

Erdklima und Sonnenstrahlung

Definitionen: M_s : Strahlungsdichte der Sonne [W/cm²]
 M_e : Strahlungsdichte der Erde [W/cm²]
 P_s : Strahlungsleistung der Sonne [W]
 P_e : Strahlungsleistung der Erde [W]
 ϵ : Emissionsgrad
 ρ : Reflexionsgrad
 T_s : Temperatur der Sonne
 T_e : Temperatur der Erde

Konstanten

$r = 6370 \cdot 10^3$ m Erdradius
 $d = 1,5 \cdot 10^{11}$ m: Abstand Erde Sonne
 $R = 0,7 \cdot 10^9$ m: Sonnenradius
 σ : Stefan-Konstante: $5,67 \cdot 10^{-12}$ [W/cm²K⁴]

Die Erde – ein Schwarzer Körper

Vom Weltraum aus gesehen, erscheint unser Planet durch seine Wasservorkommen und die Atmosphäre blau – der "blaue Planet". Vegetation und Klima sind einzigartig im Sonnensystem. Dabei ist die Erde auch ein sehr sensibles System. Die Leistung der Strahlungsdichte die auf der Erde einfällt wird durch die radiale Abstrahlung und den Abstand Erde-Sonne ausgedünnt, laut Geometrie beträgt die Ausdünnung der Sonnenstrahlung:

$$\frac{(4 \cdot \Pi \cdot R^2)}{(4 \cdot \Pi \cdot d^2)} = \frac{1}{45918}$$

Unter Berücksichtigung der Reflexion von Erde und Erdatmosphäre kann man für die auf der Erdscheibe einfallende (Sonnen-) Strahlungsleistung schreiben:

$$P_s = \Pi \cdot r^2 \cdot \sigma T_s^4 \frac{1}{45918} (1 - \rho) \quad (\text{Gl.1})$$

Aber die Erde strahlt auch wie ein schwarzer Körper Strahlung in den Weltraum ab für die abgestrahlte Leistung gilt:

$$P_e = 4 \cdot \Pi \cdot r^2 \cdot \sigma T_e^4 \cdot \epsilon \quad (\text{Gl.2})$$

Erdklima

Wenn auf der Erde also konstante Temperaturverhältnisse herrschen sollen und man eine konstante mittlere Temperatur der Erde berechnen will, muss die abgestrahlte Wärme gleich der eingestrahlt sein. Man setzt also Gl.1 gleich Gl.2 und erhält:

$$4 \cdot \Pi \cdot r^2 \cdot \sigma T_e^4 \cdot \epsilon = \Pi \cdot r^2 \cdot \sigma T_s^4 \frac{1}{45918} (1 - \rho) \quad (\text{Gl.3})$$

Vereinfach man diese Gleichung folgt

$$T_e = \left(\frac{1}{4} T_s^4 \frac{1}{45918} \frac{(1-\rho)}{\epsilon} \right)^{1/4}$$

oder

$$T_e = 5800\text{K} * \left(\frac{(1-\rho)}{\epsilon} * \left(\frac{1}{183673} \right) \right)^{1/4}$$

bzw. auch der Ausdruck

$$T_e = 280,17\text{K} * \left(\frac{(1-\rho)}{\epsilon} \right)^{1/4} \quad (\text{Gl.4})$$

Als Zahlenwerte erhält man für $\rho = 0,3$ (entspricht in etwa der realen Reflexion der Atmosphäre) und $\epsilon = 1$

$$T_e = 256,3\text{K} \text{ oder } -17^\circ\text{C}.$$

Das wären frostige Zeiten auf unserer Erde. Die Rechnung ist aber nicht ganz korrekt, denn die Emission der Erde ist bestimmt nicht $\epsilon = 1$ sondern bedeutend geringer. Als gute Näherung könnte man (siehe Kirchhoffsches Gesetz) die Emission gleich der Absorption setzen. Damit wäre $\epsilon = (1 - \rho)$. Als Folge entfällt in Gl.4 der Korrekturfaktor ganz und man bekommt auf der Erde eine mittlere Temperatur von

$$T_e = 280,17\text{K} \text{ oder } 7^\circ\text{C}$$

Und das entspricht der mittleren Temperatur auf der Erde schon recht gut.

Genau betrachtet gibt es jedoch geringe aber bemerkbare Abweichungen: Die gemessene mittlere Temperatur auf der Erde ist mit ca. 15°C höher als die einfache Theorie besagt. Eine Ursache liegt im sog. Treibhauseffekt. Nicht das ganze Wellenspektrum der Strahlung wird von der Atmosphäre gleich gut durchgelassen. So kann das kurzwellige Sonnenlicht leicht auf die Erdoberfläche gelangen, die langwellige von der Erde emittierte Strahlung aber kann (z.B. durch das CO_2 in der Atmosphäre) etwas schwerer in den Weltraum entweichen. Ein Temperaturanstieg ist die natürliche Folge.

Die Menge des CO_2 in der Atmosphäre hängt auch von unserer Zivilisation ab, aber auch natürliche Ursachen wie Vulkanausbrüche etc. sind nicht zu vernachlässigen, so herrschte u.a. im Mittelalter ein milderes Klima als heute.