

## Wärmemenge

Ein Maß für die in einem Körper enthaltene Wärme (Energie) ist die **Wärmemenge**  $Q$ . Ihre Einheit ist das Joule (J). 4186,8 J ist die Wärmemenge, die 1 Liter Wasser um 1 K erwärmt (genau von 14,5 °C auf 15,5 °C).

Die **spezifische Wärmekapazität**  $c$  ist die Wärmemenge, die 1 kg eines Stoffes um 1 K erwärmt. Einheit von  $c$  ist J/(kg · K).

Die **spezifische Schmelzwärme**  $q$  ist die Wärmemenge, die 1 kg eines Stoffes bei Schmelztemperatur vom festen in den flüssigen Zustand überführt; sie wird beim Erstarren des Stoffes wieder frei. Einheit von  $q$  ist J/kg.

Die **spezifische Verdampfungswärme**  $r$  ist die Wärmemenge, die 1 kg eines Stoffes bei Verdampfungstemperatur vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand überführt; sie wird beim Verflüssigen (Kondensieren) des Stoffes wieder frei. Einheit von  $r$  ist J/kg.

Die **Leistung** errechnet sich aus der Wärmemenge pro Zeit. Die Einheit für die Leistung ist das Watt (W).

## Erwärmen eines Stoffes und Überführen vom festen in den dampfförmigen Zustand

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T + m \cdot q + m \cdot r$$

- $Q$  Wärmemenge in J
- $m$  Masse, Stoffmenge in kg
- $c$  spezifische Wärmekapazität in J/(kg · K)
- $q$  Schmelzwärme
- $r$  Verdampfungswärme
- $\Delta T$  Temperaturunterschied in K

Beispiel:  
1 kg Eis von 0 °C in Wasserdampf von 100 °C umwandeln (bei 1013 mbar)

Lösung:  

$$Q = 1 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 100 \text{ K} + 1 \text{ kg} \cdot 333,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 1 \text{ kg} \cdot 2258 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 418 \text{ kJ} + 333,7 \text{ kJ} + 2258 \text{ kJ}$$

$$Q = 3,01 \cdot 10^6 \text{ J}$$

## Leistung

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ W}$$

- $P$  Leistung in W
- $Q$  Wärmemenge in J
- $t$  Zeit in s

Beispiel:  
Erwärmen von 200 Liter Wasser von 50 °C auf 70 °C in 1/2 h.

Lösung:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T}{t} = \frac{200 \text{ l} \cdot 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 20 \text{ K}}{1800 \text{ s}} = 9,3 \text{ kW}$$

## Wärmeübertragung

**Wärmestrom**  $\phi$  heißt die Wärmemenge, die innerhalb einer Zeiteinheit durch eine senkrecht zur Strömungsrichtung liegende Fläche strömt. Einheit des Wärmestromes ist W.

**Wärmeleitung** ist die Wanderung des Wärmestroms innerhalb eines Körpers. Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  gibt den Wärmestrom an, der durch einen Querschnitt von 1 m<sup>2</sup> eines 1 m langen Körpers strömt, wenn der Temperaturunterschied 1 K beträgt.

**Wärmeübergang** ist der Austausch zwischen einem festen Körper und einer Flüssigkeit oder Gas. Der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  ist der Wärmestrom, der von einer Fläche von 1 m<sup>2</sup> bei einem Temperaturgefälle von 1 K abgegeben wird.

**Wärmedurchgang** heißt der Wärmeaustausch zweier Flüssigkeiten oder Gase durch eine Trennwand hindurch. Der Wärmedurchgangskoeffizient  $\kappa$  ist der Wärmestrom, der durch eine Fläche von 1 m<sup>2</sup> bei einem Temperaturgefälle von 1 K hindurchtritt.

$$\phi = \frac{Q}{t}$$

- $\phi$  Wärmestrom in W
- $Q$  Wärmemenge in J
- $t$  Zeit in s

## Wärmeleitung

$$\phi = \lambda \cdot \frac{S}{\delta} \cdot \Delta T$$

- $S$  Fläche der Wärmeleitung in m<sup>2</sup>
- $\delta$  Dicke in mm
- $\Delta T$  Temperaturunterschied in K
- $\lambda$  Wärmeleitfähigkeit in W/(m · K)

Beispiel:

$$\lambda = 209,3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$S = 5 \text{ cm}^2$$

$$\delta = 2,5 \text{ cm}$$

$$\Delta T = 50 \text{ K}$$

$$\phi = ? \text{ W}$$

Lösung:  

$$\phi = \lambda \cdot \frac{S}{\delta} \cdot \Delta T = 209,3 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \frac{5 \text{ cm}^2}{2,5 \text{ cm}} \cdot 50 \text{ K}$$

$$\phi = 20930 \frac{\text{W} \cdot \text{cm}}{\text{m}} = 209,3 \text{ W}$$

## Wärmeübergang

$$\phi = \alpha \cdot S \cdot \Delta T$$

- $\alpha$  Wärmeübergangskoeffizient in W/(m · K)
- Die Wärmeübergangszahl  $\alpha$  ist nicht in Tabellen angebar. Sie muß für jeden Fall ermittelt werden.

## Wärmedurchgang

$$\phi = \kappa \cdot S \cdot \Delta T$$

- $\kappa$  Wärmedurchgangskoeffizient in W/(m<sup>2</sup> · K)
- Auch  $\kappa$  muß für jeden Fall ermittelt werden.

## Wärmeeigenschaften von Stoffen

- $c$  spezifische Wärmekapazität in kJ/(kg · K)
- $t_{sm}$  Schmelztemperatur in °C
- $t_{sp}$  Siedetemperatur in °C
- $q$  Schmelzwärme in kJ/kg
- $\lambda$  Wärmeleitfähigkeit in W/(m · K)
- $r$  Verdampfungswärme bei 1013 mbar in kJ/kg
- $\rho$  Dichte in kg/dm<sup>3</sup>

Feststoffe	c	t <sub>sm</sub>	q	λ	ρ
Aluminium	0,896	658	355,90	204,0	2,70
Blei	0,130	327	23,86	34,7	11,34
Eisen (rein)	0,440	1530	272,10	81,0	7,85
Gold	0,130	1060	66,99	310,0	19,30
Graphit	0,712	≈3600	16750	168,0	2,2,5
Konstantan	0,410	≈1280		23,3	8,80
Kupfer	0,381	1080	209,30	384,0	8,93
Messing	0,389	≈900	167,50	113,0	8,30
Nickel	0,452	1450	293,10	59,0	8,80
Platin	0,134	1770	113,00	70,0	21,40
Silber	0,234	961	104,70	407,0	10,50
Silizium	0,741	1410	141,50	83,0	2,33
Wolfram	0,134	3380	191,80	130,0	19,30
Zinn	0,230	232	58,62	64,0	7,20

Flüssigkeiten	c	t <sub>sp</sub>	q	r	ρ
Alkohol	2,428	78,3	104,70	858	0,789
Benzol	1,738	80,1	127,30	394	0,879
Maschinenöl	1,675				0,900
Quecksilber	0,138	356,7	11,72	285	13,550
Schwefelsäure	1,382	338,0	108,90	511	1,834
Wasser	4,187	100,0	333,70	2258	1,000

$\rho$  Dichte in kg/m<sup>3</sup>

Gase	c	t <sub>sp</sub>	q	r	ρ
Ammoniak	2,160	-33,4	339,10	1369	0,770
Kohlendioxid	0,837	-78,5	184,20	574	1,377
Luft	1,005	-194,0		197	1,290
Stickstoff	1,039	-195,8	25,96	199	1,250
Wasserstoff	14,320	-252,8	58,62	461	0,090

## Eigenschaften verschiedener Medien

- $c$  spezifische Wärmekapazität in kJ/(kg · K)
- $\rho$  Dichte bei 291,16 K in g/cm<sup>3</sup>

Medium	c	ρ
Glas	ca. 0,753	ca. 2,40
Keramik	ca. 0,837	1,90-2,50
Öl	ca. 2,302	0,70-0,90
Diphyll	1,507	1,06
Polyamid	ca. 1,55-2,40	ca. 1,01-1,16
Polyethylen	ca. 1,80-2,50	ca. 0,91-0,97
Polyester	ca. 1,260	ca. 1,20
Polypropylen	ca. 1,680	ca. 0,90
Polystyrol	ca. 1,180	ca. 1,05
Polytetrafluorethylen	ca. 1,010	ca. 2,20-3,90
Polyurethan	ca. 1,900	ca. 1,26
Polyvinylchlorid	ca. 0,22-1,00	1,19-1,55
Bitumen	ca. 2,00	1,05