

Die Sonne – unsere Energiequelle

Definitionen: M_s : Strahlungsdichte der Sonne [W/cm^2]
 M_e : Strahlungsdichte der Erde [W/cm^2]
 P_s : Strahlungsleistung der Sonne [W]
 P_e : Strahlungsleistung der Erde [W]
 ϵ : Emissionsgrad
 ρ : Reflexionsgrad
 T_e : Temperatur der Erde
 α = Absorptionsgrad

Konstanten:

$T_s=5800K$: Temperatur der Sonne
 $d=1,5*10^{11}m$: Abstand Erde Sonne
 $R=0,7*10^9m$: Sonnenradius
 $r= 6370*10^3 m$: Erdradius
 σ : Stefan-Konstante: $5,67*10^{-12}[W/cm^2K^4]$

Die Sonne ist der Ursprung allen Lebens auf der Erde. Viele werden sagen klar wissen wir, die Sonne versorgt uns mit Energie. Doch das ist nur die halbe Wahrheit. Neben der Energie, die wir von der Sonne erhalten ist auch das Strahlungsspektrum der Sonne und die geringe Entropie der Sonnenstrahlung lebensnotwendig.

Das hat folgende Ursache: Die Sonnenstrahlung, die in die Erdatmosphäre einfällt, wird durch die radiale Abstrahlung um den geometrisch bedingten Faktor

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

ausgedünnt oder in ihrer Strahlungsintensität gemindert. Hatte die Sonne an Ihrer Oberfläche nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz noch eine Intensität von ca. $6400W/cm^2$, so beträgt diese vor der Atmosphäre noch etwa $0,139W/cm^2$. An der Erdoberfläche kommen hiervon schließlich ca. $0,1W/cm^2$ an, der Rest wird in der Atmosphäre absorbiert.

Wenn man das Sonnenspektrum in Abb.1 betrachtet, dann wird eines klar: Von der Strahlungsintensität her hat die Sonne auch keine höhere Leistung als ein Schwarzer Körper (z.B. Planet, Sonne... etc.) mit einer Oberflächentemperatur von ca. $400K$ oder ca. $125^\circ C$ in unmittelbarer Erdnähe. Uns Menschen würde die Strahlung einer solchen Sonne zwar auch Wärme spenden, aber Leben wäre damit keines möglich und folglich würde es uns auch gar nicht geben. Um viele chemische und biologische Prozesse anzutreiben ist eine Strahlung notwendig, die auch höhere Energieniveaus besitzt also kurzweilig ist. Das ist auch klar, denn bei einem Schwarzen Körper mit $400K$ als Sonne wäre es für uns Menschen auf der Erde dunkel und die Photosynthese als Prozess gäbe es z.B. gar nicht. Auch eine Photovoltaische Solarzelle würde nicht funktionieren.

Vom Standpunkt der Thermodynamik aus, sendet uns die Sonne eine Strahlungsenergie mit niedriger Entropie (hoher Ordnung, oder vielen hohen Energieniveaus) in Zahlen beträgt die Entropie, die pro Zeiteinheit auf die Erde einfällt ca. $1,77* 10^{17} W/5800K$. Die von der Erde abgestrahlte Energie ist etwa gleich groß, es werden im Gegenzug also ca. $1,77* 10^{17} W/290K$ Entropie abgestrahlt. Im Ergebnis kann die Erde ca. $6* 10^{14} W/K$ mehr Entropie abgeben als zugeführt wird. Für viele biologische Prozesse ist dies essentiell. Nur deshalb kann die Erde Leben und Strukturen aufbauen und erhalten.

In einfachen Worten und ganz ohne Thermodynamik gesagt hat die Anordnung der Erde zur Sonne darum zwei wichtige Vorteile:

1. Die Sonnenstrahlung ist eine qualitativ hochwertige Strahlung mit relativ hohen Energieniveaus - chemische und biologische Prozesse werden dadurch möglich.

2. Die Intensität der Sonnenstrahlung wird durch den großen Abstand Erde-Sonne abgeschwächt, daraus folgt eine relativ niedrige Temperatur der produzierten Wärme - Leben auf der Erde ist möglich.

Fällt Sonnenstrahlung auf der Erde auf einen Gegenstand oder wird sie von einer thermischen Solarzelle (oft mit selektivem Absorber aufgebaut, d.h. nimmt kurzwellige Strahlung auf, aber gibt die Wärmestrahlung nicht mehr ab) aufgenommen, dann kann dies je nach Anordnung und Beschaffenheit sehr hohe Temperaturen zur Folge haben. Auf die Zusammenhänge wird am Ende dieser Betrachtung noch einmal eingegangen.

Aber wir können die Sonne auch unmittelbar mit höheren Temperaturen nutzen, jeder der einmal ein Brennglas in Händen hatte weiß Bescheid. Wird die Strahlung durch einen optischen Apparat gebündelt, so lässt sich damit maximal wieder die ursprünglich in der Sonne vorkommende Strahlungsintensität erzeugen. Eine höhere Intensität (oder Temperatur) geht jedoch nicht, das ist optisch ausgeschlossen und auch von der Thermodynamik her unmöglich - eine Temperatur in einem System lässt sich ohne Energie oder Entropie Austausch nach Außen niemals gegenüber seinem Ursprung erhöhen.

Die Energiekonzentration der Sonnenstrahlung durch optische Bündelung wird auch technisch eingesetzt – nicht nur beim Brennglas. Dadurch erhöht sich der Wirkungsgrad der Technologien mit denen z.B. alternative Energie gewonnen wird, u.a. Solarzellen auf elektrischer oder thermischer Basis.

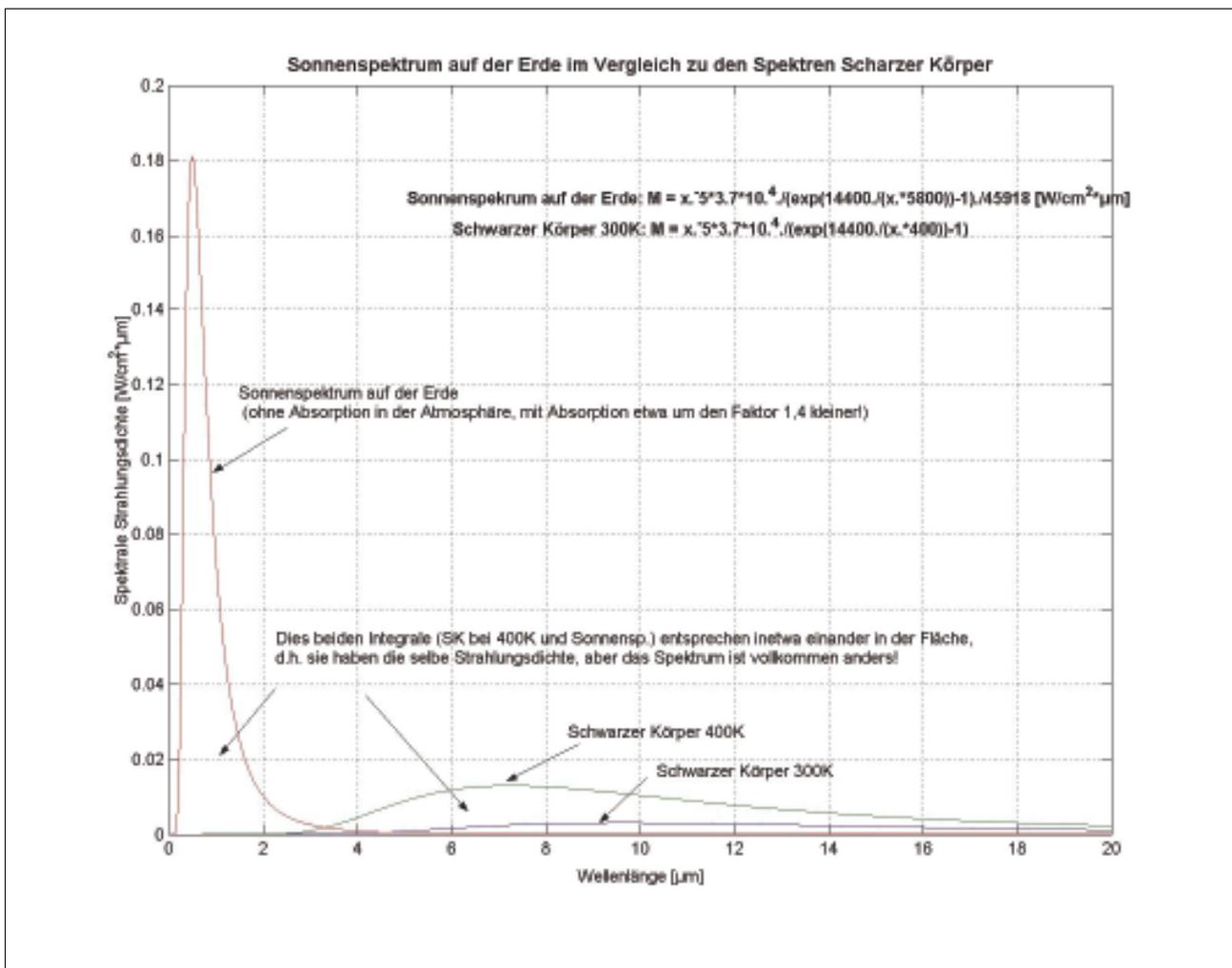
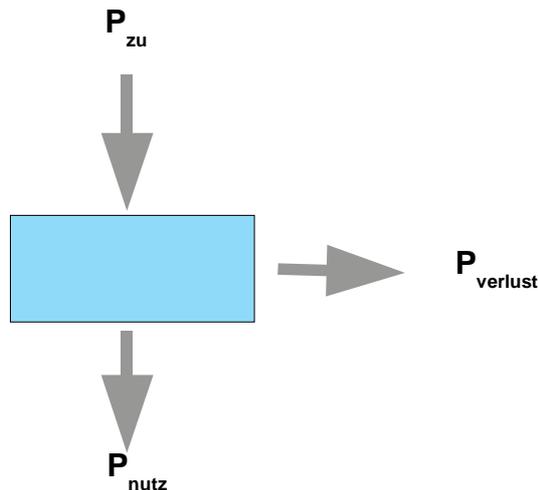


Abb. 1: Sonnenspektrum im Vergleich zu den Spektren Schwarzer Körper.

Betrachtet man ein System (z.B. Sonnenkollektor) das Sonnenenergie nutzt, dann kann man von folgendem Energiefluss ausgehen:



Von der Strahlungsenergie P_{zu} die zugeführt wird, geht ein Teil als Verlust verloren ($P_{verlust}$) und nur ein Anteil P_{nutz} lässt sich als Energie technisch nutzen. Damit lässt sich (ohne Betrachtung der Gas- oder Festkörperwärmeleitung) folgende Beziehung aufstellen

$$\alpha * \sigma * T_s^4 \frac{1}{45918} * Anstrahlfläche = \epsilon * \sigma * T_{system}^4 * Abstrahlfläche + P_{nutz} \quad \text{Gl.1}$$

gleichzeitig lässt sich auch der Wirkungsgrad η mit

$$\eta = \frac{P_{nutz}}{P_{zu}} \quad \text{Gl. 2}$$

definieren. Somit kann man Gl.1 auch schreiben als

$$(1 - \eta) \alpha * \sigma * T_s^4 \frac{1}{45918} * Anstrahlfläche = \epsilon * \sigma * T_{system}^4 * Abstrahlfläche \quad \text{Gl.3}$$

Für die maximale Temperatur T_{system} , die das System erreichen kann ergibt sich damit der Ausdruck

$$T_{system} = T_s \left[(1 - \eta) \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{45918} \frac{Anstrahlfläche}{Abstrahlfläche} \right]^{1/4} \quad \text{Gl.4}$$

Aus Gl.4 und der Thermodynamik folgt nun,

1. Für $\eta = 0$, also wenn dem System keine Nutzwärme entnommen wird wird die Temperatur am größten. Anmerkung: der Wirkungsgrad ist thermodynamisch gemäß dem Carnot-Prozess nach oben auf ca. 0,94 begrenzt.
2. Der Faktor $1/45918$, der aus durch die Ausdünnung der Sonnenstrahlung kommt, trägt sehr zur Abnahme der erreichbaren Systemtemperatur bei. Durch Strahlungskonzentration sind sehr viel höhere Temperaturen möglich, Obergrenze ist aber in jedem Fall die Sonnentemperatur
3. Das Verhältnis α/ϵ (bei gleicher Wellenlänge gilt $\alpha/\epsilon = 1$) kann bei selektivem Absorber sehr viel größer als eins werden. Dies hilft die Systemtemperatur zu erhöhen.

Für einen typischen Flachkollektor errechnet sich (mit $\eta = 0,6$; $\alpha/\epsilon = 2$; $Anstrahlfläche/Abstrahlfläche = 0.5$) darum ein Zahlenwert von

$$T_{system} = 5800K * (0,6 * 2 * (1/45918) * 1/2)^{1/4} = 5800K * 0,06 = 348,7K \approx 76^\circ C$$

ein Wert mit dem sich u.a. gut Brauchwasser erwärmen lässt.