

### 2.3.3.2 Emission von Wärmestrahlung

Jeder Körper (= **Temperaturstrahler**) sendet in Abhängigkeit von seiner Temperatur elektromagnetische Strahlung aus. Die Strahlung wird sichtbar, wenn die Temperatur etwa 600 °C erreicht (Rotglut). Mit steigender Temperatur verschiebt sich die Glühfarbe über hellrot (850 °C) nach gelb (1000 °C) und schließlich nach weiß (1300 °C).

Zur quantitativen Charakterisierung der emittierten Strahlung wird die Energiestromdichte oder **spezifische Ausstrahlung**  $M_e = \Phi_e / A$  verwendet, also das Verhältnis der insgesamt abgegebenen Strahlungsleistung  $\Phi_e$  zur strahlungsabgebenden Fläche  $A$  des Körpers. Die spezifische Ausstrahlung ist von der Temperatur und der Oberflächenbeschaffenheit des Körpers abhängig. Erfolgt die Emission in einem größeren Wellenlängenbereich, so hängt die spezifische Ausstrahlung im Intervall  $d\lambda$  von der Wellenlänge  $\lambda$  ab. Somit wird die spektrale spezifische Ausstrahlung definiert:  $M_\lambda = dM_e / d\lambda$ . Folglich gilt für die spezifische Ausstrahlung  $\int M_\lambda d\lambda = M_e$ .

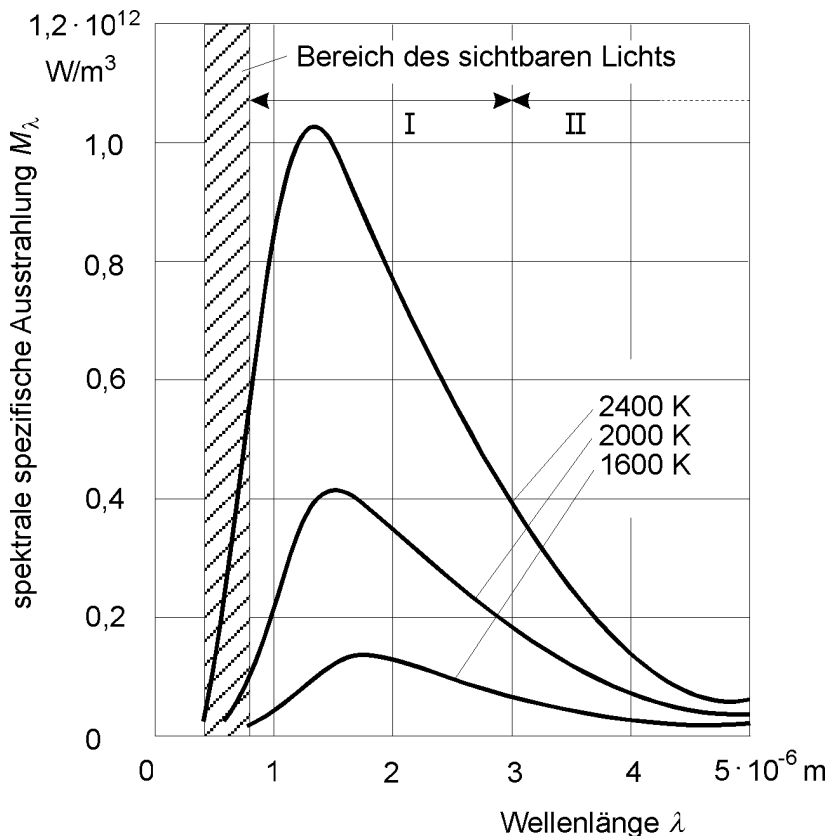
#### Abstrahlung des schwarzen Körpers

Der spektrale Verlauf der ausgesandten Strahlung, also ihre Abhängigkeit von der Wellenlänge, ist für einen sogenannten "schwarzen" Körper theoretisch berechenbar.

Ein **schwarzer Körper** ist ein Körper, der die gesamte auftreffende Strahlung absorbiert; sein Reflexionsvermögen ist Null. Ein Körper, der kein Licht reflektiert, erscheint bei Zimmertemperatur schwarz. Ein schwarz gestrichener oder berußter Körper erfüllt diese Bedingung nur unvollkommen; sehr gut dagegen ein kleines Loch in der Wand eines Hohlraumes. Nach dem Kirchhoffschen Gesetz (Punkt 2.3.3.3) sind Emissionsvermögen und Absorptionsvermögen eines Körpers gleich groß. Der schwarze Körper strahlt folglich die höchstmögliche Strahlungsenergie im Vergleich zu anderen Körpern aus.

Für die spektrale spezifische Ausstrahlung eines schwarzen Körpers gilt das **Plancksche Strahlungsgesetz**:

$$M_\lambda = c_1 \cdot \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1}$$



- I Bereich der kurzwelligen IR-Strahlung
- II Bereich der langwelligen IR-Strahlung

Abb. 1:  
Spektrale spezifische Ausstrahlung  $M_\lambda$  der Strahlung des schwarzen Körpers nach dem Planckschen Strahlungsgesetz

Hierbei bedeuten:  $c_1 = 2\pi \cdot c^2 \cdot h$   
 $c_2 = c \cdot h/k$

$c$  Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  
 $h$  Plancksches Wirkungsquantum  
 $k$  Boltzmann-Konstante

Die spektrale spezifische Ausstrahlung  $M_\lambda$  zeigt in Abhängigkeit von der Wellenlänge einen Kurvenverlauf mit einem Maximum (Abb. 1). Danach nimmt die maximale spektrale Energieausstrahlung mit der absoluten Temperatur des schwarzen Körpers zu und wird zu kleineren Wellenlängen verschoben. Dabei ist das Produkt aus der Wellenlänge  $\lambda_{\max}$  am Maximum und der Temperatur des schwarzen Strahlers konstant.

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{konstant} = 2896 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{K}.$$

Dieser Zusammenhang ist als **Wiensches Verschiebungsgesetz** bekannt.

Integriert man die spektrale spezifische Ausstrahlung über alle Wellenlängen, so erhält man das **Stefan-Boltzmannsches Gesetz** der Gesamtstrahlung (spezifische Ausstrahlung):

$$M_{e,s} = \sigma \cdot T^4 ,$$

wobei  $\sigma$  die Stefan-Boltzmann-Konstante ist. Die Emission von Wärmestrahlung nimmt somit sehr stark mit der Temperatur des schwarzen Körpers zu.

### Emission eines realen Körpers

Bei realen Körpern ist die spektrale spezifische Ausstrahlung geringer als beim schwarzen Körper. Nach der Art des Strahlungsverlaufs unterscheidet man zwischen grauer und selektiver Strahlung (Abb.2). Graue Strahler sind dadurch gekennzeichnet, dass die spektrale spezifische Ausstrahlung über den ganzen Wellenlängenbereich um einen konstanten Faktor gegenüber dem schwarzen Körper verringert ist. Selektive Strahler zeigen dagegen eine spektrale Ausstrahlung von unregelmäßiger Verteilung.

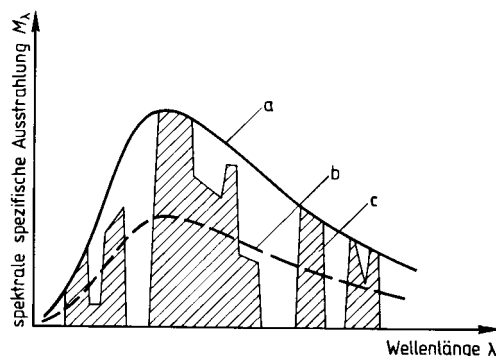


Abb.2: Schematische Darstellung der spektralen spezifischen Ausstrahlung eines schwarzen (a), eines grauen (b) und eines selektiven (c) Strahlers

Die maximale Emission realer Körper ist dabei wie beim schwarzen Körper stark von Temperatur abhängig. Für reale Körper bei Temperaturen von 0 bis 100 °C (bauüblicher Temperaturbereich) liegt die maximale Emission der Wärmestrahlung bei einer Wellenlänge von  $\lambda \approx 10 \mu\text{m}$ , also im langwelligeren IR - Bereich. Bei einer Temperatur von  $T \approx 6000 \text{ K}$ , etwa der Temperatur an der Sonnenoberfläche, liegt das Maximum bei  $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$  und daher mitten im sichtbaren Bereich (kurzwellige Strahlung).

Das Emissionsvermögen eines realen Körpers lässt sich durch den Emissionsgrad angeben. Dieser ist definiert als Verhältnis der spezifischen Ausstrahlung  $M_e$  des realen Körpers zu der spezifischen Ausstrahlung  $M_{e,s}$  des schwarzen Körpers:

$$\varepsilon = \frac{M_e}{M_{e,s}} .$$

Damit ergibt sich der Emissionsgrad für den schwarzen Körper zu  $\varepsilon = 1$ .

Für einen realen Körper mit selektiver Abstrahlung (s. Abb.2) ist der Emissionsgrad von der Temperatur und von der Wellenlänge abhängig:

$$\varepsilon = \varepsilon(\lambda, T),$$

wobei stets gilt:  $\varepsilon < 1$ .

Speziell für graue Strahler ist der Emissionsgrad nur von der Temperatur abhängig:

$$\varepsilon = \varepsilon(T).$$

Die Ausstrahlung realer Körper kann man bei vielen technischen Anwendungen als graue Strahlung mit ausreichender Näherung annehmen.

Im bauüblichen Temperaturbereich (0 bis 100 °C) ist der Emissionsgrad realer Körpers nur von seiner Oberflächenbeschaffenheit (Material, Rauigkeit) abhängig (Tab. 1). Dabei zeigt sich eine grobe Einteilung nach Stoffgruppen:

**Metallische Oberflächen**  $\varepsilon \approx 0,02 \dots 0,20$

**Nichtmetallische Oberflächen**  $\varepsilon \approx 0,90 \dots 0,98$ .

Tabelle 1: Emissionsgrad  $\varepsilon$  technischer Oberflächen zwischen 0 und 100 °C

Metalloberfläche	$\varepsilon$	Nichtmetalloberfläche	$\varepsilon$
Silber, poliert	0,03	Dachpappe	0,93
Kupfer, poliert	0,04	Ölfarbenanstrich, schwarz, matt	0,97
Aluminium, walzblank	0,05	Ölfarbenanstrich, schwarz, glänzend	0,88
Chrom	0,07	Ölfarbenanstrich, weiß	0,89
Eisen, blank geätzt	0,16	Putz, Beton, Mörtel	0,93
Eisen, geschmirgelt	0,26	Ziegelstein, rot	0,93
		Heizkörperlack	0,93
		Aluminiumbronzeanstrich	0,40

### **Anwendung:**

Beim Heizkörper einer Warmwasserheizung erfolgt die Wärmeabgabe teilweise durch Wärmestrahlung. In Hinblick auf die gewünschte starke Emission von Wärmestrahlung spielt es dabei keine Rolle, welchen Farbton der Heizkörper (beispielsweise weiß, braun oder schwarz) aufweist, da der Emissionsgrad aller Anstriche bei den vorliegenden Temperaturen nahezu gleich groß ist. Jedoch sollten keine metallhaltigen Anstriche, wie zum Beispiel Aluminiumbronzeanstrich (s. Tab.1), verwendet werden, weil sich dann die Wärmeabstrahlung stark verringert. Weiße Farbanstriche werden allein aus dekorativen Gründen bevorzugt.