Die ankommende Strahlung wird entweder reflektiert oder absorbiert.

Reflektierter Anteil

Der reflektierte Anteil der Sonnenstrahlung entfaltet keine Wirkung. Die elektromagnetische Strahlung trifft dabei auf einen Widerstand, wird abgelenkt und wieder ins All zurückgestrahlt. Reflexion findet in der Atmosphäre durch Aerosolpartikel und an Wolkenoberflächen statt. Auch an der Erdoberfläche, insbesondere auf hellen Flächen, wie den vereisten Polargebieten, wird Strahlung reflektiert. Insgesamt summiert sich der reflektierte Anteil auf 107 W m^{-2} .

Absorbierter Anteil

Ein Teil der Einstrahlung (67 W m^{-2}) wird auf dem Weg zur Erde noch von der Atmosphäre aufgenommen. Dafür können Ozonmoleküle, die energiereiche UV-Strahlung absorbieren können, Aerosolpartikel oder auch Bewölkung verantwortlich sein. Der verbleibende Rest von 168 W m^{-2} erreicht die Erdoberfläche und erwärmt sie (selbstverständlich durch Absorption).

Absorption

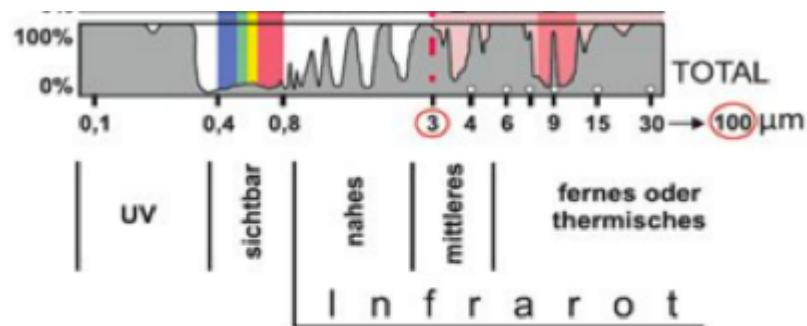
Atome und Moleküle lassen sich durch Energiezufuhr anregen. Diese Anregung besteht beispielsweise in Schwingungen und/oder Rotationen der Teilchen. Jede Veränderung von einem nicht angeregten in einen angeregten (oder noch angeregteren) Zustand erfordert eine bestimmte Menge Energie, die den Übergang erst ermöglicht. Wird durch die Aufnahme (Absorption) eines Photons genau diese erforderliche Energiemenge bereitgestellt, erfolgt der Übergang auf ein neues, höheres Energieniveau. Teilchen sind also in der Lage, ein Photon eines bestimmten Wellenlängenbereiches zu absorbieren, wenn er genau die für eine Zustandsänderung erforderliche Energiemenge bereitstellt.

Durch die Absorption werden Photonen einer bestimmten Wellenlänge aus der Gesamtbandbreite der Strahlung herausgefiltert. Bei einer vollständigen Absorption schafft es also kein einziges Photon dieser Wellenlänge mehr durch die Materie hindurch.

Atome und Moleküle können zu vielen verschiedenen Zuständen angeregt werden. Da jeder einzelne einen unterschiedlichen Energiebetrag erfordert, ergibt sich daraus ein sogenanntes Absorptionsspektrum. Bei den im Vergleich zu Atomen komplexer aufgebauten Molekülen liegen viele mögliche Energiezustände oft sehr nahe beisammen.

Man erkennt also keine eindeutige Wellenlänge bzw. Absorptionslinie mehr, sondern viel mehr einen Absorptionsbereich, den man Absorptionsbande nennt.

Der folgenden Grafik können wir die Absorptionsbanden der einzelnen Treibhausgase entnehmen. Da im Gasgemisch unserer Atmosphäre alle Treibhausgase gleichzeitig wirken, ergibt sich das Absorptionsspektrum unserer Atmosphäre aus der Überlagerung der Absorptionsspektren aller in ihr vorhandenen Treibhausgase.



Nach: HOFFMAN, SIMMONS, *The Resilient Earth: Science, Global Warming and the Fate of Humanity*, 2008. WEISCHET, ENDLICHER: *Einführung in die Allgemeine Klimatologie*, 2008. (verändert)

<https://slideplayer.org/slide866614/2/images/12/Treibhausgase%3A+Einfluss.jpg>

Emission

Bei der Emission von elektromagnetischer Strahlung verhält es sich genau umgekehrt wie bei der Absorption. Es wird Strahlung und damit Energie abgegeben und zwar genau so viel, wie zunächst für die Zustandsänderung aufgenommen werden musste.

Abstrahlung von der Erde

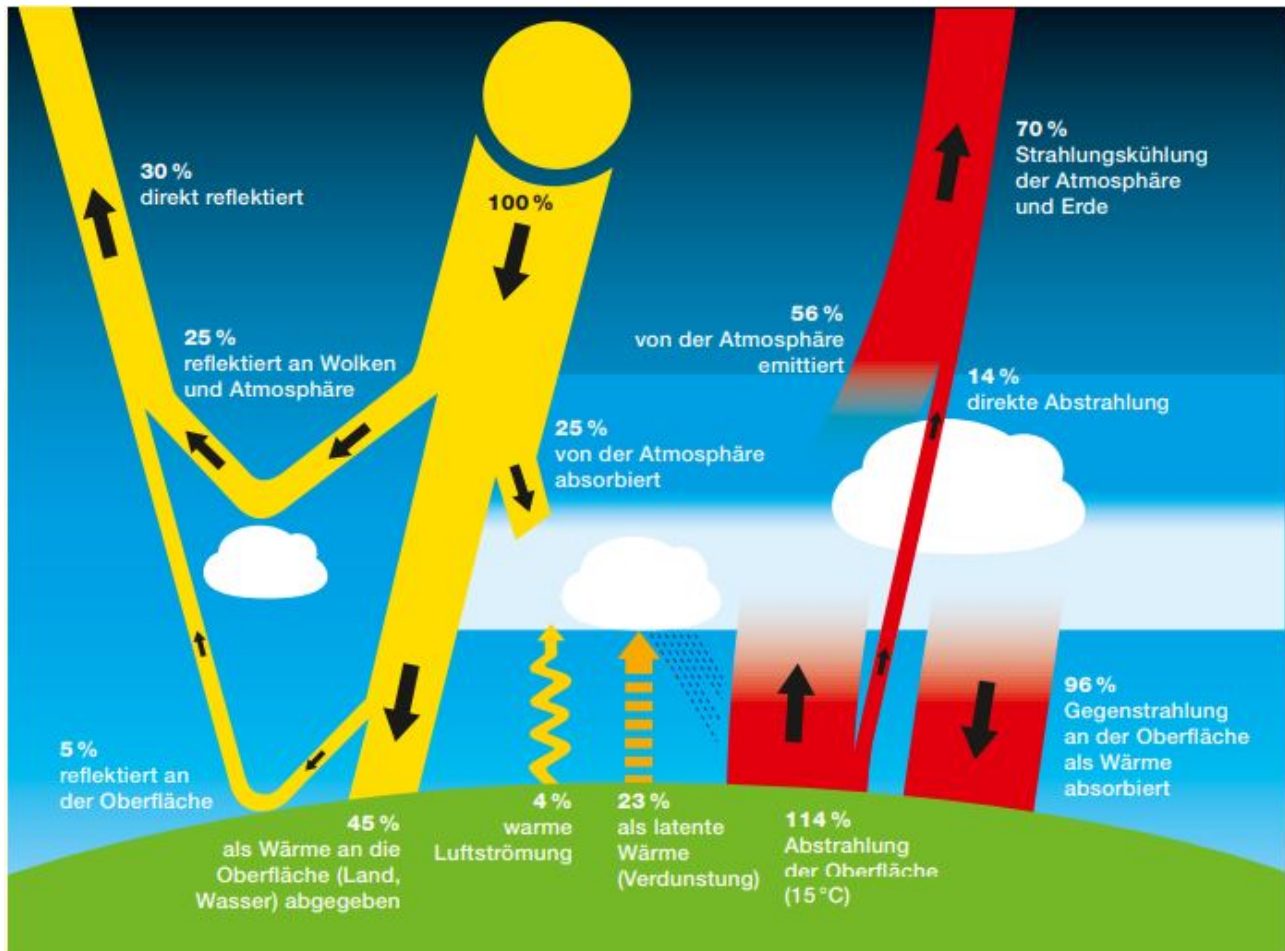
Von der ankommenden Sonnenstrahlung erreicht etwa 50% die Oberfläche der Erde. Die Erde absorbiert die Energie und strahlt Wärme wieder ab. Mit ihrer Durchschnittstemperatur von 15° C ist sie ein sehr schwacher Strahler und sendet Strahlung im Infrarotbereich aus.

Über die Erdoberfläche strahlt die Erde sage und schreibe 390 W/m² ab. Dieser Wert erscheint zunächst höchst fragwürdig, da er ja noch deutlich höher liegt als die ursprüngliche Sonneneinstrahlung.

Noch erstaunlicher wird es, wenn man erfährt, dass weitere 102 W/m² über Verdunstungsprozesse (Evatranspiration) und Wärmeströmungen (Konvektion) von den Land- und Wassermassen der Erde an die Atmosphäre übertragen werden. Wo hat die Erde die Wärme her? Momentan weist unsere Energiebilanz ein erhebliches Minus aus. Die Antwort muss die Atmosphäre liefern.

Atmosphäre

Die Oberflächenstrahlungstemperatur der Sonne beträgt etwa 6000 °C, die dabei abgesendete Strahlungsleistung liegt in der Größenordnung von 1026 Watt. Doch diese gigantische abgestrahlte Energiemenge kommt nicht komplett bei uns an, denn aus Sicht der Sonne ist die Erde nur ein winziger Punkt im gesamten Weltall. Das sind bei genauer Berechnung und im Zenit stehender Sonne auf der Oberseite der Atmosphäre (der Grenze zum Weltall) ca. 1.370 W/m². Wie genau die einfallende Sonnenstrahlung global bilanziert wird soll folgende Grafik veranschaulichen:



Buchal, Schönwiese; KLIMA – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten, 2016, S.76