

# WÄRMEÜBERTRAGUNG

## 1. Arten der Wärmeübertragung

Die thermische Energie<sup>1</sup> ist der Teil der inneren Energie eines Körpers (damit sind hier Festkörper, Flüssigkeiten und Gase gemeint), der in der Bewegung der Teilchen, aus denen diese Körper aufgebaut sind steckt.

Die Energie ist eine mengenartige Größe und kann auch transportiert werden. Die in einem Übertragungsprozess transportierte thermische Energie nennt man Wärme.

Der Transport innerer Energie kann durch **Wärmeleitung**, **Konvektion** oder **Wärmestrahlung** erfolgen.

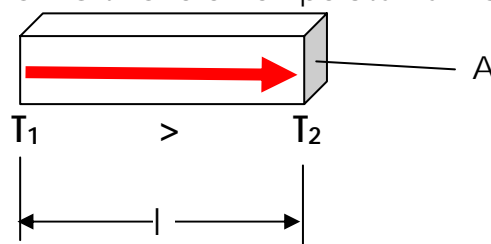
Bei der **Wärmeleitung** wird die innere Energie von der Materie weitergegeben, ohne dass diese selbst mitbewegt wird. Bei der Wärmeleitung werden daher keine makroskopischen Veränderungen sichtbar. Wärmeleitung tritt auf in Festkörpern, Flüssigkeiten oder Gasen.

**Konvektion** ist der Abtransport / die Mitführung von innerer Energie durch / in Flüssigkeiten oder Gase/n. Konvektion ist also stets mit der Bewegung eines Transportmittels verbunden. Diese kann künstlich mit Ventilatoren oder Pumpen erzwungen werden oder aber von selbst in Gang kommen. In Festkörpern kann keine Konvektion stattfinden.

**Wärmestrahlung** benötigt kein Überträgermedium und erfolgt daher auch durch materiefreien Raum hindurch. Die Energieübertragung erfolgt durch sich ausbreitende elektromagnetische Wellen.

**Wärmeleitung** erfolgt innerhalb von Körpern und zwischen Körpern, die durch eine feste, flüssige oder gasförmige Substanz miteinander verbunden sind.

Der Wärmestrom fließt stets vom Ort höherer Temperatur zum Ort niedrigerer Temperatur.



Für den Wärmestrom durch einen Körper der Querschnittsfläche A und der Länge l gilt:

$$P = \lambda \cdot \frac{A}{l} \cdot \Delta T$$

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit, A Querschnittsfläche der Verbindung, l Länge der Verbindung,  $\Delta T$  Temperaturdifferenz.

Der Wärmestrom ist also umso größer,

- je größer die Temperaturdifferenz ist,
- je größer die Querschnittsfläche ist
- und je kürzer der Körper ist, d.h. also, je kürzer der Weg ist, über die sich die thermische Energie ausbreitet.

Außerdem ist der **Wärmestrom auch noch vom Material abhängig**. Diese Abhängigkeit wird durch eine Materialkonstante, die sog. Wärmeleitfähigkeit beschrieben. Metalle sind sehr gute Wärmeleiter. Festkörper leiten wesentlich besser als Flüssigkeiten und diese wesentlich besser als Gase.

---

<sup>1</sup> Oft ist man im Sprachgebrauch nicht ganz exakt und spricht von innerer Energie, wenn man genau genommen von der thermischen Energie sprechen müsste. Aus dem Zusammenhang heraus ist aber dann klar, dass es sich nur um den thermischen Anteil der inneren Energie handeln kann.

Bei einem Wärmestrom zwischen zwei sich berührenden Körpern spricht man von Wärmeübergang. Für die Wärmeübertragung gilt:  $P = \alpha A \Delta T$ ;  $\alpha$  ist die Wärmeübergangszahl. Die Wärmeübergangszahl hängt ab, von den beteiligten Substanzen und von der „Qualität“ des Kontakts: Oberflächenbeschaffenheit der Kontaktflächen, Leitfähigkeit verbindender Substanzen (Wärmeleitpaste, Flüssigkeitsfilm, Kleber, Luftpolster), Konvektion in den verbindenden Substanzen.

### Erklärungen im Teilchenmodell

Im Teilchenmodell lässt sich die **Wärmeleitung** wie folgt beschreiben: Festkörper, Flüssigkeiten und Gas bestehen aus kleinen Teilchen. Die Teilchen führen eine sog. thermische Bewegung aus. Je größer die Temperatur eines Körpers, desto größer ist die mittlere Geschwindigkeit und damit auch die mittlere kinetische Energie der Teilchen. Die Summe der kinetischen Energie aller Teilchen ist ein wesentlicher Teil der inneren Energie eines Körpers. Bei der Wechselwirkung mit den Nachbarteilchen (el. Kopplung in Festkörpern, Stossprozesse in Flüssigkeiten und Gasen) wird kinetische Energie von einem Teilchen auf das Nachbarteilchen, von diesem auf das nächste Nachbarteilchen usw. übertragen. Die thermische Energie breitet sich aus.

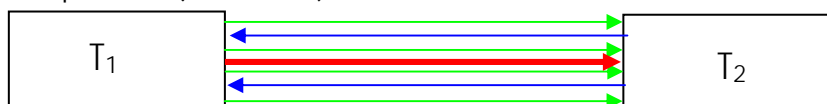
In Festkörpern ist die Wechselwirkung zwischen den Gitteratomen sehr stark (große Bindungskräfte). Daher sind Festkörper relativ gute Wärmeleiter. Metalle leiten die innere Energie besonders gut, weil dort auch die freien Elektronen zur Wärmeleitung beitragen. In Flüssigkeiten sind die Bindungskräfte zwischen den Teilchen und damit auch die Wechselwirkung zwischen ihnen wesentlich schwächer. Die Energieübertragung erfolgt in der Hauptsache bei Stoßprozessen. Flüssigkeiten sind daher schlechtere Wärmeleiter. In Gasen besteht keine Bindung zwischen den Teilchen. Die Energieübertragung erfolgt in vergleichsweise seltenen Stoßprozessen. Deshalb sind Gase sehr schlechte Wärmeleiter.

**Konvektion** ist die Mitführung von thermischer Energie in strömenden Flüssigkeiten oder Gasen.

Der Strömungsprozess kommt entweder wegen der örtlichen, temperaturbedingten Dichteunterschiede von allein in Gang (natürliche Konvektion; heißes Wasser steigt im Kochtopf von unten nach oben, erwärmte Luft steigt auf) oder wird durch Pumpen erzwungen. Das Entstehen der natürlichen Konvektion kann man sich wie folgt vorstellen: Bei Erwärmung erhöht sich die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen der Flüssigkeit oder des Gases. Die erwärmte Flüssigkeit / das erwärmte Gas dehnt sich auch. Dadurch verringert sich ihre/seine Dichte. Wenn dabei nun eine labile Schichtung entsteht, d.h. wenn die Flüssigkeit / das Gas mit der geringeren Dichte unten liegt, dann steigt der erwärmte Stoff infolge des Auftriebs nach oben. Eine Strömung bildet sich aus. Mit der strömenden Materie wird innere Energie transportiert. Eine Zentralheizung ohne Umwälzpumpe arbeitet nach diesem Prinzip.

Bei der Konvektion können wesentlich größere Wärmeströme auftreten als bei der Wärmeleitung.

**Wärmestrahlung** ist die Übertragung innerer Energie durch elektromagnetische Wellen. Jeder Körper emittiert sog. Temperaturstrahlung. Dabei gibt er thermische Energie ab. Gleichzeitig absorbiert jeder Körper Strahlung, die er vollständig in thermische Energie umwandelt. Zwischen zwei Körpern bzw. zwischen einem Körper und seiner Umgebung strömt daher Energie stets in beide Richtungen. Der Netto-Wärmestrom ist die Differenz der beiden Wärmeströme und geht vom Körper höherer Temperatur (der Quelle) zum Körper niedrigerer Temperatur (zur Senke).



Wärmestrahlung → Wärmestrom von 1 nach 2

Wärmestrahlung → Wärmestrom von 2 nach 1

Nettowärmestrom von 1 nach 2

Ein Körper befindet sich im Strahlungsgleichgewicht mit seiner Umgebung, wenn er genauso viel Strahlung aufnimmt, wie er abgibt. Seine Temperatur ist dann die gleiche, wie die (der Körper in) seiner Umgebung.

Wie stark ein Körper abstrahlt hängt ab

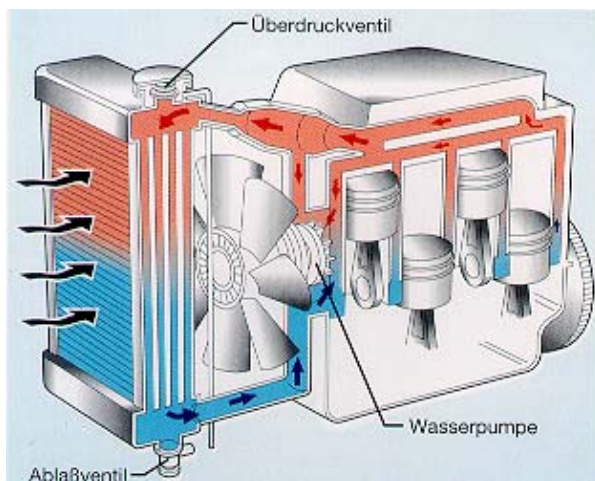
- von seiner Temperatur (je größer T, desto größer die Abstrahlung),
- seiner Farbe und
- von der Rauigkeit seiner Oberfläche ab.

Auch die Absorption hängt von der Farbe und der Oberflächenrauigkeit ab. Dunkle, rauhe Körper absorbieren und emittieren stärker als helle, glatte.

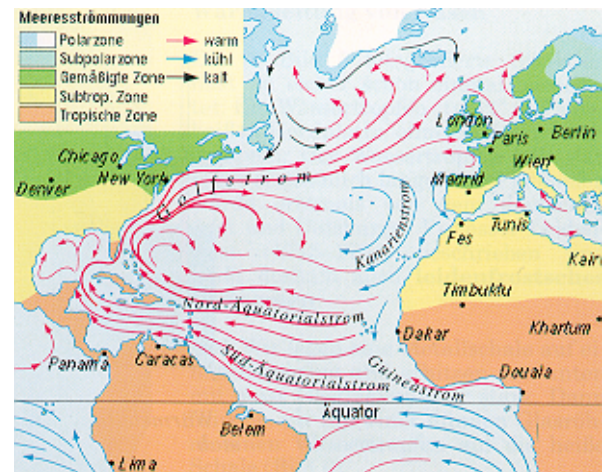
## 2. Naturphänomene und technische Anwendungen, in denen Wärmeübertragung eine Rolle spielt.

Sonneneinstrahlung: Übertragung thermischer Energie von der Sonne zur Erde.

Motorkühlung



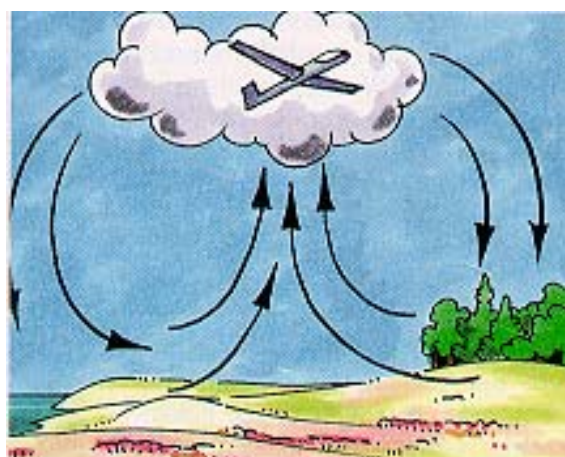
Golfstrom



Weihnachtsspirale



Aufwind/Thermik



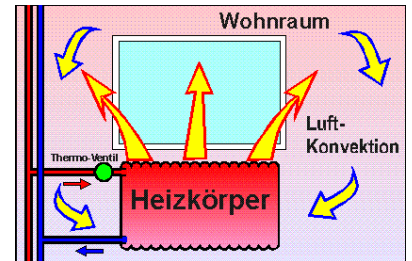
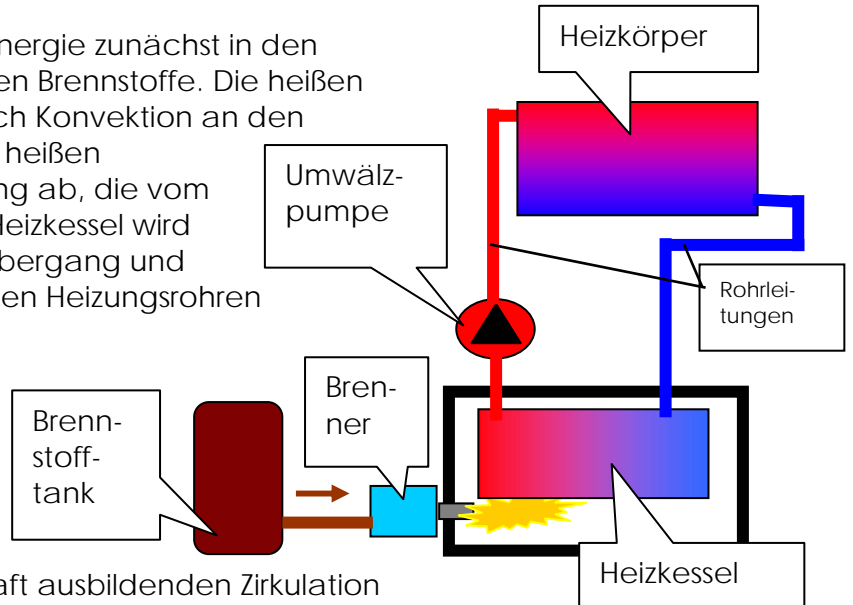
**Heizung:**

Im Heizbrenner steckt die innere Energie zunächst in den Verbrennungsprodukten der fossilen Brennstoffe. Die heißen Verbrennungsgase gelangen durch Konvektion an den Heizkessel. Außerdem strahlen die heißen Verbrennungsgase Wärmestrahlung ab, die vom Heizkessel absorbiert werden. Im Heizkessel wird die innere Energie durch Wärmeübergang und Wärmeleitung auf das Wasser in den Heizungsrohren übertragen.

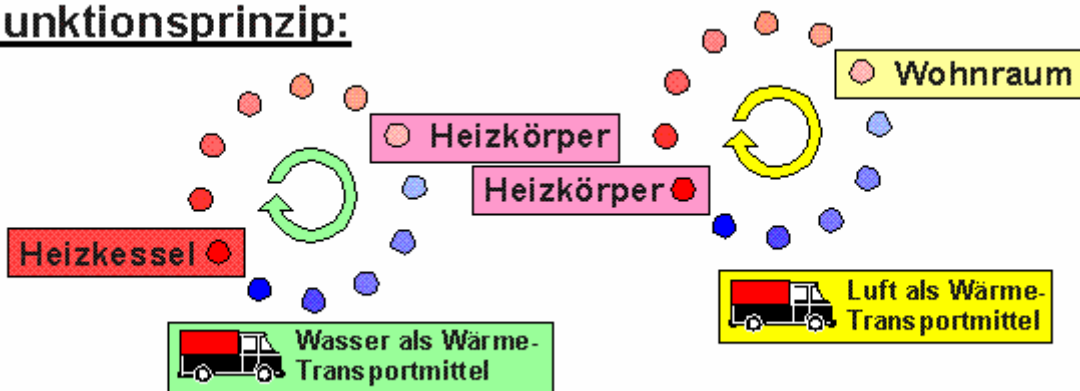
In den Rohrleitungen der Heizung wird die thermische Energie durch Konvektion in die Heizkörper gebracht. Das erhitzte Wasser gelangt entweder infolge des Auftriebs und der sich infolge der Schwerkraft ausbildenden Zirkulation (Schwerkraftheizung) oder mit Hilfe von Umwälzpumpen (erzwungene Konvektion) in die Heizkörper. Das zirkulierende Wasser ist das Transportmittel für die thermische Energie.

Im Heizkörper findet ein Wärmeübergang auf den Heizkörper, eine Wärmeleitung im Heizkörper und ein Wärmeübergang zur umgebenden Luft statt. Außerdem gibt der erwärmte Heizkörper Wärmestrahlung ab, die von den Gegenständen und Menschen im Raum, sowie von Wänden und vom Fußboden absorbiert wird, die auch ihrerseits wieder abstrahlen (Strahlungsheizung).

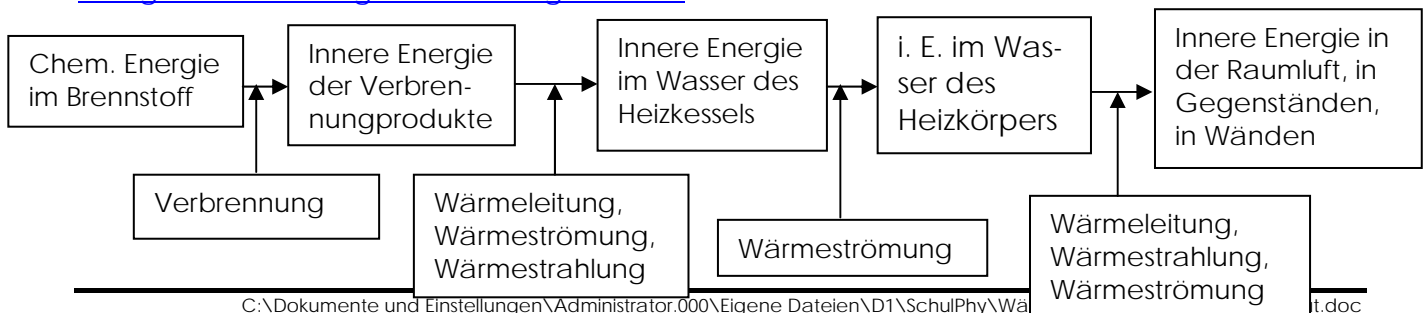
Für die Erwärmung der Raumluft ist im Wesentlichen die Konvektion verantwortlich. Durch Wärmeleitung wird die Luft in der Umgebung des Heizkörpers, insbesondere zwischen den Heizkörperlamellen, erwärmt. Die erwärmte Luft steigt auf und kühlt dann im Raum wieder ab. Abgekühlte Luft fließt von unten nach und wird ihrerseits wieder erwärmt. Es bildet sich eine Luftzirkulation aus. Die Luft ist das Transportmittel für die thermische Energie (Konvektionsheizung).



**Funktionsprinzip:**



Energieumwandlungen und Energieströme



## Wärmedämmung

Bei der Wärmedämmung eines Hauses kommt es darauf an, ein Entweichen der thermischen Energie nach außen soweit wie möglich zu verhindern.

Ein Entweichen der Energie nach außen erfolgt entweder durch Konvektion, wenn warme Luft durch Ritzen und Fenster entweicht, durch Wärmeleitung über die Wände und Fensterflächen und durch Abstrahlung der Außenwand und durch Glasflächen.

Durch Stoßlüftungen statt langem Kippen von Fenstern und durch Abdichten von Ritzen können die Verluste durch Konvektion klein gehalten werden.

Wenn die Außentemperatur niedriger ist als die Innentemperatur findet Wärmeleitung nach außen statt. Der Wärmestrom ist umso geringer, je dicker die Wand ist und je schlechter die Wärmeleitfähigkeit des Wandmaterials ist. Hohlblocksteine sind schlechte Wärmeleiter, weil die eingeschlossene Luft ein schlechter Wärmeleiter ist. Auch mehrfach verglaste Fenster sind wegen der eingeschlossenen Luft schlechte Wärmeleiter. Styropor, PU- oder Glasfasermatten werden an Außenwänden zur Isolation angebracht. Diese Materialien sind schlechte Wärmeleiter, weil sie viel Luft einschließen. Ebenso leitet die Luft zwischen Wand und Isolierschicht (Hinterlüftung) schlecht. Aus dem gleichen Grund werden Fensterläden und Rollos angebracht.

Wenn die Umgebungstemperatur niedriger ist als die des Hauses, kommt es zu einer Nettoabstrahlung der Außenwand und durch die Fenster. Die abgestrahlte Leistung hängt von der Farbe und der Oberflächenbeschaffenheit der Wand ab. Hinter Heizkörpern bringt man oft glänzende Alufolien an, damit die ankommende Wärmestrahlung nicht von der Wand absorbiert wird, sondern in den Raum zurück reflektiert wird.

Auch Windschutz bedeutet Wärmeschutz. Von der Hauswand zur Außenluft findet ein Wärmeübergang statt, wobei der Wärmestrom mit der Temperaturdifferenz steigt. Wird bei Wind die warme Luft stets abtransportiert (Konvektion) bildet sich immer wieder von neuem eine hohe Temperaturdifferenz aus.

## 3. Schulexperimente zur Demonstration der Wärmeübertragung

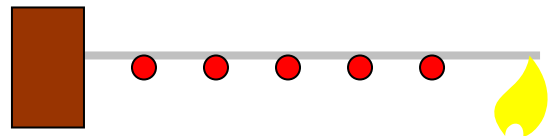
### Wärmeleitung

V1: Ein Geldstück wird von einem Schüler an einem Ende gehalten und am anderen Ende von einem anderen Schüler mit einer Kerzenflamme oder einem Feuerzeug erwärmt.

Nach kurzer Zeit wird das Geldstück auch dort wo es nicht direkt erwärmt wird wärmer und wärmer und schließlich heiß.

Äußerlich ist keine Veränderung an der Münze beobachtbar. Die innerer Energie breitet sich in der Münze durch Wärmeleitung aus.

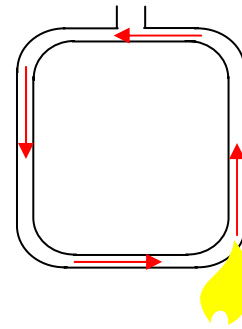
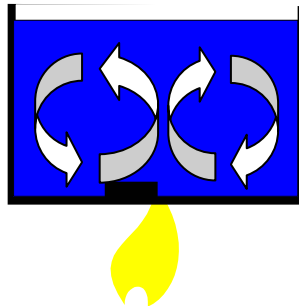
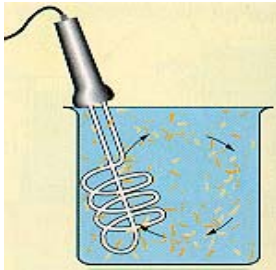
V2: Eine Stricknadel wird auf einen Korken gesteckt. An der Nadel werden kleine Wachskügelchen befestigt. Die Nadel wird am freien Ende mit einer Kerzenflamme erwärmt.



Der Reihe nach schmelzen die Wachskügelchen und fallen ab. Die innere Energie der Verbrennungsprodukte ging auf die Stricknadel über und hat sich dort durch Wärmeleitung ausgebreitet.

Konvektion:

In ein Glas wird Wasser gefüllt und in der Mitte des Glasbodens eine geöffnete Tintenpatrone angeklebt. Unter dem Glas wird mit einer Kerzenflamme oder einem Campingkocher lokal erwärmt. Man beobachtet die Ausbildung einer Flüssigkeitszirkulation. Mit dem aufsteigenden heißen Wasser wird thermische Energie transportiert.

Wärmestrahlung:

V1: Hält man die Hand neben oder unter eine elektrische Glühlampe, so wird sie sofort nach dem einschalten warm. Fasst man an den Glaskolben, so ist er aber noch kalt. Da die Hand aber weder durch Wärmeleitung (Luft ist ein schlechter Wärmeleiter, außerdem ist sogar der Glaskolben noch kalt), noch durch Konvektion (warme Luft steigt nach oben) erwärmt wurde, geschah die Erwärmung durch Absorption von Wärmestrahlung.



## V2:

Ein Wärmestrahler wird auf die Ausdehnungsgefäße zweier Thermometer gerichtet. Das eine ist angerusst, das andere mit Alu-Folie umwickelt. Man beobachtet, dass bei beiden Thermometern die Temperatur ansteigt, beim schwarzen allerdings viel schneller als beim silbernen. Da Wärmeleitung und Wärmeströmung ausgeschlossen werden können, wird die Energie durch Wärmestrahlung übertragen. Der Versuch zeigt darüber hinaus, dass schwarze matte Körper die Wärme besser absorbieren als helle glatte.

