

Aufgabe 2 (10 Punkte)

Solarenergie

In einigen Gegenden Israels scheint an mehr als 300 Tagen im Jahr die Sonne. Seit langer Zeit wird daher versucht, die Sonnenstrahlung für die Bewohner des Landes energetisch nutzbar zu machen.

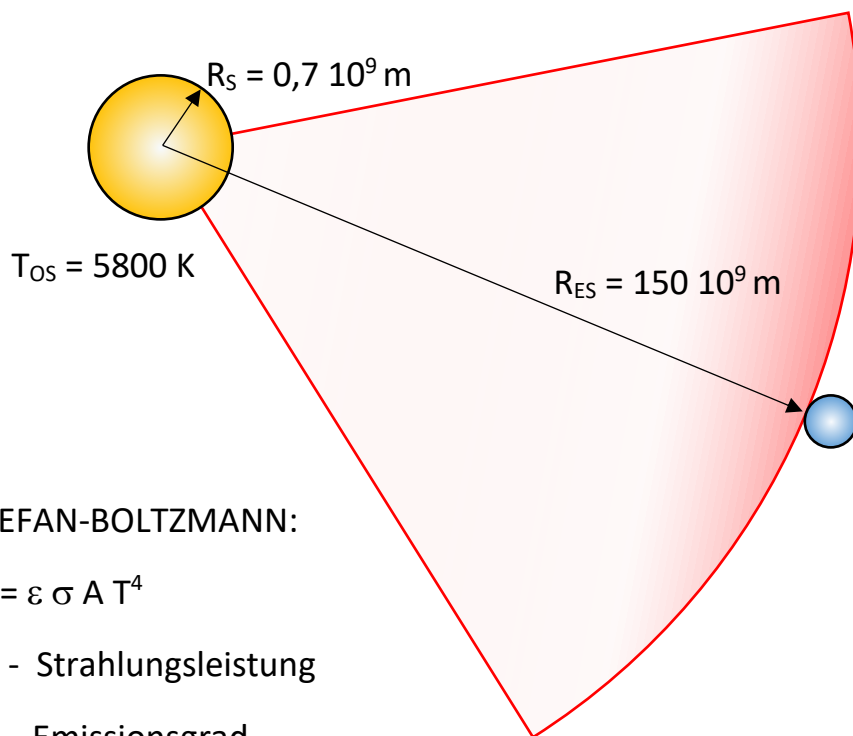
- a) Berechne, wie groß die Leistung der von der Sonne auf einen Quadratmeter der Erdatmosphäre bei senkrechtem Einfall treffenden Sonnenstrahlung ist. Verwende dabei für den Abstand der Sonne zur Erde $150 \cdot 10^6$ km und für den Radius der Sonne selbst den Wert $700 \cdot 10^3$ km. Die Oberflächentemperatur der Sonne beträgt etwa 5800 K.

Dieser Wert ist aufgrund der Dämpfung durch die Erdatmosphäre auf der Erdoberfläche geringer. Gehe im Folgenden von einer maximalen Strahlungsleistung pro Fläche von 1000 W m^{-2} aus.

Vor einigen Jahren wurden in Israel Versuche mit großen Parabolspiegeln durchgeführt, die das einfallende Sonnenlicht auf ein kleines Modul bündeln. Das Modul kann 75% der einfallenden Strahlungsleistung nutzbar machen. Davon wird ein Drittel durch Photovoltaik in elektrische Energie umgewandelt. Mit der restlichen Energie erhitzt es Wasser, das zur Warmwasserversorgung benötigt wird.

- b) Der Parabolspiegel besitzt eine effektive Fläche von 11 m^2 . Berechne, welche elektrische Leistung die Anordnung maximal bereitstellt.
- c) Das zu erheizende Wasser wird mit einer Temperatur von etwa 30°C in das Modul gepumpt und verlässt es mit einer Temperatur von 70°C . Schätze ab, wie viel Wasser pro Minute durch das Modul gepumpt werden muss, damit es bei einer konstanten Temperatur gehalten wird.

- a) Gesucht ist offensichtlich die Solarkonstante – lt. TW $S = 1376 \text{ W/m}^2$



STEFAN-BOLTZMANN:

$$\Phi = \varepsilon \sigma A T^4$$

Φ - Strahlungsleistung

ε - Emissionsgrad

$$\sigma = 5,76 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}^4} \quad \text{STEFAN-BOLTZMANN-Konstante}$$

A - Oberfläche der Strahlungssphäre

T - Temperatur der Oberfläche der Strahlungssphäre

Die Sonne kann auf Grund der extremen Temperaturunterschiede zwischen Sonne und Umgebung als schwarzer Körper betrachtet werden. Sie absorbiert praktisch nichts und emittiert zu 100% $\rightarrow \epsilon = 1$

Die Strahlungsleistung durch eine die Quelle umschließende Fläche ist konstant

– auch Strahlungsfluss genannt: $\Phi = \epsilon \sigma A_S T_S^4 = \epsilon \sigma A_E T_E^4$

Solarkonstante oder Flussdichte: $S = \frac{\Phi}{A} = \sigma T_S^4 \frac{A_S}{A_E} = \sigma T_S^4 \left(\frac{R_S}{R_{ES}} \right)^2$

$$S = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} 5800^4 K^4 \left(\frac{0,7}{150} \right)^2$$

$$S = 1400 W/m^2$$

b) Leistung des Parabolspiegel-Moduls

Effektive Solarkonstante auf der Erdoberfläche:

$$S_{eff} = 1000 W/m^2$$

Wirkungsgrad des Moduls:

$$\eta = \frac{P_M}{P_S} = 75 \%$$

Effektive Fläche des Parabolspiegels:

$$A_{eff} = 11 m^2$$

Aufteilung der Nutzleistung:

$$\frac{P_{el}}{P_M} = \frac{1}{3} \quad \frac{P_{th}}{P_M} = \frac{2}{3}$$

Eingefangene Leistung $\rightarrow$

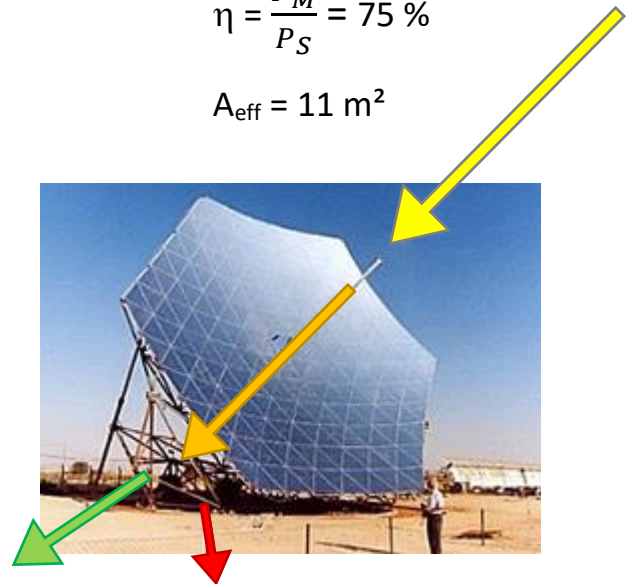
$$P_S = S_{eff} \cdot A_{eff} = 11 kW$$

Modul-Leistung $\rightarrow$

$$P_M = \eta \cdot P_S = \frac{3}{4} \cdot 11 kW = 8,25 kW$$

Elektrische Leistung $\rightarrow$

$$P_{el} = \frac{1}{3} \cdot P_M = \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot 11 kW = 2,75 kW$$



c) **Wasserdurchsatz für $\Delta T = 40 \text{ K}$**

Definition Wasserdurchsatz: $k = \frac{V}{t}$

Dichte des Wassers: $\rho_W = 1 \text{ kg/l}$

Spezifische Wärmekapazität des Wasser: $c_W = 4,19 \text{ kJ kg/K}$

Thermische Leistung $\rightarrow P_{th} = 2/3 \cdot P_M = \frac{2}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot 11 \text{ kW} = 5,5 \text{ kW}$

Grundgleichung der Wärmelehre: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad | : t$

$$P_{th} = \frac{V \cdot \rho_W}{t} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$P_{th} = k \cdot \rho_W \cdot c \cdot \Delta T$$

$\rightarrow$ Wasserdurchsatz: $k = \frac{P_{th}}{\rho_W \cdot c \cdot \Delta T} = \frac{5,5 \text{ kW}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 4,19 \text{ kJ} \frac{\text{kg}}{\text{K}} \cdot 40 \text{ K}} \approx 0,033 \text{ l/s}$

$\rightarrow$ Wasserdurchsatz pro Minute: $k = 1,97 \text{ l/min} \approx 2 \text{ l/min}$