

# Die Steirischen Rauchfangkehrergesellen



## Physik allgemein und speziell für Rauchfangkehrer Teil 3



Dieses Informationsschriftstück wurde von den Steirischen Rauchfangkehrergesellen, unter Bedachtnahme der einschlägigen Gesetze, Vorschriften, Normen und technischen Richtlinien erstellt und ist teilweise nur für das Land Steiermark gültig, da sich die Gesetze und Vorschriften anderer Bundesländer oder Staaten von den steirischen Gesetzen und Vorschriften unterscheiden.

Weiters wurden für die Erstellung dieses Schriftstückes Informationen und Daten diverser Heizungs-, Kessel-, Brenner-, Rauchfangbau und Installationsfirmen verwendet für deren Verwendung ein mündliches oder schriftliches Einverständnis vorliegt.

Es wurde in sorgfältiger Recherche erstellt, aber trotzdem kann es zu Fehlern kommen. Sollte der eine oder andere Fehler gefunden werden, so bitten wir um Bekanntgabe derselben, um eine Änderung oder Berichtigung vornehmen zu können.



# Wärme „Q“

**Wärme (auch Wärmemenge) ist eine physikalische Größe, eine Prozessgröße**

Wärme ist wie Arbeit eine besondere Form der Energie.

Wärme, Energie und Arbeit sind Größen gleicher Art.

Energie tritt in verschiedenen Formen auf. So wird z.B. in einem Kraftwerk durch die Wärmeenergie eines Brennstoffes oder durch Kernspaltung Hochdruckdampf erzeugt, der eine Turbine in Bewegung setzt. Diese mechanische Energie wird durch einen Generator in elektrische Energie umgewandelt. Mit Strom lässt sich ein Elektromotor antreiben. Durch Reibung im Motor und in der angetriebenen Maschine wird ein großer Teil der mechanischen Energie in Wärmeenergie übergeföhrt.

**Arbeit, Energie und Wärme sind gleichartige Größen, sie haben die gemeinsame SI-Einheit**

## Das Joule (J),

weitere Einheiten sind: kJ, MJ, Nm, Ws, Wh, kWh.

Es gelten folgende Umrechnungswerte: **1 Wh = 3600 J = 3,6 kJ / 1 kWh = 3600 kJ = 3.6 MJ**

Sie kann sowohl mikroskopisch durch die Kinetische Theorie, als auch makroskopisch durch die Thermodynamik beschrieben werden.

Wärme in der Thermodynamik ist über eine Systemgrenze hinweg transportierte thermische Energie. Wärme tritt als Prozessgröße nur bei dem Vorliegen eines Temperaturgradienten auf. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff Wärme aber häufig mit der thermischen Energie selbst verwechselt.

### Physikalische Größe:

Wärme ist wie Arbeit an Transportvorgänge gebunden und daher eine Prozessgröße, im Gegensatz zu einer Zustandsgröße.

**Dabei wird thermische Energie aufgrund des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik immer vom System mit der höheren Temperatur in Richtung des Systems mit der geringeren Temperatur übertragen.**

Dies gilt solange eine Temperaturdifferenz zwischen zwei thermisch gekoppelten Systemen besteht, diese sich also noch nicht im thermischen Gleichgewicht befinden.



# Spezifische Wärmekapazität

Um die Temperatur eines Stoffes zu erhöhen, muss man ihm Energie zuführen, diese wird bei sinkender Temperatur wieder abgegeben. Soll die Temperatur von 1 kg eines Stoffes um 1 K erhöht werden, ist eine bestimmte Wärmeenergie notwendig, die als spezifische Wärmekapazität  $c$  bezeichnet wird.

**Die spezifische Wärmekapazität gibt an, welche Wärmemenge nötig ist, um die Temperatur von 1 kg eines Stoffes um 1 K (1°C) zu erhöhen.**

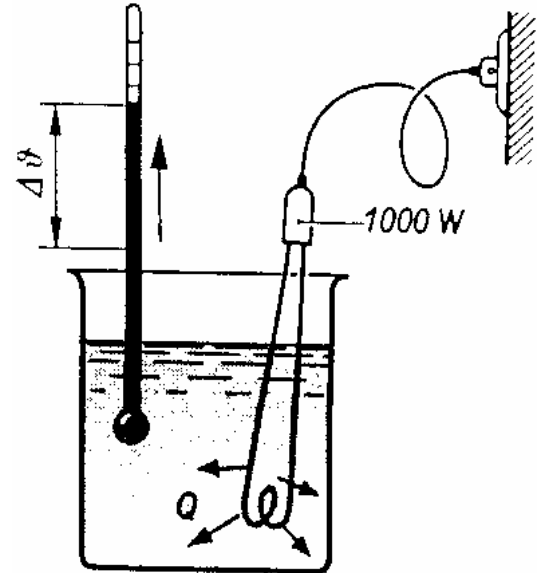
### Versuch Erwärmung von Wasser und Öl

Ein temperaturbeständiger Glasbehälter wird mit 1 kg Wasser gefüllt. Mit einem Tauchsieder (1000 W) wird das Wasser 2 Minuten lang erwärmt.

Ein temperaturbeständiger Glasbehälter wird mit 1 kg Öl gefüllt. Mit einem Tauchsieder (1000 W) wird das Öl 2 Minuten lang erwärmt.

Die Temperaturen der Flüssigkeiten steigen

- a) Wasser um ca. 28 K (°C)    b) bei Öl um ca. 55 K (°C)



Bei gleicher Wärmezufuhr ist die Temperaturerhöhung von Öl etwa doppelt so groß wie bei Wasser. Die Stoffe erwärmen sich unterschiedlich.

*Auch das Volumen von Stoffen ändert sich bei Erwärmung  
(siehe Abschnitt Verhalten Von Stoffen Bei Erwärmung)*

Wasser hat eine besonders große spezifische Wärmekapazität (vgl. Tabelle).

Tabelle Spezifische Wärmekapazitäten $c$ verschiedener Stoffe					
Stoffart	$c$ in kJ/(kg K)	$c$ in Wh/(kg K)	Stoffart	$c$ in kJ/(kg K)	$c$ in Wh/(kg K)
Aluminium	0,94	0,261	Quecksilber	0,14	0,038
Beton	0,88	0,244	Silber	0,24	0,065
Blei	0,13	0,036	Stahl	0,48	0,132
Eis	2,09	0,580	Wasser	4,19	1,163
Gusseisen	0,54	0,150	Wasserdampf		
Heizöl EL	1,87	0,520	bis ca. 150°C	2,02	0,560
Kupfer	0,39	0,108	Ziegelsteine	1,04	0,290
Luft (Normzustand)	1,03	0,285	Zink	0,39	0,107
Kupfer-Zink- Legierung (Messing)	0,38	0,106	Zinn	0,23	0,063



Das Übertragen von **Wärme Q** ist meist mit einer **Temperaturänderung  $\Delta T$**  verbunden:

$$\Delta Q = C_V \Delta T$$

Hierbei ist  $C_V$  die Wärmekapazität bei konstantem Volumen  $V$ .

**Ausnahme:**

Es existieren jedoch auch Systeme, bei denen eine Wärmezufuhr zur Phasenumwandlung und nicht zur Temperaturerhöhung führt, zum Beispiel beim Verdampfen von Flüssigkeiten. Auch kann die Wärmezufuhr (teilweise) in **Arbeit (W)** umgewandelt werden.

Als thermodynamische Größe ist die Wärme eindeutig über den ersten Hauptsatz definiert:

$$\Delta U = \delta Q + \delta W$$

Wärmezufuhr erhöht also (ebenso wie Arbeitsleistung) **die Innere Energie U** eines Systems. Die Einzelheiten der physikalischen Vorgänge, die zum Transport von thermischer Energie führen, sind damit allerdings nicht genau festgelegt.

In der Theorie der Wärmeübertragung wird der Wärmestrom nach Jean Baptiste Joseph Fourier mit Hilfe eines Temperaturgradienten definiert.

Bei der Wärmeabgabe bzw. -aufnahme hat die Masse des Körpers einen direkt proportionalen Einfluss, so dass die Wärme mit berechnet werden muss.

$$Q = c * m \Delta T$$

(**m**: Masse in kg, **Q**: Wärme in kJ, **c**: Wärmekapazität,  **$\Delta T$** : Temperaturdifferenz in Kelvin oder Grad Celsius)



# Verhalten von Stoffen Bei Erwärmung

## 1.) Längenänderung fester Stoffe:

Die Längenänderung  $\Delta l$  ist abhängig von:

- von der Höhe des Temperaturunterschiedes  $\Delta T$
- vom Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  des Materials
- von der Ausgangslänge  $l_1$

**Formel:**

Länge	Fläche	Volumen
$\Delta l = l_0 * \alpha * \Delta T$	$\Delta A = A_0 * 2\alpha * \Delta T$	$\Delta V = V_0 * 3\alpha * \Delta T$

$\Delta l$  = Längenänderung in m

$\Delta A$  = Flächenänderung in m<sup>2</sup>

$\Delta V$  = Volumenänderung in m<sup>3</sup>

$l_0$  = Ausgangslänge

$A_0$  = Ausgangsfläche

$V_0$  = Ausgangsvolumen

$\alpha$  = Längenausdehnungskoeffizient

$\gamma$  = Volumenausdehnungskoeffizient

$\Delta T$  = Temperaturunterschied in K

## 2.) Volumenänderung von Gasen:

$$\Delta V = V_0 * \gamma * \Delta T$$

**Formel:**

Auch Gase haben das Bestreben sich bei einer Temperaturerhöhung auszudehnen. Jedoch spielen hier auch **Druck** oder ein **begrenzttes Volumen** eine Rolle.

**Für ein ideales Gas gelten die gleichen Formeln wie für Flüssigkeiten, wobei  $\gamma$  jedoch eine Konstante ist.**

$\gamma$  hängt also nicht von der Art des Gases ab.

$$\gamma = 1/273,15 \text{ K}^{-1}$$

Das Volumen eines Beliebigen Gases vergrößert sich bei einer **Temperaturerhöhung** um **1K** um **das 1/273 fache seines Volumens** und zieht sich bei selbiger Abkühlung um den gleichen Wert zusammen.

$$V_2 = \frac{V_1 * T_2}{T_1}$$

$V_1$  = Anfangsvolumen (m<sup>3</sup>)  
 $T_1$  = Anfangstemperatur (K)

$V_2$  = Endvolumen (m<sup>3</sup>)  
 $T_2$  = Endtemperatur (K)

**Gasgleichungen erfordern immer Kelvin Temperaturen (K)**

**T = Temperatur in K = °C + 273.  
 Das heißt 1 °Celsius ist gleich 273 Kelvin**



### 3.) Volumenänderung flüssiger Stoffe:

Formel:

$$\Delta V = V_0 * \gamma * \Delta T$$

- $\Delta V$  = Volumenänderung in m<sup>3</sup>
- $V_0$  = Ausgangsvolumen
- $\gamma$  = Volumenausdehnungskoeffizient
- $\Delta T$  = Temperaturunterschied in K

### 4.) Die „Anomalie des Wassers“

Wasser hat unter Normaldruck bei 3,98 °C das kleinste Volumen und die größte Dichte (0,999972 –g/cm<sup>3</sup>). Daher dehnt es sich – wenn man von dieser Anfangstemperatur ausgeht – sowohl bei Erwärmung als auch bei Abkühlung aus (Dichte sinkt in beiden Richtungen ab).

Formel:

$$\Delta V = m * (v_2 - v_1)$$

- $\Delta V$  = Volumenänderung in dm<sup>3</sup>
- $m$  = Masse des Wassers (kg)
- $v_1$  = Spezifische Volumen bei  $\vartheta_1$  (T in C°)
- $v_2$  = Spezifische Volumen bei  $\vartheta_2$  (T in C°)

#### Spezifische Volumens – und Dichte - Änderung von Wasser bei Temperaturänderung

$\vartheta$	$v$	$\rho$	$\vartheta$	$v$	$\rho$	$\vartheta$	$v$	$\rho$
Temperatur in °C	Spezifisches Volumen in dm <sup>3</sup> /kg	Dichte in kg/dm <sup>3</sup>	Temperatur in °C	Spezifisches Volumen in dm <sup>3</sup> /kg	Dichte in kg/dm <sup>3</sup>	Temperatur in °C	Spezifisches Volumen in dm <sup>3</sup> /kg	Dichte in kg/dm <sup>3</sup>
0 Eis	1,110	0,9000	25	1,0029		80	1,0290	0,9718
0 Wasser	1,0002	0,9998	30	1,0044	0,9956	90	1,0359	0,9653
4	1,0000	1,000	40	1,0079	0,9922	100	1,0435	0,9583
10	1,0004	0,9996	50	1,121	0,9880	110	1,0515	0,9510
15	1,0009		60	1,0171	0,9832	120	1,0603	0,9431
20	1,0018	0,9982	70	1,0227	0,9777	130	1,0697	0,9348



# Zustandsänderungen von Stoffen bei Erwärmung

--- immer von fest auf flüssig auf gasförmig und umgekehrt ---

## Verdampfen und Kondensieren

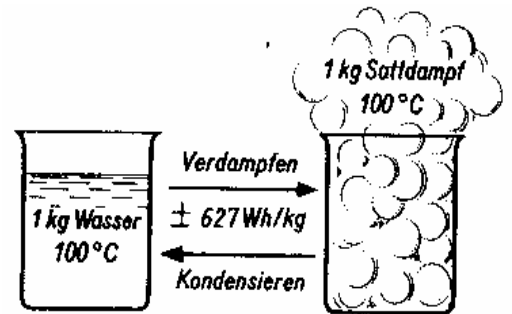
Um 1 kg siedende Flüssigkeit zu verdampfen,

muss die **spezifische Verdampfungswärme  $r$**  zugeführt werden.

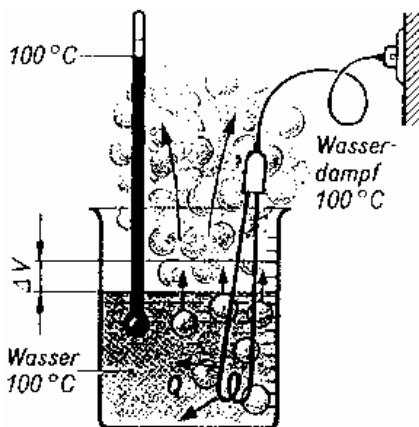
Die spezifische Verdampfungswärme von Wasser beträgt **627 Wh/kg**.

Sie wird benötigt, um 1 kg Wasser bei Siedetemperatur zu verdampfen. Beim Kondensieren muss die Verdampfungswärme dem Sattdampf wieder entzogen werden.

Von Beginn bis Ende der Verdampfung bildet sich so genannter Nassdampf. Die Wassermoleküle liegen teils flüssig und teils dampfförmig vor. Wenn alle Flüssigkeitsteilchen in Dampf übergegangen sind, spricht man von Sattdampf. Siedendes Wasser, Nassdampf und Sattdampf besitzen die gleiche Temperatur - 100°C.



Um Dampf in großen Mengen zu erzeugen, muss einer siedenden Flüssigkeit weiter Wärme zugeführt werden.



### Versuch Wasserverdampfung

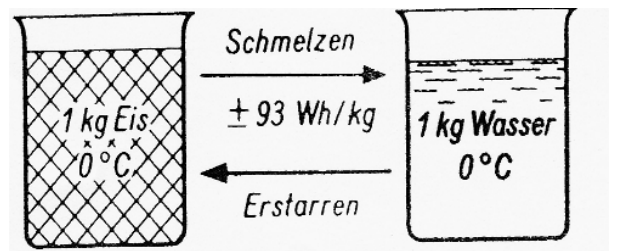
Ein Tauchsieder mit einer Leistung von 1000 W erwärmt das Wasser bis zur Siedetemperatur. Anschließend bleibt der Tauchsieder 4 Minuten lang eingeschaltet. Danach wird die verdampfte Wassermasse festgestellt.

### Ergebnis:

Nach Erreichen der Siedetemperatur bilden sich am Tauchsieder Dampfblasen, die an die Wasseroberfläche sprudeln. Die Temperatur bleibt konstant bei ca. 100 °C. Am Ende des Versuches sind ca. 100 cm<sup>3</sup> Wasser verdampft.

## Schmelzen und Erstarren

Um einen festen Körper vollständig zu verflüssigen, müssen alle Teile des Körpers die Schmelztemperatur erreicht haben. Zum Schmelzen von 1 kg eines Stoffes ist die **spezifische Schmelzwärme  $s$**  erforderlich (siehe Tabelle.) Beim Erstarren verläuft der Vorgang in umgekehrter Richtung. Die Schmelzwärme wird wieder frei. Während des Schmelzens und Erstarrens bleibt die Temperatur eines Körpers konstant.



### Spezifische Schmelzwärmen $s$ und Schmelztemperaturen $\vartheta_s$ verschiedener Stoffe

Stoffart	$s$ in kJ/kg	$s$ in Wh/kg	$\vartheta_s$ in °C	Stoffart	$s$ in kJ/kg	$s$ in Wh/kg	$\vartheta_s$ in °C
Aluminium	404	112	660	Kupfer	205	57	1083
Blei	25	7	328	Zink	112	31	420
Eisen	270	75	1535	Zinn	59	16	232
Eis (Wasser)	336	93	0	Quecksilber	12	3	-39

### Spezifische Schmelzwärme von Wasser.

Sie wird benötigt, um 1 kg Eis von 0 °C zu schmelzen.

Beim Gefrieren muss die Schmelzwärme dem Wasser von 0 °C entzogen werden.



# Wärmeübertragung

Damit eine Wärmeübertragung (Transport) stattfinden kann, müssen zwei angrenzende Systeme über einen unterschiedlichen Wärmezustand verfügen.

**Grundsätzlich erfolgt ein Wärmetransport von einem „warmen“ zu einem „kalten“ System.**

Haben beide angrenzende Systeme einen gleichen Wärmezustand, ist eine Wärmeübertragung nicht möglich. Es besteht ein thermisches Gleichgewicht.

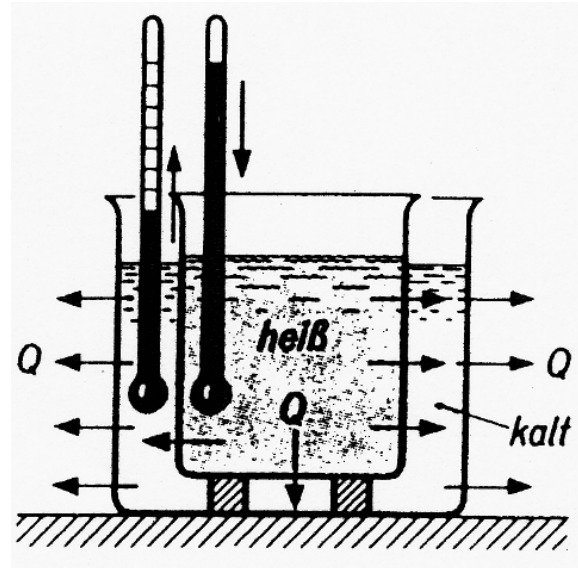
**Versuch:**

Ein Glasgefäß wird mit kaltem Wasser, ein kleineres Gefäß mit heißem Wasser gefüllt. Das kleine Gefäß stellt man in das große. In beiden Gefäßen werden die Wassertemperaturen von Zeit zu Zeit gemessen.

**Ergebnis:**

Die Temperatur des heißen Wassers sinkt, die des kalten steigt. Die Temperaturänderungen verlangsamen sich, bis sich nach längerer Zeit beide Wassertemperaturen der Raumtemperatur nähern.

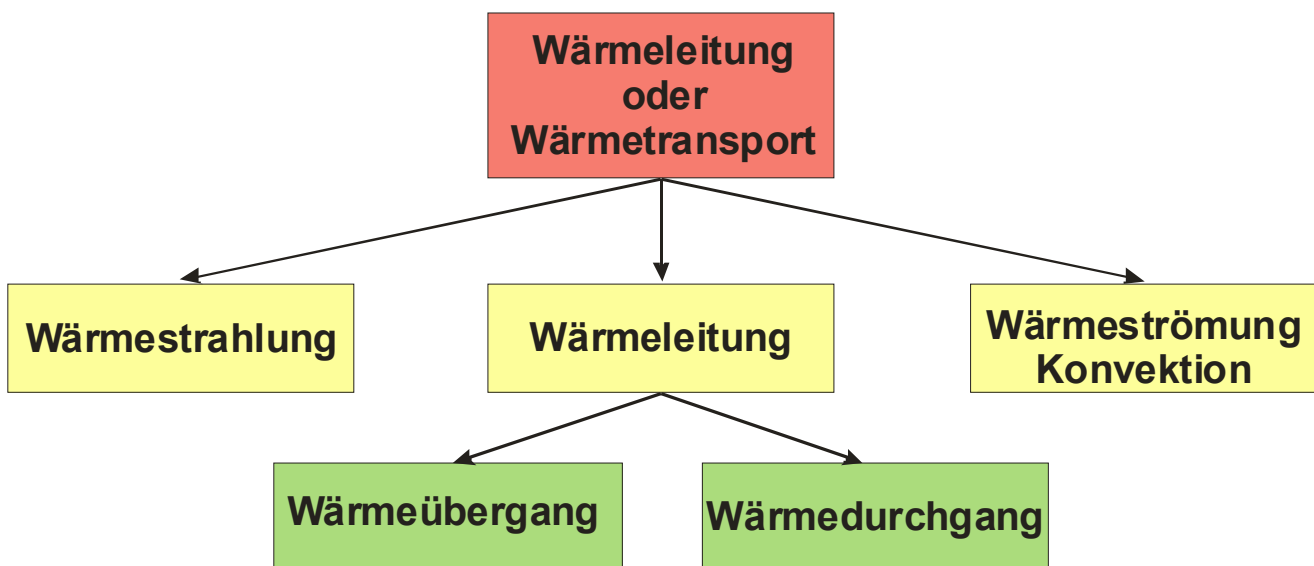
Bei Stoffen mit unterschiedlichen Temperaturen gleichen sich die Wärmezustände aus. Dabei fließt die Wärme in Richtung der tieferen Temperatur.



**Wärme ist nicht an einen bestimmten Körper gebunden, sie kann in Richtung der tieferen Temperatur auf andere Körper übergehen. Man nennt diesen Vorgang Wärmeübertragung.**

## Formen der Wärmeübertragung:

**Es wird allgemein zwischen 3 Formen der Wärmeübertragung unterschieden:**





**Wärmeleitung:** auch *Kontaktwärme* genannt:

Wärmeleitung ist an einem festen Körper mit einer Temperaturdifferenz gebunden. Bei einer punktuellen Erwärmung eines festen Körpers wird die Wärmeenergie auf die unmittelbar in der Nähe liegenden Teilchen übertragen. Auf Grund der Energiezufuhr erhöht sich die Bewegungsenergie (kinetische Energie) dieser Teilchen. Diese energiereichen Teilchen übertragen die Bewegungsenergie auf benachbarte Teilchen, in dem sie diese "anstoßen". Dieser Prozess wiederholt sich so lange, bis alle Teilchen des Körpers die gleiche Bewegungsenergie besitzen. dazu muss ständig Wärmeenergie zugeführt werden da ein Teil an angrenzende Systeme (z.B.: Luft) abgegeben wird.

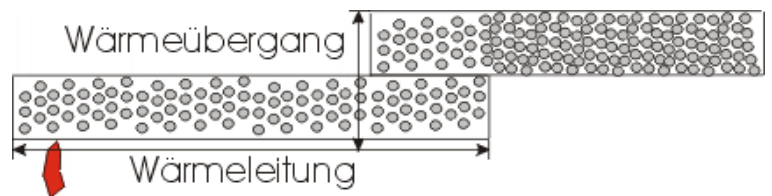


Die Wärmeleitung ist von vielen Faktoren abhängig. Insbesondere von der Wärmeleitfähigkeit des Stoffes. Allgemein kann man zwischen guten und schlechten Wärmeleitern sowie Isolatoren unterscheiden. In der Regel haben Stoffe mit einer hohen Dichte gute Wärmeleiteigenschaften.

Gute Wärmeleiter	Schlechte Wärmeleiter	Isolatoren
allg. Metalle	allg. Flüssigkeiten/Nichtmetalle	allg. Gase
Silber	Stein	Luft
Gold	Schwefel	Styropor
Eisen	Holz	Bettfedern
Aluminium	Sand	Vakuum
Kupfer	Ziegel	Hartschäume

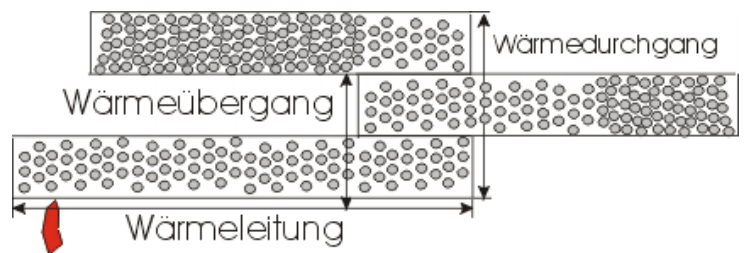
**Wärmeübergang**

Wärmeübergang ist eine Form der Wärmeleitung. Die Wärmeenergie wird von einem abgeschlossenen System auf ein angrenzendes System übertragen.



**Wärmedurchgang:**

Wärmedurchgang ist eine Form der Wärmeleitung. Die Wärmeenergie wird von einem abgeschlossenen System über ein angrenzendes auf ein weiteres abgeschlossenes System übertragen.



*Verschiedene Stoffe leiten die Wärme verschieden gut. Diese Stoffeigenschaft bezeichnet man als **Wärmeleitfähigkeit.  $\lambda$** . (sprich: Lambda). Wird Wärmeübertragung erwünscht, verwendet man gute Wärmeleiter, z.B. Kupfer. Ist Wärmeübertragung unerwünscht, weil Wärmeverluste vermieden werden sollen, werden schlechte Wärmeleiter, so genannte Wärmedämmstoffe benutzt. Fast alle schlechten Wärmeleiter sind porös. In ihren Poren ist Luft eingeschlossen, die im ruhenden Zustand die Wärme sehr schlecht leitet.*

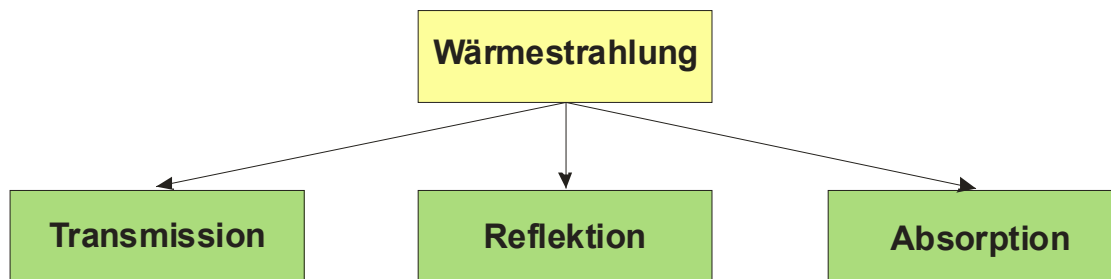


## Wärmestrahlung

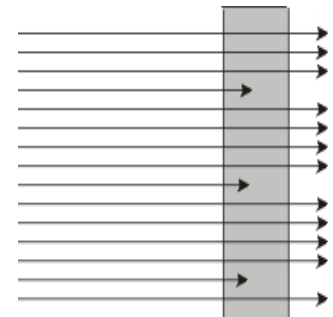
Hat ein Körper eine höhere Temperatur als seine Umgebung, wird Wärme in Form von Strahlung an kältere Körper abgegeben. Wärme strahlt in alle Richtungen

Wärmestrahlung ist eine Form des Energietransportes, der nicht an eine stoffliche Materie gebunden ist. Wärmestrahlung ist eine elektromagnetische Wellenstrahlung, deren Wellenlänge zwischen 400 nm – 1mm beträgt. Damit umfasst sie den Bereich des sichtbaren Lichts sowie des Infrarotbereiches.

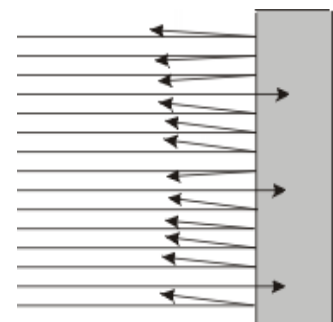
Wenn Wärmestrahlung auf einen festen, flüssigen oder gasförmigen Stoff trifft, können stoffbedingt 3 Formen einer Wechselwirkung auftreten.



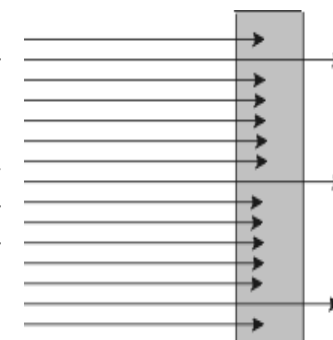
Von **Transmission** (Durchlässigkeit) spricht man, wenn ein Teil der Wärmeenergie durch den Stoff gelassen wird. Wie groß dieser Teil ist, hängt vom Stoff ab. Der Transmissionsgrad eines Stoffes sagt aus, wie viel Wärmeenergie dieser durchlässt. Der Transmissionsgrad ist der Quotient aus aufgetroffener Strahlung und durchgelassener Strahlung. Der geringe Anteil der Wärmeenergie der nicht durchgelassen wird, überträgt seine Energie auf die Teilchen des Stoffes, die dadurch ihre Bewegungsenergie (Temperatur) erhöhen.



Von **Reflektion** spricht man, wenn Wärmestrahlen auf eine blanke und helle Fläche auftreffen. Sie werden zum größten Teil reflektiert (zurückgeworfen). Wie groß dieser Teil ist, hängt vom Stoff ab. Der Reflektionsgrad eines Stoffes sagt aus, wie viel Wärmeenergie dieser reflektiert. Der Reflektionsgrad ist der Quotient aus aufgetroffener Strahlung und reflektierter Strahlung. Der geringe Anteil der Wärmeenergie der nicht durchgelassen wird, überträgt seine Energie auf die Teilchen des Stoffes, die dadurch ihre Bewegungsenergie (Temperatur) erhöhen.



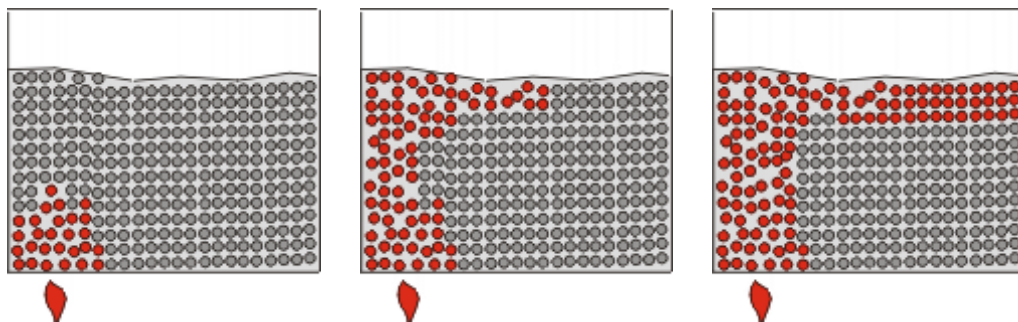
Von **Absorption** spricht man, wenn ein Großteil der Wärmeenergie vom Stoff aufgenommen wird. Dunkle Flächen absorbieren mehr Strahlen, d.h., sie nehmen mehr Strahlungsenergie auf. Absorbierte Wärmestrahlen wandeln sich in fühlbare Wärme um; sie erwärmen den angestrahlten Körper. Wie groß dieser Teil ist, hängt vom Stoff ab. Der Absorptionsgrad eines Stoffes sagt aus, wie viel Wärmeenergie dieser aufnimmt. Der Absorptionsgrad ist der Quotient aus aufgetroffener Strahlung und aufgenommener Wärmeenergie.



## Wärmeströmung oder Konvektion

Wärmeströmung ist ähnlich wie die Wärmeleitung an einen materiellen Stoff gebunden. Doch im Gegensatz zur Wärmeleitung kann eine Wärmeströmung nur in einer Flüssigkeit oder in einem gasförmigen Stoff stattfinden. In festen Körpern tritt keine Konvektion auf, da die Moleküle ihren Platz nicht verlassen können. In flüssigen oder gasförmigen Stoffen sind auf Grund der schwachen Bindungskräfte (Kohäsionskräfte) die kleinsten Teilchen nicht an feste Strukturen gebunden. Sie können sich in ihrem Verband verschieben. Im Vakuum ist Konvektion ebenfalls unmöglich, da das Transportmedium, z.B. Luft, fehlt.

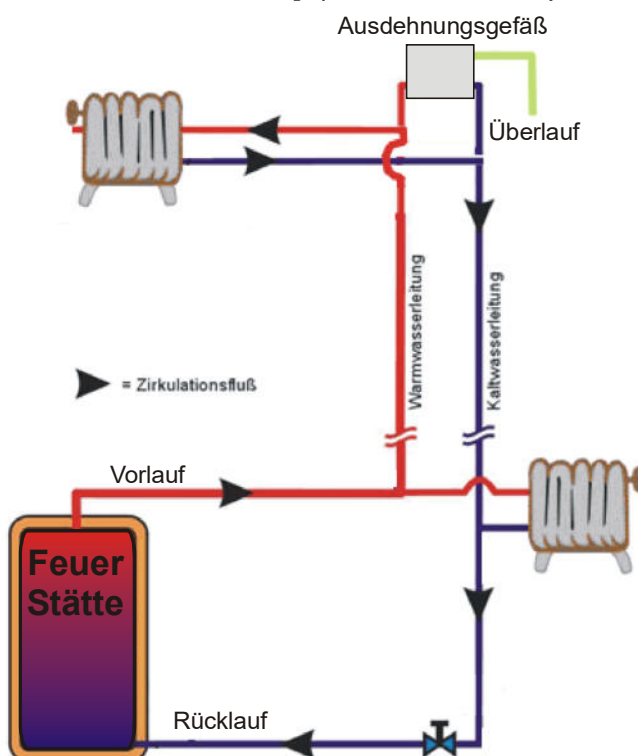
Wenn Wärmenergie zugeführt wird ändert sich neben der Bewegungsenergie der Teilchen, die ein Ausdruck der Temperatur sind, auch dessen Dichte. Das heißt, dass ein Teilchenverband eines Stoffes, der eine höhere Bewegungsenergie besitzt, leichter ist als Teilchen in einem niedrigeren Temperaturzustand. Ein leichter Teilchenverband innerhalb eines flüssigen oder gasförmigen Stoffes steigt (strömt) nach oben. Die schwereren strömen nach unten.



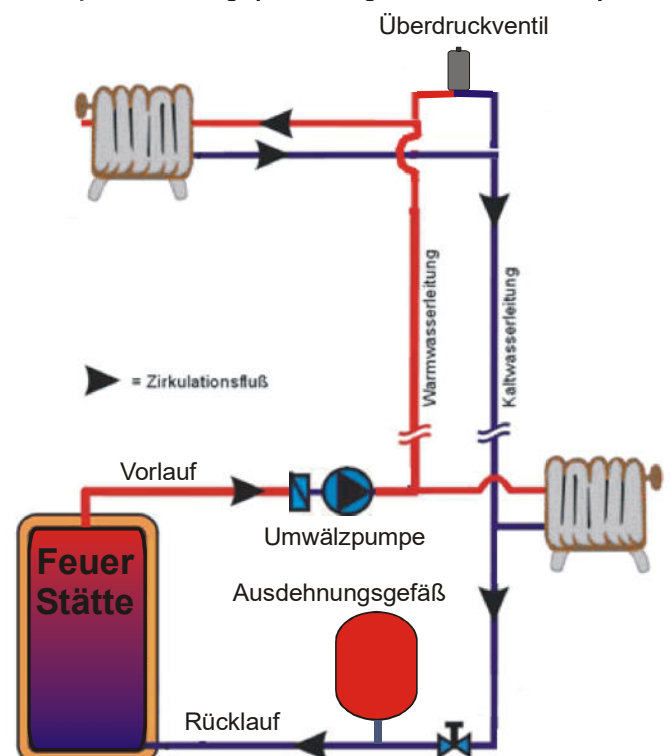
Die Wärmeströmung ist ein natürlicher physikalischer Prozess, der vom Menschen in vielen Bereichen genutzt wird. Das klassische Beispiel einer Wärmeströmung ist der Kamineffekt.

Nutzt man die Druckdifferenzen zwischen kalten und warmen Medien aus, spricht man von freier Konvektion. Werden Wärmemitführende Stoffe, wie Luft und Wasser, zusätzlich durch Ventilatoren und Pumpen bewegt, um die Strömungsgeschwindigkeit zu erhöhen, wird der Wärmetransport erzwungene Konvektion genannt.

### Schwerkraftheizung (freie Konvektion)



### Pumpenheizung (erzwungene Konvektion)



# Der Wärmedurchgangskoeffizient

Der **Wärmedurchgangskoeffizient** (auch Wärmedämmwert, **U-Wert**, früher k-Wert) ist ein Maß für den Wärmestromdurchgang durch eine ein- oder mehrlagige Materialschicht, wenn auf beiden Seiten verschiedene Temperaturen anliegen. Er gibt die Energiemenge an, die bei 1 Kelvin Temperaturunterschied in einer Sekunde, zwischen dem Material und der angrenzenden Luft, durch eine Fläche von  $1\text{m}^2$  fließt. Besonders weit verbreitete Anwendung findet der Wärmedurchgangskoeffizient im Bauwesen, wo er zur Bestimmung der Wärmeverluste durch Transmission (Transmissionswärmeverluste) durch Bauteile hindurch dient.

**Dieser Faktor ist wichtig bei der Bestimmung von Baustoffen bezüglich der Zeit in den Brandwiderstandsklassen (Z.B.: I (Isolation) 30 (min)).**

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils hängt ab von den Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Materialien und deren Schichtdicken sowie von der Bauteilgeometrie (ebene Wand, zylindrisch gekrümmte Rohrwandung, etc.) und den Übergangsbedingungen an den Bauteiloberflächen.

## Wärmestrom durch Wandflächen

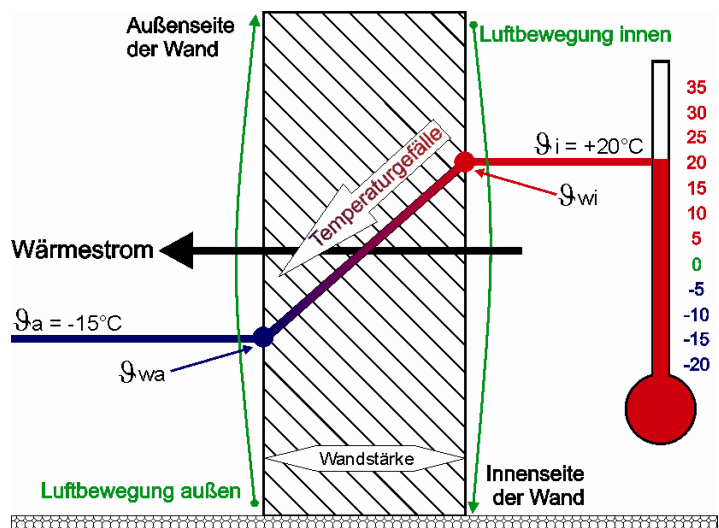
Ein Wärmestrom durch Wandflächen entsteht, wenn die Lufttemperaturen zu beide Seiten verschieden sind.

Dieser Wärmestrom ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Größe der Wandfläche;
- Wärmeleitfähigkeit des Wandbaustoffs oder bei mehreren hintereinander liegend Wandschichten - der Wandbaustoffe;
- Dicke der Wand oder der Wandschichten;
- Luftbewegung und Wärmestrahlung an der inneren und äußeren Wandoberfläche;
- Temperaturdifferenz zwischen innen und außen.

Am Wärmestrom durch eine Wand sind also alle Formen der Wärmeübertragung beteiligt. In beheizten Räumen nimmt die Temperatur der Wand von innen nach außen ab

Dabei ist innen die Temperatur  $\vartheta_{wi}$  der Wandoberfläche stets niedriger als die Raumlufttemperatur. Je kleiner der Wärmestrom durch eine Wand ist, desto höher ist die Innenwandtemperatur. Das Raumklima wird dadurch günstig beeinflusst.



## Wärmedurchgangskoeffizient von:

Baustoff, Wandaufbau, Wanddicke, sowie Luftbewegung und Wärmestrahlung werden bei der Berechnung des Wärmestromes durch den Wärmedurchgangskoeffizienten **U** erfasst.

Der **U-Wert** gibt den Wärmestrom an, der durch eine  $1\text{m}^2$  große Wandfläche fließt, wenn zwischen den Lufttemperaturen auf beiden Seiten der Wand eine Temperaturdifferenz von 1 K (Kelvin) besteht.



Generell setzt sich der Wärmedurchgangswiderstand aus der Summe der Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen hintereinander liegenden Bauteilschichten sowie der Übergangswiderstände zu den umgebenden Fluiden (Luft, Wasser, etc.) an den beiden Oberflächen zusammen:

**Wärmedurchgangswiderstand =  
Wärmedurchlasswiderstände + Wärmeübergangswiderstände**

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist dann der Reziproke (Kehrwert) des so berechneten Wärmedurchgangswiderstands.

Im Falle einer ebenen, unendlich ausgedehnten Wand, welche aus einer Schicht besteht

berechnet sich der Wärmedurchgangswiderstand aus der **Dicke  $s_x$**  und der **Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda_x$**  des Stoffes.  $\frac{s_i}{\lambda_i}$

Zur Berechnung eines Baustoffes mit mehreren Schichten werden die einzelnen Widerstände einfach zusammengezählt. und danach berechnet sich der Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = \frac{1}{R_{se} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots + R_{si}}$$

$s_1$  = Schichtdicke der ersten Schicht in m

$\lambda_1$  = spezifische Wärmeleitfähigkeit der ersten Schicht in W/(K · m)

$s_2$  = Schichtdicke der zweiten Schicht in m

$\lambda_2$  = spezifische Wärmeleitfähigkeit der zweiten Schicht in W/(K · m)

$R_{se}$  = äußerer Wärmeübergangswiderstand

$R_{si}$  = innerer Wärmeübergangswiderstand

Beispielwerte von Wärmedurchgangskoeffizienten		
Baustoff	Wandstärke	U-Wert(W/m²K)
Außenwand aus Beton ohne Wärmedämmung	25 cm	3,3
Außenwand aus Mauerziegeln	24 cm	2,0
Außenwand aus Mauerziegeln	36,5 cm	1,5
Außenwand aus Mauerziegeln (36,5 cm)	49 cm	ca. 0,32
Innenwand aus Mauerziegeln	11,5 cm	3,0
Innenwand aus Porenbeton	10 cm	ca. 1,7
Außentür aus Holz oder Kunststoff	-	3,49
Einfachfenster	-	4,9
Doppelfenster	-	3,0
Fenster mit Isolierverglasung	-	2,8-3,0
Fenster mit Wärmeschutzverglasung	-	ca. 1,2
Fenster im Passivhausstandard	-	0,6



# Die Temperatur

**Die Temperatur** (formaler: *Thermodynamische Temperatur*)

Sie ist eine physikalische Zustandsgröße, die von Organismen als *Wärme* beziehungsweise *Kälte* empfunden wird. Hohe Temperaturen bezeichnet man als *heiß*, niedrige als *kalt*. Tatsächlich jedoch beschreibt die Temperatur die *mittlere* kinetische Energie *pro Teilchen* und "Bewegungstyp". Die Bewegungstypen, Freiheitsgrade genannt, setzen sich zusammen aus den drei Bewegungen entlang der Raumachsen, den möglichen Drehbewegungen, sowie den Schwingungsmöglichkeiten der Teilchen. Die Temperatur ist eine makroskopische, intensive und damit phänomenologische Größe und verliert bei Betrachtungen auf Teilchenebene ihren Sinn.

Die Werte der Temperatur werden in Österreich meist in die empirischen Temperaturskalen der Maßeinheit "Grad Celsius" oder in „Kelvin“ angegeben. Als Ausgangswerte für deren Einteilung und den Nullpunkt verwendet man die Übergangstemperatur chemisch reiner Stoffe von einem Aggregatzustand in einen anderen, z.B. den Siedepunkt des Wassers oder den Schmelzpunkt von Eis bei Normaldruck.

Temperatur Einheiten und Benennungen		
Norm	SI - Einheitensystem	
Name	<b>Grad Celsius</b>	<b>Kelvin</b>
Einheitenzeichen	°C	K
Dimension	Celsius-Temperatur	Temperatur
Formelzeichen der Dimension	$\vartheta (t)$	$T$
Umrechnung in Kelvin		$= T_G + 273,15$
Umrechnung in °C	$= T_U - 273,15$	

Das Kelvin ist die SI-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur und ihrer Skala, der Kelvin-Skala. Das Kelvin ist (neben dem Grad Celsius) in Deutschland und Österreich die gesetzlich vorgeschriebene Temperatureinheit.

Die Kelvin-Skala ist per Definition seit 1967 nicht mehr in Grad unterteilt.

Es heißt deshalb nicht mehr „19 Grad Kelvin“ (oder „19°K“) sondern einfach nur „19 Kelvin“ (19 K).

Üblicherweise wird in Österreich aber auch noch in Grad Celsius (°C) gemessen.



## Einige Basistemperaturen

Messwert \ Skala	Celsius	Kelvin
mittlere Oberflächentemperatur der Sonne	5 777 °C	6 050 K
Schmelzpunkt von Eisen	1 535 °C	1 808 K
Schmelzpunkt von Blei	327,46 °C	600,61 K
Siedepunkt von Wasser	100 °C	373,15 K
höchste im Freien gemessene Lufttemperatur	57,80 °C	330,95 K
Normale Körpertemperatur des Menschen	36,50 °C	309,65 K
Gefrierpunkt von Wasser	0 °C	273,15 K
Schmelzpunkt von Quecksilber	-38,83 °C	234,32 K
tiefste im Freien gemessene Lufttemperatur	-90,50 °C	182,65 K
Gefrierpunkt von Alkohol	-114,40 °C	158,75 K
absoluter Nullpunkt	-273,15 °C	0 K

## Temperaturmessung

Temperaturen werden mit Thermometern gemessen. Bei den verschiedenen Thermometern nutzt man die bei Temperatur Änderungen auftretenden Veränderungen des Volumens der Länge, des elektrischen Widerstandes oder sonstiger Größen aus.

### Messung durch Kontakt

Die Temperaturerfassung durch Kontakt ist in drei Teilbereiche aufzuteilen:

#### 1. die mechanische Erfassung mittels

- ✚ Gas- oder Flüssigkeitsthermometer (z.B. traditionelle Quecksilber- oder Alkoholthermometer)
- ✚ Bimetallthermometer
- ✚ Temperaturmessfarben (auch thermochromatische Farben; Farbumschlag bei einer bestimmten Temperatur)
- ✚ Seeger-Kegel (Formkörper, die ihre *Festigkeit* und dadurch ihre Kontur bei einer bestimmten Temperatur ändern)

#### 2. die elektrische Erfassung mittels

- ✚ Resistivem Temperaturenfahrer, Widerstandsthermometer: temperaturabhängigem Widerstand)
- ✚ Thermoelementen (zwei unterschiedliche Metalle erzeugen Thermospannung)
- ✚ Halbleitersensoren wie Kaltleiter (PTC) und Heißleiter (NTC)

#### 3. die indirekte, erfahrungsgestützte Messung über tabellierte Stoffdaten (zum Beispiel umgekehrte Schmelzpunktbestimmung)

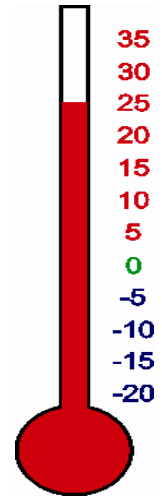


## Flüssigkeitsthermometer.

Als Ausdehnungsflüssigkeit wird Alkohol oder Quecksilber verwendet. Bei steigender Temperatur dehnt sich die Flüssigkeit aus und steigt in einem Kapillarrohr hoch (Bild 1)

Quecksilber ist bei normalem Druck von  $-39^{\circ}\text{C}$  bis  $357^{\circ}\text{C}$  flüssig und lässt sich innerhalb dieses Temperaturbereichs in einem Thermometer verwenden. Quecksilberthermometer werden auch als Zeigerinstrumente hergestellt (Bild 2).

Alkoholthermometer werden in Heizungsanlagen in gerader oder in winkelförmiger Ausführung verwendet (Bild 3). Für hohe Temperaturen ist Alkohol als Messflüssigkeit nicht geeignet, da er bei ca.  $79^{\circ}\text{C}$  unter normalem Druck verdampft.



## Bimetallthermometer

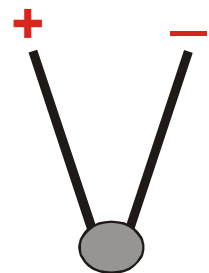
Das beim Bimetallthermometer verwendete Bimetall besteht aus zwei fest miteinander verbundenen Metallstreifen, die jeweils einen anderen Wärme Ausdehnungskoeffizienten besitzen. Bei einer Änderung der Temperatur dehnen sich die beiden Metalle unterschiedlich stark aus und erwirken damit eine Krümmung des Bimetalls. Beim Thermometer wird aus der Stärke der Krümmung bzw. des resultierenden Winkels dann von einer Skala die Temperatur abgelesen. Auch eine automatische Auslösung einer Funktion bei einer bestimmten Temperatur ist möglich (z.B. Bügeleisen, Kochplatte, usw.). Daran ist auch der Einsatzbereich zu erkennen, er liegt eher bei höheren Temperaturen im Bereich ab  $150^{\circ}\text{C}$  bis einigen Hundert Celsiusgraden. Durch die rein mechanische Arbeitsweise muss man recht große Toleranzen (10%) in Kauf nehmen, dafür ist das Thermometer aber einfach und kostengünstig herzustellen.



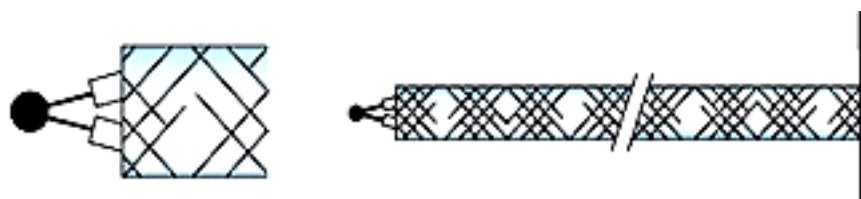
## Thermoelement

Ein Thermoelement ist ein Bauteil aus zwei unterschiedlichen und miteinander verbundenen Metallen oder Halbleitern, das aufgrund des Seebeck - Effektes eine elektrische Spannung erzeugt, wenn die Verbindungsstellen unterschiedliche Temperaturen haben.

Der Seebeck - Effekt besagt, dass zwei unterschiedliche Metalle, die miteinander verbunden sind, an ihrer Anschlussstelle eine thermoelektrische Spannung entstehen lassen, wenn entlang der Metalle ein Temperaturgefälle besteht. Diese thermoelektrische Spannung (auch Thermokraft genannt) ist temperaturabhängig und hat bei Metallen eine Größe von wenigen Mikrovolt pro Kelvin Temperaturunterschied.



Diese Thermoelemente finden wir bei der Flammenüberwachung und bei unseren Rauch- Abgasanalysegeräten zur Temperaturmessung

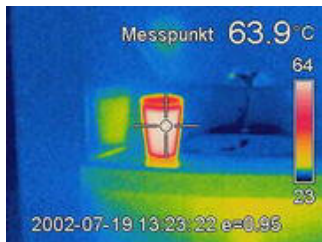




## Messung durch elektromagnetische Strahlung mit dem Pyrometer, auch Strahlungsthermometer genannt.

Die Temperatur kann indirekt durch die Wärmestrahlung mit einem Pyrometer auch Strahlungsthermometer gemessen werden. Sie dienen zur berührungslosen Temperaturmessung. Temperaturen zwischen  $-50^{\circ}\text{C}$  und  $+3500^{\circ}\text{C}$  können mit solchen Geräten gemessen werden.

Jeder Gegenstand emittiert Infrarot-Strahlung, deren Intensität von seiner Temperatur abhängt. Diese Strahlung wird mit dem Pyrometer erfasst und ausgewertet. Wenn das Messobjekt kälter als das Pyrometer ist, ist der Strahlungsfluss negativ, d.h. das Pyrometer gibt Wärmestrahlung an das Messobjekt ab, was man ebenfalls



auswerten kann.

Durch diese ist auch eine Thermografie möglich, also eine Farbanzeige oder Hell-Dunkel Darstellung der Temperatur von Flächen und Räumen wie im Bild zur Rechten, welches einen Kaffeeautomaten zeigt. Gut erkennbar ist hierbei auch die thermische Spiegelung.

## Folgende Arten von Thermometer sind als Fieberthermometer praktisch in jedem Haushalt

### Quecksilber-Fieberthermometer

- Genauigkeit  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
- Messbereich  $36^{\circ}\text{C}$  bis  $44^{\circ}\text{C}$
- Festhalten der während der Messung erzielten Maximaltemperatur

Quecksilber-Fieberthermometer erreichen diese Anforderungen, indem eine relativ große Quecksilbermenge sich in einer sehr dünnen Kapillare ausdehnt.



Die Anzeige der Maximaltemperatur wird erreicht, indem in der Kapillare ein zusätzlicher Glasdorn eingefügt wird, welcher bei (nach Messung) erfolgreicher Abkühlung den sich zurückziehenden Quecksilberfaden abreißt und somit die erreichte Maximaltemperatur weiter anzeigt. Zum Rückstellen muss das Quecksilber durch „Zurückschütteln“ oder Klopfen wieder in den Vorratsbehälter befördert werden.

*Da die Verwendung von Quecksilber als Messflüssigkeit sowohl bei Beschädigung, als auch bei der Entsorgung des Thermometers sehr problematisch ist, haben sich daneben auch Alkohol und eine Legierung aus Gallium, Indium und Zinn (Galinstan) als Thermometerflüssigkeiten etablieren können.*

### Infrarot-Fieberthermometer

Die Infrarot-Fieberthermometer messen die vom Trommelfell oder von der Stirn abgestrahlte Infrarotstrahlung. Diese wird mittels einer Linse aufgenommen, in einen Temperaturwert umgerechnet und zur Anzeige gebracht. Der Vorteil der Infrarot-Fieberthermometer gegenüber herkömmlichen Thermometern ist, dass die Messung nur wenige Sekunden dauert. Allerdings ist die Genauigkeit unter Umständen nicht ausreichend. Deshalb sind sie eher für den Hausgebrauch geeignet und werden in der Regel von Ärzten nicht verwendet.

