

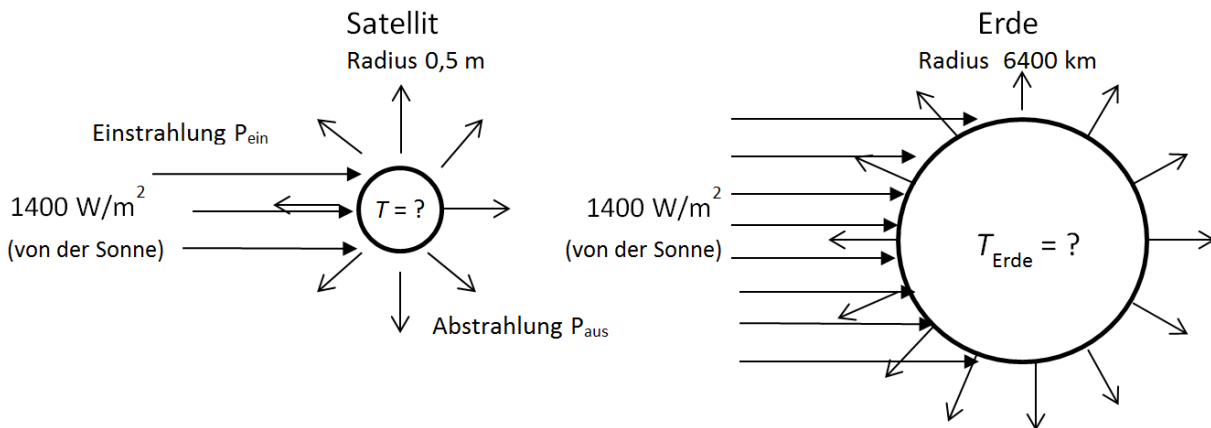
## Beispiel 2: Wärmestrahlung und Treibhauseffekt

Die Wärmestrahlung der Sonne beeinflusst in hohem Maße die mittlere Temperatur der Erdoberfläche, wobei die Wellenlängen-abhängige Absorption und Streuung von Strahlung in der Atmosphäre (durch die Luft, die Treibhausgase und den Wasserdampf) eine wesentliche Rolle spielt. Die „Temperaturstrahlung“ pro  $m^2$  Fläche eines idealen („schwarzen“) Strahlers ist als abgestrahlte Strahlungsintensität eindeutig mit der Temperatur des Strahlers verknüpft:

Strahlungsintensität ( $\text{Watt/m}^2$ )  $\Phi = \sigma \cdot T^4$  ( $T$  in Kelvin einzusetzen!)  
**(Stefan-Boltzmann-Gesetz oder auch Stefan-Boltzmann'sches Strahlungsgesetz)**

Außerhalb der Erdatmosphäre beträgt die Sonneneinstrahlung etwa  $1400 \text{ W/m}^2$ , welche als **Solarkonstante  $S$**  bezeichnet wird. ( $S = 1400 \text{ W/m}^2$ )

Man betrachte nun folgendes Szenario:



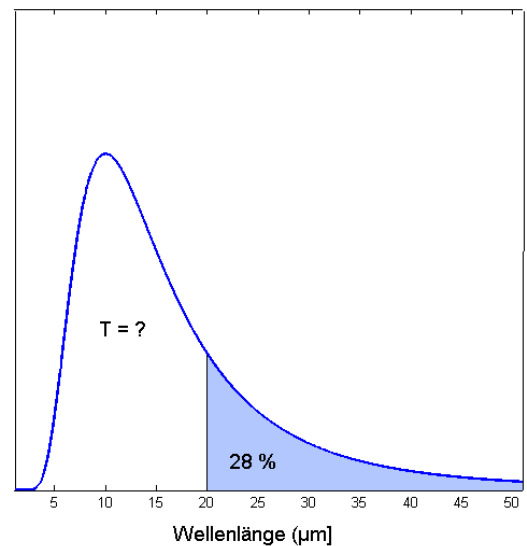
### Fragen:

1. Leiten Sie Formeln her für die von der Sonne auf den Satellit (bzw. auf die Erde) übertragene Strahlungsleistung  $P_{\text{ein}}$  (horizontale Pfeile) und die Strahlungsleistung  $P_{\text{aus}}$  (radiale Pfeile), die vom Satelliten (bzw. von der Erde) in den Weltraum abgestrahlt wird, wenn die Temperatur des Satelliten  $T$ , bzw. die der Erde  $T_{\text{Erde}}$  und deren Radien  $R$ ,  $R_{\text{Erde}}$  vorgegeben sind.
  - a. **[1 P]**  $P_{\text{ein}}(\text{Sonne} \rightarrow \text{Satellit}) = ?$ ,  $P_{\text{aus}}(\text{Satellit} \rightarrow \text{Weltraum}) = ?$
  - b. **[1 P]**  $P_{\text{ein}}(\text{Sonne} \rightarrow \text{Erde}) = ?$ ,  $P_{\text{aus}}(\text{Erde} \rightarrow \text{Weltraum}) = ?$
  
2.
  - a. **[1 P]** Berechnen Sie die Temperatur des Satelliten ( $T$ ) und der Erde ( $T_{\text{Erde}}$ ), sobald sich Strahlungsgleichgewicht eingestellt hat. Satellit und Erde (ohne Lufthülle!) sollen als ideale schwarze Strahler angesehen werden.
  - b. **[0,5 P]** Das Ergebnis ist eine der folgenden drei Möglichkeiten, aber welche?
 

a)  $T < T_{\text{Erde}}$ 
 b)  $T = T_{\text{Erde}}$ 
 c)  $T > T_{\text{Erde}}$

Die Temperatur der Erdoberfläche weicht bei Sonneneinstrahlung infolge der Lufthülle und der darin enthaltenen absorbierenden Gase (Treibhauseffekt) deutlich von der Temperatur des vorhin angenommenen „idealen“ schwarzen Strahlers ab. Es werde vereinfacht angenommen, dass nur Wellenlängen oberhalb von  $20\ \mu\text{m}$  abgegeben werden (kürzere Wellenlängen werden überhaupt nicht emittiert).

Dadurch reduziert sich die gesamte Abstrahlung der Erdoberfläche im Vergleich zum idealen schwarzen Strahler (= Gesamtfläche unter der ausgezogenen Linie) auf 28% (siehe Abbildung). Der abgestrahlte Anteil wird „Emissionsfaktor“ ( $\varepsilon = 0,28$ ) genannt.



3. [1 P] Stelle bei einer am Erdboden gemessenen Solarkonstanten von  $S_E = 550\ \text{W}/\text{m}^2$  die Bilanz für das Strahlungsgleichgewicht inklusive Treibhauseffekt „Einstrahlung  $\leftrightarrow$  Abstrahlung“ in Form einer Gleichung dar!
4. [0,5 P] Berechne daraus die Gleichgewichtstemperatur  $T$  der Erdoberfläche inklusive Treibhauseffekt.
5. [1,5 P] Um wieviel würde sich die Solarkonstante  $S$  erhöhen, wenn sich die Erde auf die halbe Entfernung der Sonne annähern würde?
6. [1 P] Um wieviel würde sich die Solarkonstante  $S$  erniedrigen, wenn die Temperatur der Sonne auf die Hälfte absinken würde?
7. [0,5 P] Wie groß wäre die fälschlicherweise berechnete Abstrahlung eines schwarzen Strahlers, wenn anstatt der Kelvin-Temperatur die Celsius-Temperatur  $0^\circ\text{C}$  eingesetzt würde?
8. [1 P] Wieviel Strahlung reflektiert ein ideal-schwarzer Körper?
9. [1 P] Würde bei gleichbleibender Sonneneinstrahlung die Oberflächentemperatur der Erde steigen oder fallen, wenn sie nicht eine Kugel, sondern eine Scheibe mit gleichem Durchmesser wäre?

Temperatur steigt       Temperatur sinkt