

## Letzte Stunde

- Wärmetransport
  - Konvektion (strömendes Medium)
  - Wärmeleitung (durch Materie hindurch)
  - Wärmestrahlung (elektromagnetische Wellen)
- Wärmeleitung
  - Wärmestrom  $\Phi$   $\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda A \frac{\Delta T}{\Delta l}$
  - mit Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$   $[\lambda] = \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
  - zusammen mit dem Wärmübergangskoeffizienten  $\alpha$  erhält man den Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  (auch U-Wert)  
 $\Phi = k A \Delta T$

## Heute

- 11.3.3. Wärmestrahlung

<http://www.ep1.rub.de/lehre/veranstaltungen/ws0910/physikcbg/>

## 11.3.3. Wärmestrahlung

*Versuch: Wärmestrahlung im Vakuum*

Thermische Energie der Materiebausteine:

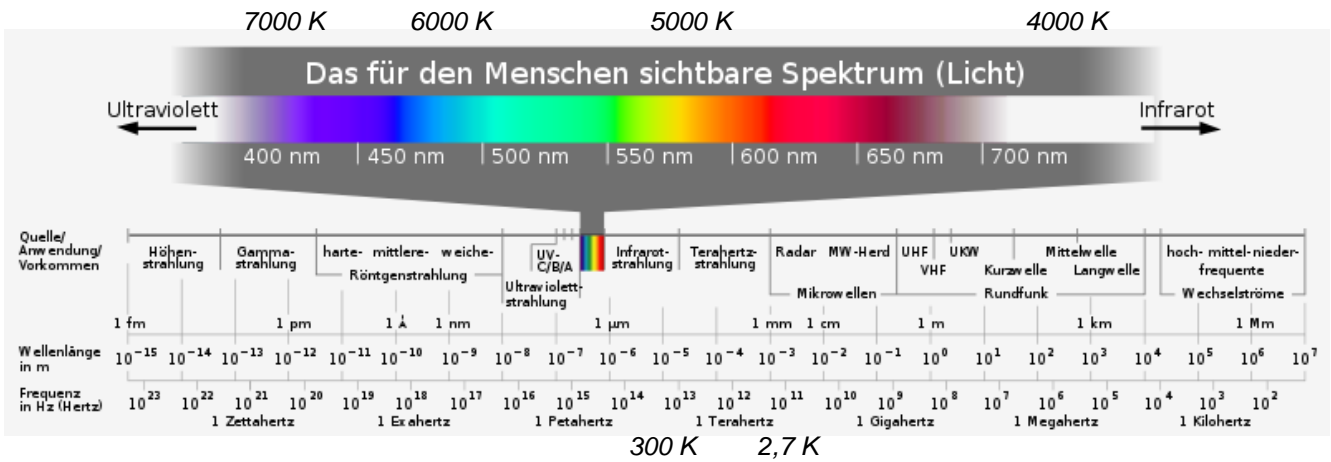
Bewegungsenergie der einzelnen Materiebausteine ist kontinuierlich verteilt.

Ausgesandte elektromagnetische Wellen haben ein kontinuierliches Spektrum (infrarot, sichtbar, ultraviolett)

In demselben Wellenlängenbereich kann Materie auch Strahlung absorbieren.



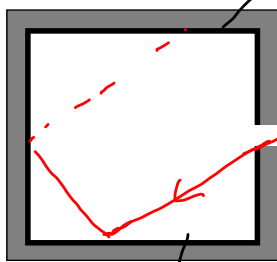
Mensch: optisch 380 ... 780 nm  
 Haut (Wärme empfindung)  
 Kälte / Wärme 5 °C ... 48 °C  
 Infrarot 800 nm ... 1 mm



Idealer Absorber

- nimmt unabhängig von der Wellenlänge jegliche Strahlungsenergie auf.
- = schwarzen Körper

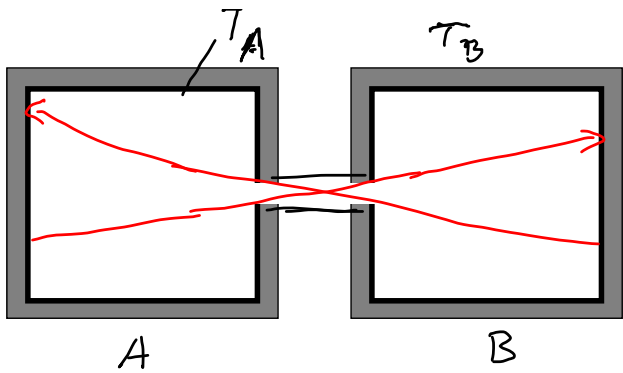
Realisierung: Hohlraum mit geschwärzten Innenwänden  
 Temperatur T



absorbierende Beschichtung

Loch hat Absorptionsgrad  $\alpha = 1$

Emissionsgrad  $\epsilon = ?$



Austausch von Energie

0. Hauptsatz  $\Rightarrow T_A = T_B$

d.h. einer kann sich nicht auf Kosten des anderen erwärmen.

$\Rightarrow$  Absorption = Emission

Kirchhoffsche Strahlungsgesetz

$\alpha = \epsilon$

Absorptionsgrad = Emissionsgrad

Reale Strahler

$\alpha = \epsilon < 1$  (grauer Körper)

Schwarzer Körper

$\alpha = \epsilon = 1$

### Emissionsgrad $\epsilon$

Ruß (20°C)  $\epsilon = 0,95$

Nitrolack schw. glänzend (20°C)  $\epsilon = 0,83$

Menschliche Haut (34°C)  $\epsilon = 0,95 \dots 0,99$

Wasser (0...100°C)  $\epsilon = 0,92$

Ziegel (20°C)  $\epsilon = 0,93$

Schwarzer Körper  $\epsilon = 1$

Chrom, poliert (150°C)  $\epsilon = 0,075$

Al, poliert (20°C)  $\epsilon = 0,04$

Al, oxidiert (20°C)  $\epsilon = 0,3$

Messing, poliert (20°C)  $\epsilon = 0,05$

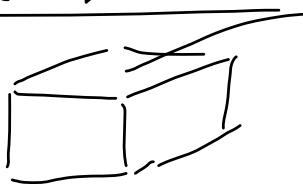
Messing, oxidiert (20°C)  $\epsilon = 0,6$

Stahl, poliert (20°C)  $\epsilon = 0,3$

Stahl, oxidiert (20°C)  $\epsilon = 0,85$

Wolfram (2000°C)  $\epsilon = 0,28$

Leslie Würfel



$T = 100^\circ C$

versch. Oberflächen

schwarz lackiert

weiß lackiert

metallisch matt

--- glänzend

Reflektierende Oberflächen

Strahlen wegen der geringen Absorption  
auch wenig Wärme ab.

( Isolierung Thermoskanne: spiegelnde  
Oberfläche )

Gesamtstrahlung über alle Wellenlängen

$$\rightarrow \text{Intensität } I = \frac{P}{A} = \frac{\text{Strahlungsleistung}}{\text{Fläche}}$$

$$\text{Schwarzer Körper } I = \sigma \cdot T^4$$

$$\text{mit Strahlungskonstante } \sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Emission Körper Temperatur  $T_1$

Absorption von Umgebung  $T_2$   $\nearrow T$  in Kelvin!

Stefan-Boltzmann Gesetz

$$\text{abgestrahlte Leistung } P = \sigma \cdot \epsilon \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Bsp. Wärmestrahlung des menschl. Körpers:

Raum  $20^\circ\text{C}$

Temperatur der Hautoberfläche  $33^\circ\text{C}$

$$T_2 = 293\text{K} \quad T_1 = 306\text{K} \quad \text{Hautoberfläche } 1,4\text{m}^2 \quad \epsilon \approx 1$$

$$P = \sigma \cdot 1 \cdot 1,4\text{m}^2 \cdot (306^4 - 293^4)\text{K}^4 = 111\text{W}$$

Maximum der Intensitätsverteilung hängt von der Temperatur ab.

### Wien'sches Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\max} \cdot T = b$$

$\lambda_{\max}$  Wellenlänge bei maximaler Intensität  
 $T$  Temperatur  
 $b$  Wienkonstante  $b = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$

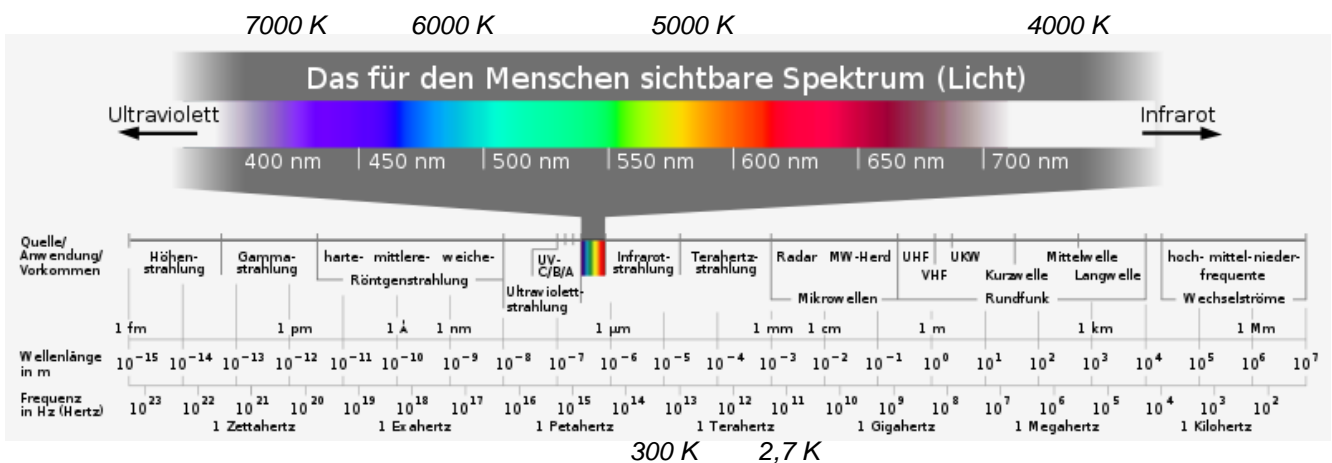
Bsp. Oberfläche von der Sonne  $T = 5800 \text{ K}$

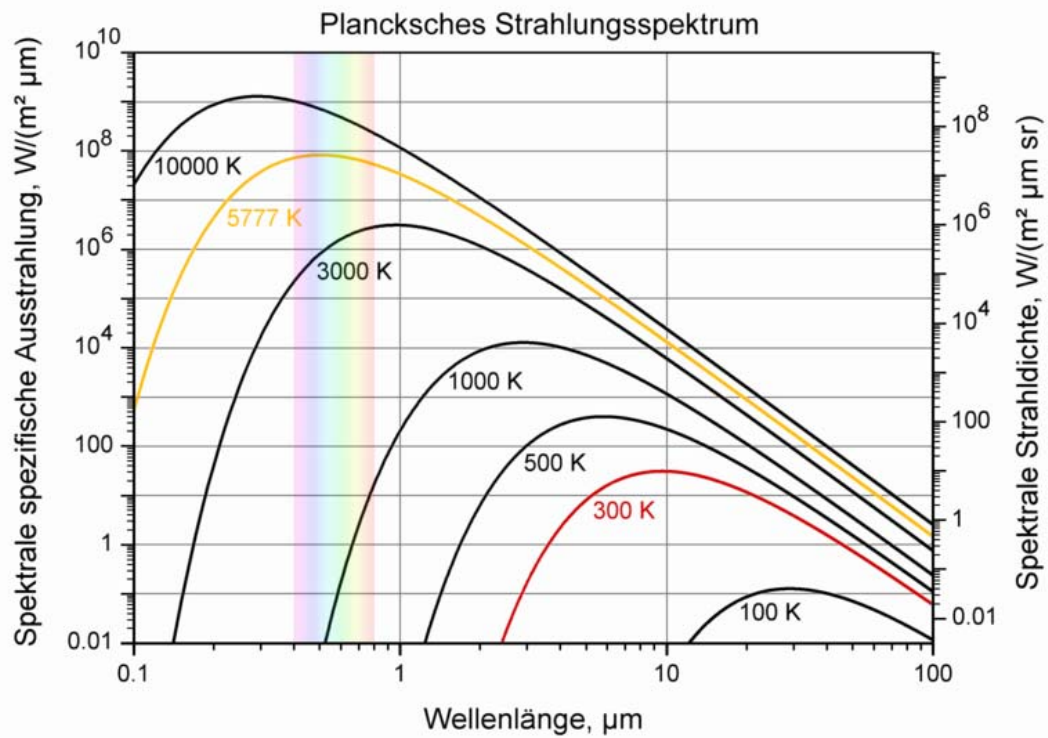
$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}}{5800 \text{ K}} \approx 0,5 \mu\text{m} = 500 \text{ nm}$$

$\uparrow$   
grün

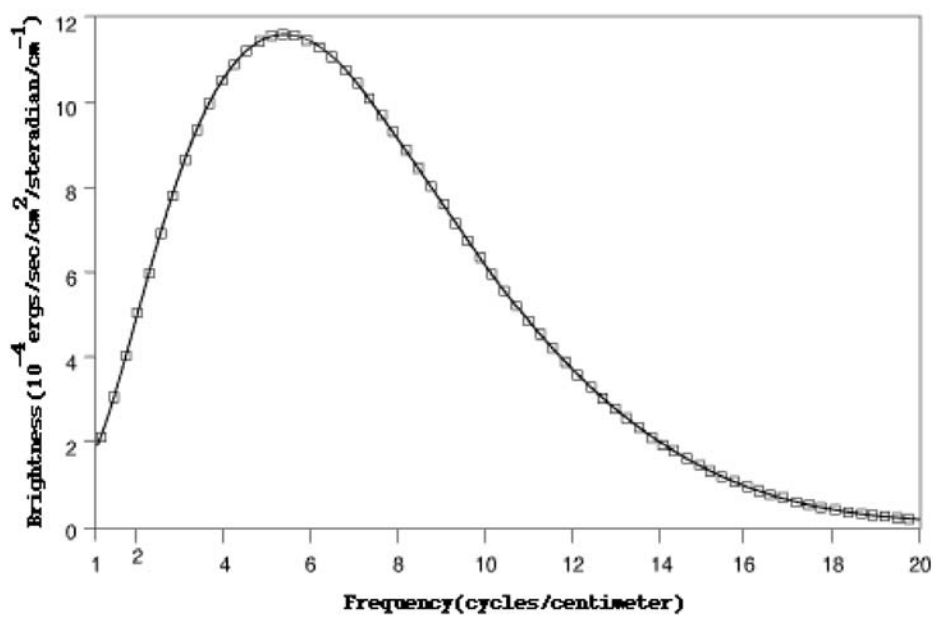
Lampenlicht Wolframwendel bei  $3400 \text{ K}$

Abstrahlung Mensch  $310 \text{ K}$  ( $37^\circ \text{ C}$ )  $\lambda_{\max} = 9,35 \mu\text{m}$



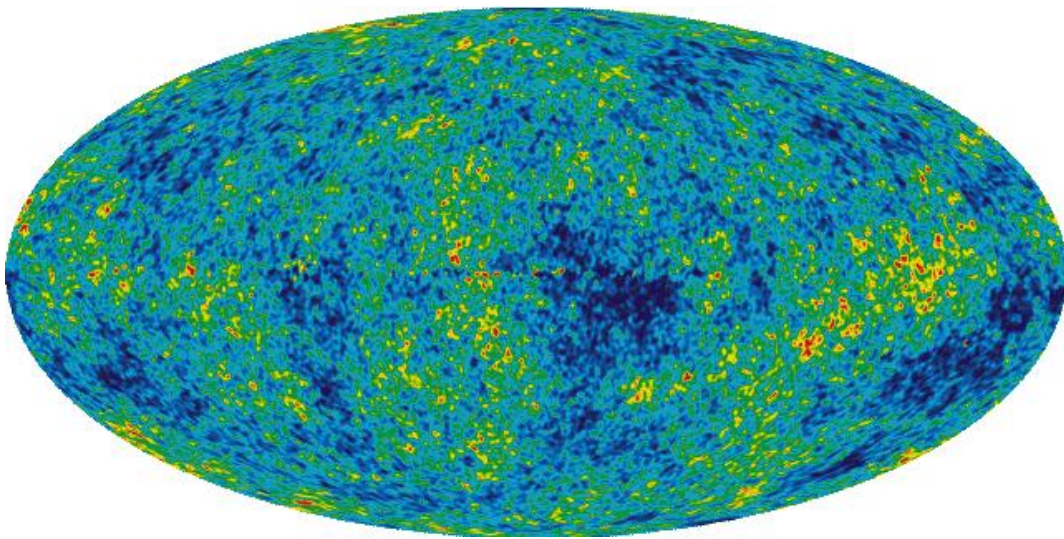


## Hintergrundstrahlung des Weltalls



Temperatur entspricht ca. 2.7 K

## Hintergrundstrahlung des Weltalls II



Temperaturschwankungen von 0.01K werden gemessen.  
=> Alter des Universum ca. 13.7 Milliarden Jahre

Nobelpreis 1979  
Nobelpreis 2006

## Zusammenfassung

- Wärmetransport durch Strahlung (elektromagnetische Wellen, auch im Vakuum)
- Abhängigkeit der Leistung  $P$  von der Temperatur  
Stefan-Boltzmann Gesetz  $P = \sigma \varepsilon A (T_1^4 - T_2^4)$ 
  - Temperatur des Körpers  $T_1$ , Temperatur Umgebung  $T_2$
  - Strahlungskonstante  $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$
  - Emissionsgrad  $\varepsilon$ , Fläche  $A$
- Abhängigkeit der Wellenlänge  $\lambda_{\text{max}}$  bei der maximalen Intensität von der Temperatur  $T$   
Wiensches Verschiebungsgesetz  $\lambda_{\text{max}} T = b$ 
  - Wien-Konstante  $b = 2898 \mu\text{m K}$