

WÄRMETRANSPORT

Wärmeenergie kann auf verschiedene Arten von einem Ort zu einem anderen transportiert werden: zusammen mit der Substanz, in der sie gespeichert ist (*Wärmeströmung*), durch die Trägersubstanz hindurch (*Wärmeleitung*) oder ohne eine Trägersubstanz in Form von Strahlung (*Wärmestrahlung*).

1. WÄRMESTRÖMUNG (KONVEKTION)

In Flüssigkeiten und Gasen wird die Wärmeenergie häufig durch Umwälzung (*Strömung, Konvektion*) verteilt. Die Strömungen können von selber durch temperaturbedingte Dichteunterschiede oder von aussen durch eine Pumpe verursacht werden

Beispiele:

- Bildung von Hochdruck- oder Tiefdruckgebieten
- Zentralheizung
- Kühlsysteme bei Motoren

2. WÄRMELEITUNG

An der Grenzfläche zwischen zwei Körpern mit unterschiedlicher Temperatur wird Energie bei Stößen übertragen (vgl. Abbildung 1). Da die Teilchen im heissen Stoff im Mittel schneller sind als im kalten, geben sie mehr Energie ab als sie aufnehmen. Dadurch strömt die Wärmeenergie von sich aus immer von heiss nach kalt. Bei der *Wärmeleitung* wird keine Materie transportiert.

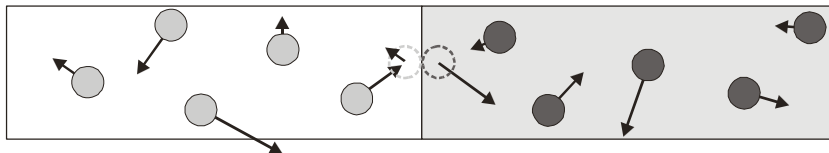


ABBILDUNG 1: Energieübertragung durch Stösse

Metalle sind im allgemeinen sehr gute Wärmeleiter. In Wasser und Gasen spielt die Wärmeleitung meist nur eine kleine Rolle. Flüssigkeiten und Gase leiten Wärme im allgemeinen nur schlecht, bei ihnen wird Wärme vorwiegend durch Konvektion transportiert.

Beispiele:

- Flamme wird durch Metallgitter unterbrochen (Grubenlampe)
- Seen gefrieren nur an der Oberfläche, da der untere Teil durch Eis und Wasser gut isoliert ist.

Isolatoren

In vielen Fällen werden Stoffe benötigt, welche möglichst wenig Wärme entweichen oder eindringen lassen. Ein Vakuum bildet einen perfekten Isolator bezüglich Wärmeleitung. Im Alltag setzt man aus praktischen Gründen meistens eine Luftschicht (z.B. Doppelverglasung) oder einen Festkörper mit geringer Wärmeleitfähigkeit mit möglichst viel darin eingeschlossener Luft ein (z.B. Fell, Wollpullover, Glaswolle, Styropor, ...).

Wärmeleitgleichung

Die Qualität eines Isolators wird durch seine *Wärmedurchgangskoeffizient* (*U-Wert*, vgl. "Formeln, Tabellen, Begriffe", S. 190) charakterisiert. Herrscht zwischen den beiden Seiten eines Isolators eine Temperaturdifferenz ΔT , gilt für die Leistung, mit der Wärme durch die Fläche A fliesst:

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -U \cdot A \cdot \Delta T$$

(Das Minuszeichen deutet an, dass der Wärmefluss von heiss nach kalt verläuft.)

Beispiel: Der *U-Wert* einer typischen Fensterscheibe beträgt $5.6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, während er bei Doppelverglasung auf $2.5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ fällt. Mit doppelverglasten Scheiben spart man im Winter beträchtlich Heizenergie!

Für einfache, homogene Platten wird anstelle der Wärmedurchgangszahl häufig die *Wärmeleitfähigkeit* λ ("Formeln, Tabellen, Begriffe", S. 190) verwendet, wobei in der Wärmeleitgleichung an Stelle des *U-Werts* das Verhältnis λ/d auftritt. Neben dem eigentlichen Isolatormaterial berücksichtigt der *U-Wert* aber auch die isolierende Wirkung der Luftschicht an der Oberfläche.

3. WÄRMESTRAHLUNG

Die Wärmestrahlung gehört zu den *elektromagnetischen Wellen*. Diese umfassen z.B. auch das sichtbare Licht, Radiowellen, Röntgenstrahlen oder Mikrowellen (vgl. elektromagnetisches Spektrum, Metzler Abb. 322.1). Wie alle Wellen kann die Wärmestrahlung z.B. an einem Spiegel reflektiert oder mit einer Linse gebündelt werden.

- Sonnenlicht (besteht zu einem wesentlichen Teil aus Wärmestrahlung) kann mit einer Lupe gebündelt ein Papier entzünden.
- Beispiele:
- Bündelung der Wärmestrahlung mit einem Parabolspiegel (vgl. Richtstrahlantennen)

Die Stärke der Wärmestrahlung wird durch die *Strahlungsintensität* J beschrieben:

$$J = \frac{P}{A_{\perp}}$$

Dabei ist P die auf die Fläche A_{\perp} (senkrecht zur Strahlung) auftreffende Leistung.

Beispiel: Strahlungsleistung der Sonne (senkrechter Einfall, ausserhalb der Atmosphäre):
 $J_0 = 1.38 \text{ kW/m}^2$ (auch E_0 oder S)

Schwarze Körper

Trifft Wärmestrahlung auf die Oberfläche eines Körpers wird ein Teil der Strahlung reflektiert, der Rest absorbiert. Das *Absorptionsvermögen* a ist der Anteil, der absorbiert wird, im Verhältnis zur gesamten Strahlung. Für eine perfekt spiegelnde Oberfläche ist $a = 0$. Einen Körper mit Absorptionsvermögen $a = 1$ bezeichnet man als *schwarzen Körper*.

- Beispiele:
- Thermoskannen sind innen verspiegelt, damit die Wärmestrahlung vollständig reflektiert wird.
 - Eine Öffnung in einem geschwärzten Hohlraum ist ein gutes Modell für einen schwarzen Körper.
 - Die Sonne ist in guter Näherung ein schwarzer Körper, ebenso der menschliche Körper!

Strahlungsgesetze

Die Wärmestrahlung eines Körpers hängt erstaunlicherweise nur von seiner Oberflächentemperatur T und dem Absorptionsvermögen a ab. Die Strahlung eines schwarzen Körpers J_s wird durch das Gesetz von *Stefan-Boltzmann* beschrieben:

$$J_s = \sigma \cdot T^4,$$

wobei $\sigma = 5.670 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \text{ K}^4)$ die *Stefan-Boltzmann-Konstante* ist.

Nach dem Gesetz von *Kirchhoff* sind Körper mit einem hohen Absorptionsvermögen gleichzeitig auch Körper mit einer hohen Abstrahlung:

$$J = a \cdot J_s$$

Elektromagnetische Wellen lassen sich durch ihre *Wellenlänge* charakterisieren. So hat rotes Licht z.B. eine grössere Wellenlänge als gelbes Licht.

Untersuchungen der Verteilung der Wärmestrahlung auf die verschiedenen Wellenlängen zeigen, dass bei höheren Temperaturen ein grösserer Anteil an kurzweiliger Strahlung abgegeben wird. Die Wellenlänge mit maximaler Strahlungsintensität kann mit dem *Wien'sche Verschiebungsgesetz* berechnet werden:

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

Dabei ist $b = 2.989 \cdot 10^{-3} \text{ K m}$ die *Wien'sche Konstante*.

Erst 1900 konnte der deutsche Physiker Max Planck eine Formel angeben, welche die spektrale Verteilung der Wärmestrahlung korrekt beschrieb (vgl. Abbildung 2), die *Planck'sche Strahlungsformel*:

$$J_s(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{(hc)/(\lambda k T)} - 1}$$

Dabei sind c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und h eine neue Naturkonstante, das *Planck'sche Wirkungsquantum*, welche eine zentrale Rolle in der Quantenphysik einnimmt, die mit der Untersuchung der Wärmestrahlung ihren Anfang nahm.

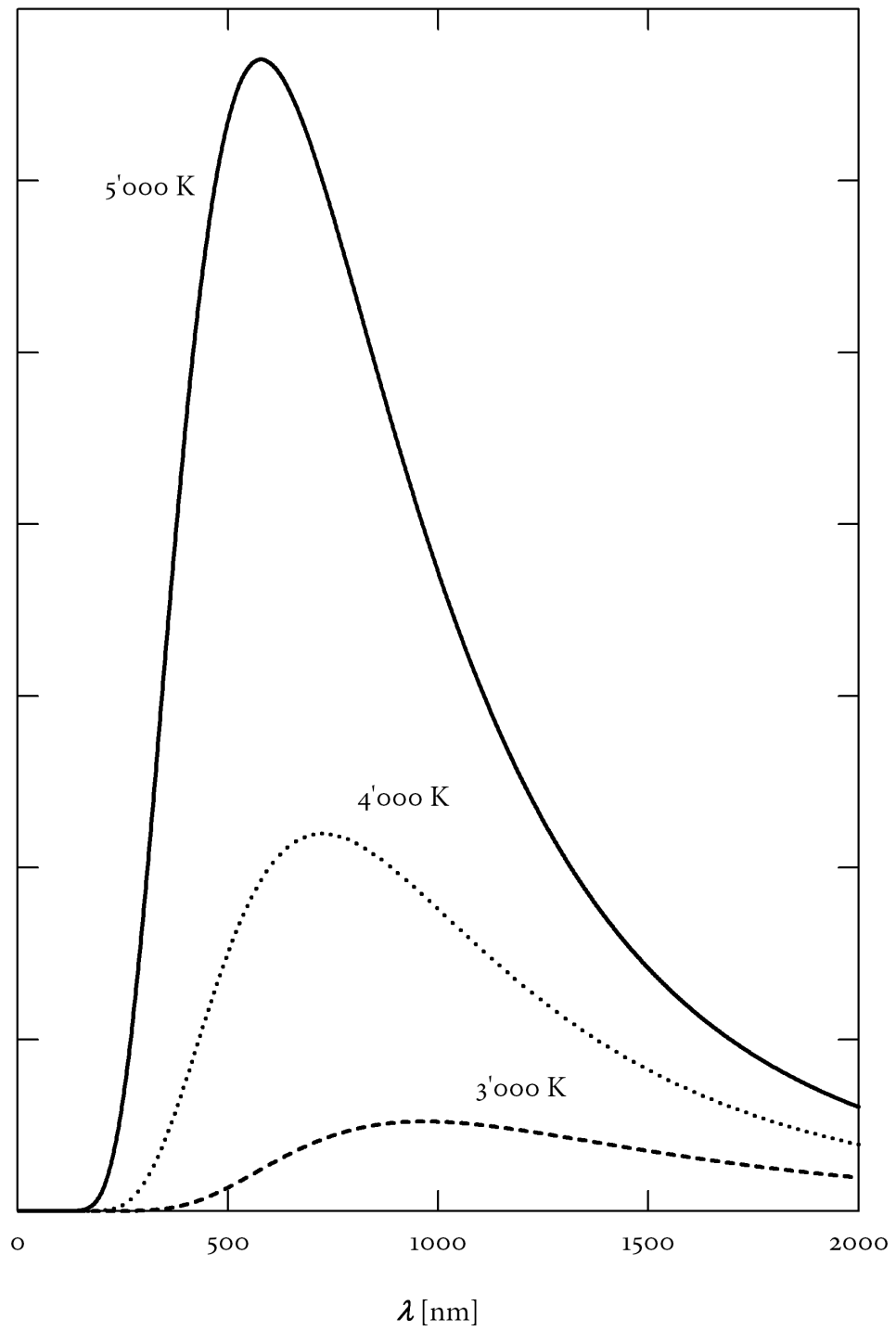


ABBILDUNG 2: Strahlungsverteilung nach Planck