

Grundlagen der Wärmelehre

(Erläuterungen)

Die Wärmelehre ist das Teilgebiet der Physik, in dem Zustandsänderungen von Körpern infolge Zufuhr oder Abgabe von Wärmeenergie und in dem Energieumwandlungen, bei denen Wärmeenergie beteiligt ist, beschrieben werden.

| | Seite |
|-------------------------------|-------|
| Anomalie des Wassers | 4 |
| Energieumwandlungen | 5 |
| Motoren | 7 |
| Temperatur | 2 |
| Wärmekapazität, spezifische | 3 |
| Wärmelehre, 1. Hauptsatz | 6 |
| Wärmelehre, Grundgleichung | 3 |
| Wärmemenge | 2 |
| Wirkungsgrad | 7 |
| Zustandsgleichung ideales Gas | 4 |

1. Wärmeenergie

Temperatur ist eine Zustandsgröße, die den Wärmeszustand eines Körpers beschreibt. Man unterscheidet die Kelvin-Temperatur und die Celsius-Temperatur.

1.1. Temperatur

Temperatur ist eine Zustandsgröße, die den Wärmeszustand eines Körpers beschreibt.

| | Kelvin-Temperatur thermodynam. Temp. | Celsius-Temperatur |
|---------------|--|---|
| Formelzeichen | T | ϑ |
| Maßeinheit | Kelvin (K) | Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$) |
| Umrechnung | $T \text{ (K)} = \vartheta \text{ (}^{\circ}\text{C)} - 273$ | $\vartheta \text{ (}^{\circ}\text{C)} + 273 = T \text{ (K)}$ |
| Beispiele | 0 K = -273°C 100 K = -173°C 273 K = 0°C 293 K = 20°C 373 K = 100°C | $-273^{\circ}\text{C} = 0 \text{ K}$ $-100^{\circ}\text{C} = 173 \text{ K}$ $-10^{\circ}\text{C} = 263 \text{ K}$ $0^{\circ}\text{C} = 273 \text{ K}$ $100^{\circ}\text{C} = 373 \text{ K}$ |

Temperaturdifferenzen tragen immer die Maßeinheit Kelvin.

1.2. Temperaturmessung

Die Temperaturmessung erfolgt durch Thermometer. Zwischen der Änderung der Temperatur und der Änderung anderer physikalischer Größen besteht dabei ein gesetzmäßiger Zusammenhang.

Bsp.: Temperaturänderung : Änderung Volumen oder Änderung elektr. Leitfähigkeit.

1.3. Wärmemenge Q

Die einem Körper zugeführte oder von diesem abgegebene Wärmeenergie heißt Wärmemenge.

| Formelzeichen | Maßeinheit | Umrechnung |
|---------------|--|--------------------------------|
| Q | Wattsekunde (Ws) Joule (J) | 1 Ws = 1 J |
| | unzulässige Maßeinheiten: Kalorie (cal) | 1 cal = 4,186 8 Ws = 4,186 8 J |

1.4. Grundgleichung der Wärmelehre

Die einem Körper zugeführte oder von diesem abgegebene Wärmeenergie Q ist gleich dem Produkt aus der spezifischen Wärmekapazität c des Stoffes, aus dem der Körper besteht, seiner Masse m und der Temperaturdifferenz ΔT , die er erfährt.

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

1.5. Spezifische Wärmekapazität c

Die spezifische Wärme ist eine physikalische Größe in Abhängigkeit der stofflichen Zusammensetzung und der Temperatur.
Meistens liegen die Werte im Bereich: $0,1 \dots 5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (Feststoffe, Flüssigkeiten)

1.6. Wärmeaustausch

Der Wärmeaustausch erfolgt stets selbstständig, vom Körper höherer Temperatur zum Körper niedrigerer Temperatur, bis beide Körper die gleiche Temperatur haben.

Gesetz des Wärmetauschs

Die vom kühleren Körper aufgenommene Wärmemenge Q_K ist gleich der vom wärmeren Körper abgegebenen Wärmemenge Q_W .

$$Q_K = Q_W$$

1.7. Wärmeausbreitung

Man unterscheidet Wärmeströmung, Wärmeleitung und Wärmestrahlung.

Wärmeströmung

Ein heißer Stoff bewegt sich in ein kühles Gebiet (Bsp.: Zentralheizung).

Wärmeleitung

Die Körper befinden sich in Ruhe. Die sich schneller bewegenden Teilchen übertragen durch Anstoßen die Wärmeenergie auf benachbarte Teilchen.
(Bsp. Kühlrippen am Motor)

Wärmestrahlung

Kein direkter Kontakt zwischen wärmerem und kühlerem Körper. Der warme Körper sendet elektromagnetische Wellen aus, die sich wie Licht ausbreiten
IR-Strahlung. (Bsp.: Sonnenstrahlung, IR-Strahler).

2. Zusammenhang von Temperatur, Volumen und Druck

2.1. Volumenänderung fester und flüssiger Körper

Feste Körper dehnen sich im Allgemeinen bei Wärmezufuhr räumlich geringfügig aus. Die Ausdehnung der festen Körper ist u.a. bei baulichen Maßnahmen wie Rohrleitungen, Brücken oder elektrischen Freileitungen zu berücksichtigen. Flüssigkeiten dehnen sich im Allgemeinen bei Wärmezufuhr räumlich deutlich aus. Die große Volumenänderung wird bei Flüssigkeitsthermometern genutzt.

2.2. Anomalie des Wassers

Beim Abkühlen von 4 °C bis 0 °C dehnt sich Wasser aus. Da Flüssigkeiten im Allgemeinen beim Abkühlen ihr Volumen verringern, nennt man diesen Vorgang Anomalie des Wassers.

2.3. Zustandsgrößen eines Gases

Zustandsgrößen eines Gases sind physikalische Größen, die zur Beschreibung des Zustandes eines gasförmigen Körpers geeignet sind. Temperatur T (K), Druck p (Pa), Volumen V (m³) sind Zustandsgrößen.

2.4. Zustandsgleichung für das ideale Gas

Für eine abgeschlossene Gasmenge ist der Quotient aus dem Produkt von Druck p und Volumen V und der absoluten Temperatur T konstant.

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant}$$

Ändert sich eine der Zustandsgrößen, so ändert sich mindestens eine weitere Größe.

3. Energieumwandlungen

3.1. Änderungen des Aggregatzustandes

Änderungen des Aggregatzustandes sind mit einer Abgabe oder Aufnahme von Wärmeenergie verbunden. Während sich der Aggregatzustand ändert, ist die Temperatur konstant.

| | | |
|---|------------------------------------|--|
| fest → flüssig | Schmelzen | Schmelztemperatur |
| flüssig → fest | Erstarren | Erstarrungstemperatur |
| flüssig → gasförmig | Verdampfen Sieden Verdunsten | bei Siedetemperatur unterhalb der Siedetemperatur |
| gasförmig → flüssig gasförmig → fest | Kondensieren | Kondensationstemperatur |
| fest → gasförmig | Sublimieren | Sublimationstemperatur |

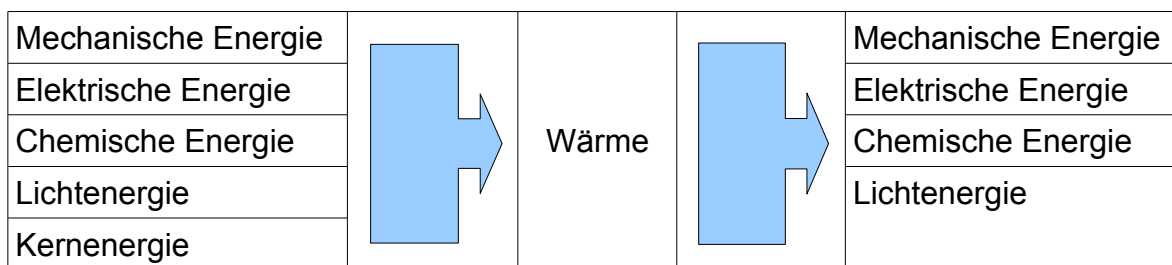
Schmelztemperatur = Erstarrungstemperatur

Siedetemperatur = Kondensationstemperatur

Alle aufgeführten Temperaturen sind druckabhängig !

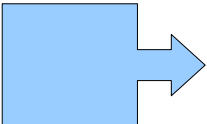
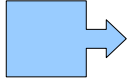
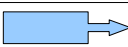
3.2. Energieumwandlungen

Die Wärme ist eine Energieart. Sie entsteht durch Umwandlung aus anderen Energiearten und kann in andere Energiearten umgewandelt werden.



3.3. 1. Hauptsatz der Wärmelehre

Die Zufuhr oder Abgabe einer Wärmemenge kann zu einer Änderung der inneren Energie und zum Verrichten bzw zur Aufnahme einer Arbeit führen:

| | | | | |
|---|---|--------------------------|--|---------------------------------|
| Zufuhr bzw. Abgabe einer Wärmemenge |  | Änderung Aggregatzustand |  | Änderung der inneren Energie |
| | | Änderung Temperatur | | |
| | | Änderung Volumen |  | Abg. / Aufn. mechanische Arbeit |

Die einem Körper zugeführte Wärmemenge Q_w ist gleich der Summe aus Änderung der inneren Energie ΔW_{inn} und abgegebener mechanischer Arbeit W_{mech} .

$$Q_w = \Delta W_{inn} + W_{mech}$$

- $Q_w = + n$ bedeutet zugeführte Wärmemenge
- $Q_w = - n$ bedeutet abgegebene Wärmemenge
- $\Delta W_{inn} = + n$ bedeutet Zunahme der inneren Energie
- $\Delta W_{inn} = - n$ bedeutet Abnahme der inneren Energie
- $W_{mech} = + n$ bedeutet abgegebene mechanische Arbeit
- $W_{mech} = - n$ bedeutet aufgenommene mechanische Arbeit

3.4. Satz von der Erhaltung der Energie

Bei allen Vorgängen bleibt die Summe aller Energien konstant. Energie entsteht nicht und verschwindet nicht.

$$W_{gesamt} = \text{konstant}$$

3.5. Wärmekraftmaschinen

Wärmekraftmaschinen dienen der Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Arbeit.

Dampfkraftmaschinen

Die Energie von Wasserdampf bei hohem Druck und hoher Temperatur wird zum Verrichten von Arbeit genutzt. Der Dampf wird außerhalb der Maschine erzeugt.
Bsp.: Kolbendampfmaschine, Dampfturbine

Verbrennungskraftmaschinen

Die im Kraftstoff (Benzin, Gas) gespeicherte chemische Energie wird durch Verbrennung in Wärmeenergie umgewandelt und zum Verrichten von Arbeit genutzt. Die Verbrennung erfolgt innerhalb der Maschine.

Bsp.: Ottomotoren und Dieselmotoren zählen zu den Kolbenverbrennungsmaschinen; Gasturbinen dagegen besitzen eine Wirkungsweise ähnlich der Dampfturbine

3.6. Dieselmotoren, Arbeit beim Viertakt-Dieselmotor

Im Arbeitszylinder wird in verdichtete und dadurch erhitzte Luft, Kraftstoff durch eine Düse eingespritzt. Der Kraftstoff entzündet sich; die entstehende Wärmeenergie wird zur Bewegung des Kolbens genutzt. Die Hin- und Herbewegung des Kolbens wird durch Pleuelstange, Kurbelwelle und Schwungrad in eine Drehbewegung gewandelt.

Tätigkeiten des Motors

- | | |
|---------|---|
| 1. Takt | Ansaugen von Luft |
| 2. Takt | Verdichten der Luft |
| 3. Takt | Einspritzen von Kraftstoff, entzünden, ausdehnen = Arbeitstakt |
| 4. Takt | Ausschieben der Verbrennungsgase |

vom Motor aufgenommene Arbeit

- | | | |
|---------|-------|---|
| 1. Takt | W_1 | Arbeit zum Ansaugen, Beschleunigungsarbeit, Reibungsarbeit |
| 2. Takt | W_2 | Arbeit zum Verdichten, Beschleunigungsarbeit, Reibungsarbeit |
| 3. Takt | W_3 | Beschleunigungsarbeit, Reibungsarbeit |
| 4. Takt | W_4 | Arbeit zum Ausschieben, Beschleunigungsarbeit, Reibungsarbeit |

vom Motor abgegebene Arbeit

- | | |
|---------|--------------------------------------|
| 3. Takt | mechanische Arbeit W_{mech} |
|---------|--------------------------------------|

Es gilt: $W_{\text{mech}} > W_1 + W_2 + W_3 + W_4$

3.7. Ottomotor

Die Arbeitsweise des Ottomotors ist ähnlich dem Dieselmotor.

Im Vergaser wird aus Kraftstoff und Luft ein sprühnebelartiges Gemisch erzeugt und vom Motor angesaugt. Die Zündung erfolgt durch einen elektrischen Funken. Ottomotoren gibt es als Zweitakt- und Viertaktmotoren.

3.8. Wirkungsgrad η

Der Wirkungsgrad η einer Maschine ist gleich dem Quotienten aus der von der Maschine abgegebenen Arbeit W_{ab} und der der Maschine zugeführten Wärmeenergie Q_{W} .

$$\eta = \frac{W_{\text{ab}}}{Q_{\text{W}}}$$

Der Wirkungsgrad jeder Wärmekraftmaschine ist kleiner als 1,0 bzw. kleiner als 100 %.

$$\eta < 1,0$$
$$\eta < 100 \%$$

Beispiele:

| | | |
|----------------|---------------------|----------------------|
| Dampfmaschinen | $\eta = \dots 0,20$ | $\eta = \dots 20 \%$ |
| Gasturbinen | $\eta = \dots 0,30$ | $\eta = \dots 30 \%$ |
| Ottomotoren | $\eta = \dots 0,35$ | $\eta = \dots 35 \%$ |
| Dieselmotoren | $\eta = \dots 0,40$ | $\eta = \dots 40 \%$ |