

Längen-, Flächen- und Volumendehnung von festen Körpern

- Ein Kunststoffrohr (aus PVC) hat bei Zimmertemperatur (20°C) einen äußeren Durchmesser von 31,6 mm. Welcher Durchmesser stellt sich ein, wenn durch das Rohr Wasser von 65°C fließt? ($\alpha = 8 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- Eine Dampfrohrleitung aus Stahl ($\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) besitzt bei Zimmertemperatur (20°C) eine Länge von 5 m. Welche Längenänderung ergibt sich, wenn Dampf von 180°C durch das Rohr geleitet wird?
- Zinkblech, das zur Abdeckung eines Daches verwendet wird, besitzt bei der Anbringung (Temperatur 10°C) ein Fläche von $4,25 \text{ m}^2$. Um wie viel cm^2 vergrößert sich das Blech, wenn infolge Sonnenbestrahlung eine Temperatur von 60°C entsteht? ($\alpha = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- Ein Bleirohr von 2,50 m Länge und einem Durchmesser von 28 mm ändert bei Erwärmung seine Länge um 5,8 mm. Wie groß war die Temperaturerhöhung? Welchen Durchmesser hat das Rohr nach der Erwärmung? ($\alpha = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- Längenmessgeräte zeigen bei einer Bezugstemperatur von 20°C die richtige Länge an. Welcher Messfehler (in mm und %) ergibt sich, wenn mittels eines Stahlbandmasses folgende Werte abgelesen werden.
a) bei -5°C : 8,50 m, **b)** bei $+38^{\circ}\text{C}$: 9,20 m?
 Die Länge der zu messenden Strecke soll von der Temperatur nicht beeinflusst werden. Wann wird zuviel und wann wird zuwenig angegeben? ($\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- Der Rauminhalt eines Dampfkessels aus Stahl beträgt bei $+5^{\circ}\text{C}$ $9,6 \text{ m}^3$. Welche Volumenzunahme in dm^3 ergibt sich bei einer Betriebstemperatur von 185°C ? ($\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- Ein Metallstab erfährt bei einer Erwärmung von 98°C eine Längenänderung von 1,2 ‰. Wie groß ist die Ausdehnungszahl? Um welches Material könnte es sich handeln?
- Eine Kugel aus Chrom-Nickel-Stahl besitzt bei 20°C einen Durchmesser von 50 mm. Um wie viel Grad ist die Kugel zu erwärmen, damit sie in einem kreisförmigen Ring von 50,2 mm Innendurchmesser gerade hängen bleibt? (Bei dem verwendeten Stahl kann bis zu 600°C mit $\alpha = 16 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ gerechnet werden.)
Anleitung: Man lege der Rechnung zugrunde, dass die Kugel nicht mehr durchgeht, wenn beide Durchmesser gleich groß sind.
- Ein Eisenstab hat bei 0°C eine Länge von 1400 mm ($\alpha_E = 12,3 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$); ein Messingstab ($\alpha_M = 18,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) besitzt bei derselben Temperatur die Länge von 1398 mm. Wie stark muss man beide Stäbe gemeinsam erwärmen, damit sie gleich lang werden?
- Ein 10,0 m langer Aluminiumdraht ($\alpha = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) nimmt 1,5 Minuten lang eine Wärmeleistung von 16 W auf.
 Wie groß ist die aufgenommene Wärmeenergie?
 Wie groß ist die Längenzunahme des Drahtes ($\rho = 2,70 \text{ kg/dm}^3$), wenn sein Querschnitt $5,3 \text{ mm}^2$ beträgt und die Wärmeverluste vernachlässigt werden?
 (Spezifische Wärmekapazität von Aluminium: $c = 0,90 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)

Längenänderung fester Körper

1. Bei $0,00^{\circ}\text{C}$ hat eine Eisenbahnschiene ($\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$) eine Länge von 15 000 mm.
 - a) Wie groß ist die Längenzunahme im Sommer bei Erwärmung auf 50°C ?
 - b) Wie groß ist die Längenabnahme im Winter bei einer Abkühlung auf -20°C ?

2. Eine Autobahnbrücke aus Stahlbeton ($\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$) hat bei 10°C eine Länge von 300 m.
 - a) Um wie viel dehnt sich die Brücke aus, wenn sie im Sommer auf 40°C erwärmt wird?
 - b) Um wie viel zieht sie sich im Winter bei -30°C zusammen?

3. Auf welche Temperatur muss ein Plexiglasstab ($\alpha = 7,0 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$), der bei $0,00^{\circ}\text{C}$ 200 mm lang ist, abgekühlt werden, damit er sich um 0,20 mm zusammenzieht?

4. Ein Zinkrohr ($\alpha = 3,0 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$) hat bei Erwärmung auf 100°C eine Länge von 18 020 mm. Bei welcher Temperatur beträgt seine Länge 18 000 mm?

5. Eine Kupferschiene ($\alpha = 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$) hat bei $22,0^{\circ}\text{C}$ eine Länge von 2 000 mm. Welche Länge hat sie bei $50,0^{\circ}\text{C}$?

6. Ein Stahlring ($\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$) hat bei $22,0^{\circ}\text{C}$ einen Durchmesser von 500,0 mm. Wie groß ist sein Durchmesser, wenn man den Ring auf $250,0^{\circ}\text{C}$ erwärmt?

Volumenänderung fester Körper und Flüssigkeiten

α = Längenausdehnungskoeffizient; γ = Volumenausdehnungskoeffizient

1. Um wie viel Kubikdezimeter ändert sich das Volumen einer Betonwand ($\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$) von 8,00 m Länge, 2,75 m Höhe und 18,0 cm Dicke, wenn sie Temperaturschwankungen von $-25^{\circ}C$ bis $+45^{\circ}C$ ausgesetzt ist?
2. Das Volumen einer Hohlkugel aus Aluminium ($\alpha = 2,4 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$) nahm bei Abkühlung um 0,50% ab. Wie groß war die Temperaturänderung?
3. Der Stahltank einer Heizungsanlage hat bei $15,0^{\circ}C$ ein Fassungsvermögen von 9 000 Litern. Wie viel Heizöl fließt aus dem Tank, wenn dieser bei $15,0^{\circ}C$ vollständig gefüllt wurde und die Temperatur auf $27,0^{\circ}C$ steigt?
($\alpha_{St} = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$; $\gamma_{Heizöl} = 9,6 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K}$)
4. Um wie viel Prozent ändert sich das Volumen von $7,0 \text{ m}^3$ Wasser ($\gamma = 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K}$), wenn die Temperatur von $34^{\circ}C$ auf $8,0^{\circ}C$ sinkt?
5. In einer Warmwasserheizung werden $3,5 \text{ m}^3$ Wasser ($\gamma = 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K}$) von $14^{\circ}C$ auf $75^{\circ}C$ erwärmt. Um wie viel Liter nimmt das Volumen dabei zu?
6. Bei $20^{\circ}C$ beträgt der Rauminhalt eines Fasses aus Aluminiumblech ($\alpha = 2,4 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$) genau 220 Liter. Welcher Hohlraum muss beim Füllen mit Alkohol ($\gamma = 11 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K}$) gelassen werden, wenn mit einer Endtemperatur von $45^{\circ}C$ gerechnet werden muss und keine Verluste durch Überlaufen eintreten sollen?
7. Bei $0,0^{\circ}C$ werden 1000 Literflaschen mit Benzol ($\gamma = 12 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K}$) gefüllt. Auf welche Temperatur muss man das Benzol bringen, damit man mit der gleichen Menge 1020 Flaschen füllen kann. (Die Ausdehnung der Flaschen soll vernachlässigt werden.)
8. Um wie viel muss die Temperatur eines Körpers aus Quarzglas ($\alpha = 0,05 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$) erhöht werden, damit sein Volumen um 1‰ zunimmt?
9. Kühlt man Grauguss von $1100^{\circ}C$ auf $20^{\circ}C$ ab, so verringert sich sein Volumen um 3,4%. Wie groß ist der Längenausdehnungskoeffizient von Grauguss?
10. Auf welche Temperatur muss man ein kreisförmiges Zinkblech ($\alpha = 3,00 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$) bringen, das bei $15,0^{\circ}C$ einen Durchmesser von 200 mm hat, damit seine Fläche um 1,0% zunimmt?
11. Die Dichte von Quecksilber ($\gamma = 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K}$) beträgt bei $0,0^{\circ}C$ $13,6 \text{ kg/dm}^3$. Wie groß ist die Dichte des Quecksilbers bei $-30^{\circ}C$?
12. Die Dichte von Stahlguss ($\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$) beträgt bei $1200^{\circ}C$ $7,53 \text{ kg/dm}^3$. Wie groß ist die Dichte bei $20,0^{\circ}C$?
13. Bei $0^{\circ}C$ ist die Dichte von Blei $11,3 \text{ kg/dm}^3$. Wie groß ist die Dichte bei $187^{\circ}C$, wie groß ist sie bei $-73^{\circ}C$? ($\alpha_{Pb} = 2,9 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$)

Ausdehnung von Flüssigkeiten und Gasen; Gefäßausdehnung

α = Längenausdehnungskoeffizient (lineare Ausdehnungszahl);

γ = Volumenausdehnungskoeffizient (räumliche Ausdehnungszahl)

1. Ein Gefäß aus Jenaer Glas enthält 80 cm³ Quecksilber und ist bei Zimmertemperatur (20°C) ganz gefüllt. Wie viel cm³ Quecksilber fließen bei Erwärmung um 90°C aus?
 $\alpha_{\text{Glas}} = 8,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\gamma_{\text{Hg}} = 18,1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
2. Ein offener Stahlbehälter ist bis zum Rand mit Benzol gefüllt (Fassungsvermögen 25 l). Wie viel cm³ laufen aus, wenn eine Temperaturerhöhung um 35°C stattfindet? ($\alpha_{\text{Stahl}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\gamma_{\text{Benzol}} = 10,6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
3. Zwei Quecksilber-Thermometer besitzen Vorratsgefäße mit einem Fassungsvermögen von 1 cm³ und 2 cm³ (bei 0°C). Der Querschnitt der Kapillarröhren beträgt in beiden Fällen 1 mm². Wie hoch steigt das Quecksilber in den Kapillaren, wenn eine Erwärmung auf 100°C erfolgt? Die Ausdehnung der Kapillaren ist zu berücksichtigen. Vor der Erwärmung (bei 0°C) sind die beiden Vorratsgefäße gerade ganz gefüllt.
 $\alpha_{\text{Glas}} = 8,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\gamma_{\text{Hg}} = 18,1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
4. Die Dichte von Alkohol beträgt bei 18°C 0,79 g/cm³. Wie groß ist die Dichte bei 60°C, wenn mit einer konstanten Ausdehnungszahl $\gamma = 0,0011 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ gerechnet werden darf?
5. Ein Aluminiumkanister von 25 l Fassungsvermögen (bei 20°C) wird zum Transport von Maschinenöl ($\gamma_{\text{Öl}} = 0,00076 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) benützt. Wie viel Öl darf bei 20°C höchstens eingefüllt werden, wenn mit einer Erwärmung bis 45°C gerechnet werden muss? Die Ausdehnung des Behälters ist zu berücksichtigen ($\alpha_{\text{Al}} = 23,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). Der Verschluss sei nicht luftdicht, so dass die sich ausdehnende Flüssigkeit die Luft verdrängen kann.
6. Eine Tankstelle erhält bei einer Temperatur von – 10°C eine Lieferung von 10 000 l Dieselöl ($\gamma = 0,0014 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). Wie viel Liter erhält der Tankwart weniger, wenn dieselbe Lieferung an einem Tage mit + 30°C ausgeführt wird? Die beiden Ölvolumina sind bei – 10°C miteinander zu vergleichen. Das gesamte Öl soll die angegebenen Temperaturen angenommen haben. Die Messuhr zeigt die Literzahl an, unabhängig von der Temperatur.
7. Wie groß war die Temperaturerhöhung, wenn einem Raum von 180 m³ bei Erwärmung 10 m³ Luft entströmen? (Anfangstemperatur + 10°C)

Erwärmungsgesetz, Wärmeleistung, Mischungsregel

1. Wie lang ist ein Stahldraht von 4mm^2 Querschnitt, der sich bei Aufnahme der Wärmemenge $Q = 1,25\text{ kJ}$ um $0,1\%$ verlängert?
 $c = 0,5\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$, $\alpha = 11\cdot 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\rho = 7,6\text{ g/cm}^3$
2. Welche Wärmemenge muss man einem Kupferzylinder von 50 mm^2 Querschnitt zuführen, damit er sich um $0,2\text{ mm}$ verlängert?
 $c = 0,38\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$, $\rho = 8,9\text{ g/cm}^3$, $\alpha = 14\cdot 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
3. Wie lange braucht ein elektrischer Kochtopf mit 1000 W Leistung bei 60% Wirkungsgrad, bis er 2 l Wasser von 10°C auf 90°C erwärmt hat?
4. Um die mittlere Temperatur im Innern eines Glühofens zu bestimmen, bringt man in den Ofen eine Platinkugel von der Masse $m_1 = 200\text{ g}$. Die erhitzte Kugel wird nach einiger Zeit in ein Kalorimeter von der Wärmekapazität $C = m_3 \cdot c_3 = 252\text{ J/}^\circ\text{C}$ und einem Wasserinhalt von $m_2 = 1000\text{ g}$, $c_2 = 4,19\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$ eingetaucht. Die Temperatur des Wassers im Kalorimeter erhöht sich dadurch von $\vartheta_2 = 18^\circ\text{C}$ auf $\vartheta_m = 25^\circ\text{C}$.
 Welche Temperatur ϑ_1 herrscht im Ofen?
 Spezifische Wärmekapazität des Platins $c_1 = 0,134\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$
5. Man erwärmt einen Kupferwürfel von $m_1 = 200\text{ g}$ und der spezifischen Wärmekapazität $c_1 = 0,394\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$ auf $\vartheta_1 = 100^\circ\text{C}$ und legt ihn in ein Kalorimeter, das mit $m_2 = 500\text{ g}$ einer unbekanntem Flüssigkeit gefüllt ist. Das Kalorimeter besteht aus Messing und hat eine Wärmekapazität von $C = 58\text{ J/}^\circ\text{C}$. Welche spezifische Wärmekapazität hat die Flüssigkeit im Kalorimeter, wenn sie sich von $\vartheta_2 = 20^\circ\text{C}$ auf $\vartheta_m = 25^\circ\text{C}$ erwärmt?
6. In einen zylinderförmigen, oben offenen Aluminiumtopf (Außenmaße $d = 20\text{ cm}$, $h = 12\text{ cm}$, Wandstärke $s = 2,5\text{ mm}$, $\rho_{\text{Al}} = 2,7\text{ g/cm}^3$, $c_{\text{Al}} = 0,9\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$), der die Temperatur $\vartheta_1 = 15^\circ\text{C}$ der Umgebung angenommen hat, werden $2,2\text{ dm}^3$ Wasser von der Temperatur $\vartheta_2 = 80^\circ\text{C}$ eingefüllt ($c_W = 4,19\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$).
 Welche Ausgleichstemperatur ergibt sich kurz nach dem Eingießen?
7. Zwei Gussteile aus Aluminium ($c_1 = 0,9\text{ kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$) und Kupfer ($c_2 = 0,38\text{ kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$) von je $t_1 = 450^\circ\text{C}$ und zusammen $m = 650\text{ g}$ werden in $m_3 = 2,5\text{ kg}$ Wasser von $t_3 = 12^\circ\text{C}$ geworfen, das sich dabei auf $t_m = 27^\circ\text{C}$ erwärmt.
 Welche Masse haben die beiden Teile einzeln?
8. Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Kupfer: In einem Becherglas werden 500 g Kupferspäne in siedendem Wasser auf 100°C erwärmt und dann mit 250 g Wasser von 20°C gemischt. Die Mischungstemperatur ist 32°C .
 Berechne c_{Cu} ! Fehler?
 $c_{\text{Cu}} = 0,38\text{ kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$; $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,2\text{ kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$

Erwärmungsgesetz, Wärmeleistung, Mischungsregel

9. Ein Stück Blei mit der Masse 1,50 kg und der Temperatur 100°C wird in ein Gefäß aus Eisen mit der Masse 400 g und dem Wasserinhalt 1,85 l gebracht. Die Anfangstemperatur ist 18°C. Berechne die Mischungstemperatur!

$$c_{\text{Pb}} = 0,13 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}); \quad c_{\text{Fe}} = 0,45 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}); \quad c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

10. Um die Flammentemperatur eines Bunsenbrenners zu bestimmen, wird eine Eisenkugel der Masse 12,0 g in der Flamme erhitzt. Die Kugel wird dann in ein Gefäß aus 150 g Kupfer, in dem sich 300 ml Wasser mit der Anfangstemperatur 18,0°C befinden, gebracht. Die Mischungstemperatur ist 21,3°C. Berechne die Flammentemperatur.

$$c_{\text{Fe}} = 0,45 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}); \quad c_{\text{Cu}} = 0,38 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}); \quad c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

Verbrennungswärme

Tabellenwerte siehe Blatt 2

1. Auf einer Gaskochstelle steht ein Topf mit 2,0 l Wasser. Zur Erwärmung des Wassers von 15°C auf 70°C werden 24 l Erdgas verbraucht.
 - (a) Wie viel Energie wurde an das Wasser abgegeben?
 - (b) Wie viel Gramm Erdgas wurden verbrannt?
Wie viel chemische Energie wurde dabei freigesetzt?
 - (c) Berechne den Wirkungsgrad der Kochstelle.

2. Zur Warmwasserbereitung verwendet man Heißwasserspeicher oder Durchlauferhitzer. Erstere sind Wasserbehälter, die auf Vorrat beheizt werden und gut gegen Wärmeverluste isoliert sind, während letztere das Wasser nur während der Entnahme erhitzen.
 - (a) Zur Erwärmung von 50 l Wasser von 15°C auf 70°C und zur Aufrechterhaltung dieser Temperatur für einige Stunden sind beim Heißwasserspeicher 0,50 m³ Erdgas erforderlich. Berechne den Wirkungsgrad des Heißwasserspeichers.
 - (b) Beim Durchlauferhitzer wird das Wasser ebenfalls von 15°C auf 70°C erhitzt. Zur Entnahme von 2,0 l heißem Wasser sind 16 l Erdgas erforderlich. Berechne den Wirkungsgrad.
 - (c) Vergleiche die Wirkungsgrade von Kochstelle, Heißwasserspeicher und Durchlauferhitzer.

3. Der Wirkungsgrad eines Esbit-Kochers ist 66 %. Wie viel Esbit benötigt man, um 2,0 l Wasser von 15°C auf 70°C zu erwärmen ?

4. (a) Wie viel Liter Heizöl müsste man verbrennen, damit die Energie frei wird, die in Deutschland von der Sonne jährlich auf einen Quadratmeter Fläche eingestrahlt wird? Die mittlere Sonneneinstrahlung beträgt $10 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2\text{d}}$.
 - (b) Der Wirkungsgrad einer Heizung mit Sonnenkollektoren ist 50 %, der einer Ölheizung 89 %.
Wie viel Liter Öl könnte man theoretisch durch einen Kollektor der Fläche 1,0 m² pro Jahr sparen? Warum sind es in Wirklichkeit weniger?

5. Ein Auto der Masse 1,0 t wird durch Vollgasfahrt aus der Ruhe auf 42 km/h beschleunigt. Der Beschleunigungsweg beträgt dabei 38 m. Bei Vollgasfahrt benötigt der Motor 18 l Benzin auf 100 km.
 - (a) Wie viel Gramm Benzin benötigt das Auto für den Beschleunigungsvorgang?
 - (b) Wie viel chemische Energie wird dabei freigesetzt?
Welche kinetische Energie erhält das Auto?
 - (c) Berechne den Wirkungsgrad. Warum ist er kleiner als der Wirkungsgrad des Motors?

Verbrennungswärme

6. (a) Der Wirkungsgrad eines Ottomotors beträgt 25 %. Wie groß ist die an der Kurbelwelle verrichtete Arbeit, wenn 20 l Benzin verbraucht werden?
 (b) Wie groß ist die genutzte Arbeit, wenn an Getriebe und Rädern 40 % davon „verloren“ gehen?
 (c) Wie viel Prozent der Verbrennungsenergie belasten also die Umwelt durch Temperaturerhöhung?
7. In Bayern beträgt der jährliche Energieverbrauch etwa 45 Millionen Steinkohle-einheiten (1 SKE = $30 \cdot 10^6$ kJ).
 Welcher Energie in MJ entspricht das?
 Wie viele Tonnen Mineralöl werden verbraucht, wenn 2/3 dieser Energie durch Erdöl gedeckt wird?
8. Ein Radrennfahrer der Tour de France nimmt täglich die Energie $E_2 = 18$ MJ mehr auf als ein Erwachsener mit normaler körperlicher Belastung; diese Energie wird zu 2/3 in Wärme umgewandelt.
 (a) Bei einem Test in einem Labor mit einem Standfahrrad, bei dem zum Bewegen der Pedale die gleiche Energie benötigt wurde wie bei der Tour, musste der Fahrer nach etwa einer Stunde aufgeben, da seine Körpertemperatur Fieberwerte erreichte. Erkläre dies.
 (b) Zum Verdunsten von einem Liter Wasser sind etwa 2 MJ Energie nötig. Wie viel muss ein Radrennfahrer täglich mehr trinken als ein normaler Erwachsener, damit er die Wärmeenergie während der Fahrt durch die Verdunstung von Wasser auf der Haut bzw. über die Atmung abgeben kann?

Tabelle: Heiz- und Dichtewerte

Brennstoff	H in kJ / g	ρ in g / cm ³
Esbit	28	1,25
Mineralöl	41	1,1
Heizöl	42	0,85
Benzin	45	0,80
Erdgas	44	0,00080

Wärmelehre

1. Eine Bremsscheibe der Masse 8,0 kg wird auf einem Prüfstand getestet, wobei sie eine Temperatur von 700°C erreicht. Die spezifische Wärmekapazität beträgt 0,55 J/(g K). Welche Reibungsarbeit wurde an der Bremsscheibe mindestens verrichtet? Warum „mindestens“ ?
2. Ein Zündholz wird 2,0 cm weit durch eine Kraft von 3,0 N über eine Reibfläche gezogen, bis es sich bei 260°C entzündet.
 - (a) Berechne unter der Annahme, dass die Reibungsarbeit nur die innere Energie eines Teils des Kopfes erhöht hat, dessen Masse ($c = 1,0 \text{ J}/(\text{g K})$).
 - (b) Vergleiche diese Masse mit der Masse 14 mg des gesamten Zündholzkopfes.
3. Eine Messingkugel der Masse 100 g wird in der Flamme eines Bunsenbrenners auf helle Rotglut erhitzt. Dann wird sie an einer Kette in einen Styroporbecher mit 400 g Wasser gehalten. Die Wassertemperatur steigt dabei von 19,0°C auf 39,0°C. Berechne die Temperatur der glühenden Messingkugel. ($c = 0,385 \text{ J}/(\text{g K})$).
4. Ein Zimmer ist 5,0 m lang, 4,0 m breit und 2,5 m hoch. Es wird von 0,0°C auf 20°C aufgewärmt. Der Luftdruck bleibt dabei konstant weil durch undichte Fenster und die Zimmertür ein Luftaustausch stattfinden kann; Wärmeverluste werden nicht berücksichtigt. ($c_{\text{Holz}} = 0,50 \text{ J}/\text{g K}$; $c_{\text{Luft}} = 1,0 \text{ J}/(\text{g K})$; $\rho_{\text{Luft}} = 0,0012 \text{ g}/\text{cm}^3$)
 - (a) Welche Energie nimmt dabei die Luft auf?
 - (b) Welche Energie nimmt dabei ein Holztisch der Masse 35 kg auf?
 - (c) Im Winter strömt bei gekipptem Fenster kalte Luft ins Zimmer und warme ins Freie. Dadurch gehen in einer Stunde ungefähr 1 bis 2 MJ Energie „verloren“. Lüftet man energiesparend, indem man kurzzeitig die gesamte Zimmerluft bei ganz geöffnetem Fenster austauscht, oder indem man längere Zeit das Fenster kippt? Begründe deine Antwort.
5.
 - (a) Um wie viel erwärmt sich 1,0 m³ Wasser bzw. 1,0 m³ Stein, wenn dabei die Energie 10 MJ aufgenommen wird?
($\rho_{\text{Stein}} = 2,4 \text{ g}/\text{cm}^3$; $c_{\text{Stein}} = 0,88 \text{ J}/(\text{g K})$)
 - (b) Warum wird Gestein im Gegensatz zu Wasser durch die Sonne nur in der obersten Schicht erwärmt?
 - (c) Nimmt im Sommer der Ozean oder das Festland eine höhere Temperatur an?
 - (d) Kühlt sich im Winter der Ozean oder das Festland auf eine tiefere Temperatur ab?
 - (e) Was folgt daraus für den Temperaturunterschied zwischen Sommer und Winter bei Meeresklima und bei Landklima?

Schmelz- und Verdampfungswärme

Tabellenwerte siehe Blatt 2

1. (a) Bergwanderer füllen ihren Teekessel mit 1,0 kg Schnee von 0°C.
Welche Energie ist nötig, um daraus Teewasser von 80°C zu bereiten?
(b) Wie viel Wasser von 0°C könnte man mit dieser Energie auf 80°C erwärmen?

2. 10 g Eis der Temperatur – 5,0°C werden in 100 g Wasser der Temperatur 20°C gebracht. Welche Mischtemperatur stellt sich ein?

3. Einem Eisblock von 1,0 kg und – 20°C wird pro Sekunde eine Energie von 1,0 kJ zugeführt. Von Energie-„Verlusten“ werde abgesehen.
Wie lange dauert es, bis
 - (a) sich das Eis auf 0°C erwärmt hat?
 - (b) das Eis vollständig geschmolzen ist?
 - (c) das Wasser sich auf 100°C erwärmt hat?
 - (d) das Wasser vollständig verdampft ist?
 - (e) der Dampf sich auf 120°C erhitzt hat?
 - (f) Zeichne ein $t - \vartheta$ – Diagramm.
(t –Achse: 1 cm $\hat{=}$ 200 s; ϑ –Achse: 1 cm $\hat{=}$ 20°C)

4. Claudia will 200 g Orangensaft ($c_o = 4,2 \text{ J/g K}$) von 20°C mit Eiswürfeln von 0°C abkühlen. Sie führt dazu mehrere Versuche durch. (Zur Vereinfachung bleibt der Energieaustausch mit der Umgebung unberücksichtigt.)
 - (a) Sie wirft 80 g Eis in den Orangensaft und stellt fest, dass es nicht vollständig schmilzt. Wie viel Gramm Eis bleiben übrig?
 - (b) Claudia wirft 25 g Eis in den Orangensaft. Berechne die Mischtemperatur.
 - (c) Wie viel Eis muss sie ins Glas geben, damit sich die Mischungstemperatur 15°C einstellt?

5. Man leitet 30 g Wasserdampf von 100°C in ein mit 500 g Wasser gefülltes Gefäß der Anfangstemperatur 20°C. Dadurch wird das Wasser auf 53°C erwärmt.
 - (a) Überlege dir den zugehörigen Versuchsaufbau. Beachte dabei, dass die eingeleitete Dampfmenge am Ende des Versuchs festgestellt werden muss.
 - (b) Berechne die spezifische Kondensationswärme - diese entspricht der Verdampfungswärme - von Wasserdampf.
 - (c) Vergleiche diesen Wert mit dem Literaturwert $r_{\text{Lit}} = 2\,250 \text{ J/g}$.

Schmelz- und Verdampfungswärme

6. 1,0 kg Wasser werden auf -5°C unterkühlt, d. h. abgekühlt, ohne dass das Wasser gefriert. Durch Impfen mit einem kleinen Eiskristall wird die Unterkühlung aufgehoben, so dass sich Eis bilden kann. Wie viel Gramm Eis von 0°C entsteht dabei?
7. In einer Härterei werden 8 kg glühende Stahlteile von 1150°C in 4 Liter Wasser von 20°C geworfen.
Wie viel Wasser verdampft dabei?
8. Wie viel Eis von 0°C kann man mit 20 kg flüssigem Blei der Temperatur 460°C schmelzen, wenn das Schmelzwasser 30°C erreichen soll?

Tabelle einiger benötigter Größen:

$$c_{\text{Wasser}} = 4,19 \text{ J/(g K)}$$

$$c_{\text{Eis}} = 2,1 \text{ J/(g K)}$$

$$c_{\text{Wasserdampf}} = 2,0 \text{ J/(g K)}$$

$$c_{\text{Alkohol}} = 2,43 \text{ J/(g K)}$$

$$c_{\text{Stahl}} = 0,50 \text{ J/(g K)}$$

$$c_{\text{Blei}} = 0,13 \text{ J/(g K)}$$

spez. Schmelzwärme von Eis: $s_{\text{Eis}} = 335 \text{ J/g}$

spez. Schmelzwärme von Blei: $s_{\text{Blei}} = 26,5 \text{ J/g}$

spez. Verdampfungswärme von Wasser: $r = 2\,250 \text{ J/g}$

Erwärmungsgesetz - Mischungsregel

Tabellenwerte spezifische Wärmekapazität siehe Blatt 2

1. Welche Wärmeenergie muss man 35 kg Wasser zuführen, wenn das Wasser von 16°C auf 75°C erwärmt werden soll?
2. Welche Wärmeenergie geben 2,4 kg Blei ab, wenn sie in einem Wasserbad von der Erstarrungstemperatur von 327°C auf 20°C abgekühlt werden?
3. Welche Wärmeenergie ist jeweils notwendig, um 15 kg Wasser und 15 kg Stahl von 20°C auf 90°C zu erwärmen?
4. Bei einer Warmwasserheizung strömen stündlich 250 l Wasser durch die Heizkörper und kühlen sich dabei von 75°C auf 40°C ab.
Welche Wärmeenergie wird dabei an das Zimmer abgegeben?
5. Wie viel Eis von -10°C kann man durch eine Wärmeenergie von 400 kJ auf die Schmelztemperatur von 0°C bringen?
6. 200 g eines Stoffes werden durch die Zufuhr einer Wärmeenergie von 39 kJ von 20°C auf 520°C erwärmt. Welche spezifische Wärmekapazität hat dieser Stoff?
7. Eine Porzellantasse der Masse 80 g ist mit 150 cm³ Kaffee gefüllt. Tasse und Kaffee haben die gleiche Temperatur von 80°C.
Auf welche Temperatur kühlen sich Kaffee und Tasse ab, wenn beide zusammen 35,2 kJ Wärmeenergie an die Umgebung abgeben?
Spezifische Wärmekapazität und Dichte von Kaffee sind dieselben wie von Wasser.
 $\rho_W = 1,0 \text{ kg / dm}^3$
8. In einem Härtebad mit 15 kg Wasser von 18°C soll ein Werkstück aus Stahl von 850°C abgeschreckt werden. Welche Masse darf das Werkstück höchstens haben, damit dabei die Temperatur des Wassers 40°C nicht überschreitet?
9. Kaltes Wasser soll mit heißem Wasser gemischt werden.
Die Mischungstemperatur ϑ_M ist zu bestimmen.
10. 200 l Badewasser der Temperatur 38 °C werden benötigt. Wie viel Liter heißes Wasser der Temperatur 65 °C und wie viel Liter kaltes Wasser von 14 °C müssen gemischt werden?
11. In einem Badebecken von 25,0 m Länge, 8,0 m Breite und 1,8 m Tiefe soll die Temperatur des Badewassers 24°C betragen. Wie viel Kaltwasser von 11°C und wie viel Warmwasser von 75°C müssen einfließen?
12. Ein Tauchsieder mit einer Wärmeleistung von 0,27 kW erwärmt 11 Minuten lang 770 g Wasser von 17 °C. Welche Temperatur hat anschließend das Wasser?

Erwärmungsgesetz - Mischungsregel

13. In einem Kalorimeter aus Messing mit der Masse 400 g befinden sich 1,5 Liter Wasser von 18°C. Man bringt in dieses Wasser ein Bleirohr mit der Masse 1,5 kg und der Temperatur 100 °C.
- Wie groß ist die Wärmekapazität des Kalorimeters?
 - Wie groß ist die Mischungstemperatur?
 - Wie viel Prozent der vom Blei abgegebenen Wärmemenge hat das Kalorimeter aufgenommen?
14. Um die spezifische Wärmekapazität von Kupfer zu bestimmen, wurden 200 g Wasser in ein Kalorimetergefäß aus Kupfer von der Masse 152 g geschüttet. Die nun gemessene Temperatur dieses Wassers betrug 18,5°C. Außerdem wurden 85,0 g Kupfer auf 98,4°C erwärmt und ebenfalls in das Kalorimetergefäß gegeben. Nachdem sich Wärmegleichgewicht eingestellt hatte, wurde die Temperatur von 21,4°C gemessen. Welcher Wert ergibt sich aus diesem Versuch für die spezifische Wärmekapazität von Kupfer?
15. Um die spezifische Wärmekapazität von Benzol zu bestimmen, werden 400 g Kupferspäne im Wasserbad auf 100°C erhitzt und in ein Kalorimetergefäß geschüttet, in dem sich 400 g Benzol der Temperatur 25°C befinden. Es stellt sich eine Mischungstemperatur von 38°C ein. Berechnen Sie daraus die spezifische Wärmekapazität von Benzol, wenn die Wärmeaufnahme des Kalorimeters vernachlässigt wird. Wie macht sich diese Vernachlässigung im Ergebnis bemerkbar?

spezifische Wärmekapazitäten: in kJ/(kg·K)	Wasser	$c_W = 4,19$
	Eis	$c_{\text{Eis}} = 2,10$
	Blei	$c_{\text{Pb}} = 0,13$
	Stahl	$c_{\text{St}} = 0,67$
	Kupfer	$c_{\text{Cu}} = 0,39$
	Messing	$c_{\text{Ms}} = 0,38$
	Porzellan	$c_P = 0,92$

Änderung des Aggregatzustands

- 1.0** 1,00 kg Eis von -20°C wird durch Zufuhr von Wärmeenergie in Wasserdampf von 130°C übergeführt.
- 1.1** Berechne die benötigte Wärmeenergie !
- 1.2** Zeichne das zugehörige Q- ϑ -Diagramm !
- 2.0** Um 17 g Alkohol der Temperatur 24°C vollständig zu verdampfen, benötigt man die Wärmeenergie 16,2 kJ.
- 2.1** Berechne die spezifische Verdampfungswärme von Alkohol.
- 2.2** Warum unterscheidet sich der in 2.1. experimentell ermittelte Wert vom Idealwert?
- 3.1** Welcher Endzustand (Aggregatzustand und Temperatur) entsteht, wenn man 50,0 g Wasserdampf von 140°C die Wärmeenergie 170 kJ entzieht?
- 3.2** Wie hoch könnte man einen Körper der Masse 1000 kg (Mittelklasseauto) mit dieser Energie heben?
- 4.0** Eine Schneeschicht mit der Ausdehnung $A = 1,00 \text{ km}^2$, der Dicke 10 cm und der Temperatur -12°C schmilzt unter Einwirkung der Sonnenstrahlung.
- 4.1** Welche Wärmeenergie liefert hierbei die Sonne?
- 4.2** Wie viel Tonnen Steinkohle müsste man verbrennen, um den Schnee auf diese Weise zu schmelzen?
- 5.** Ein Thermosgefäß enthält 200 g Wasser mit einer Temperatur von 46°C . In das Wasser wird 46 g Eis mit einer Eistemperatur von 0°C gegeben. Die Mischungstemperatur nach dem vollständigen Schmelzen des Eises beträgt 23°C . Berechne die spezifische Schmelzwärme des Eises.
- 6.1** Welche Wärmeenergie ist erforderlich, um 50 g Eis von -30°C in Wasserdampf von 120°C umzuwandeln?
- 6.2** Vergleiche die Steigungen des Graphen von 6.1 in den Phasen I (Eis), III (Wasser); V (Wasserdampf)! Begründung!
- 7.** Um die spezifische Kondensationswärme von Wasser zu bestimmen, wird Wasserdampf der Temperatur 100°C solange in 200 g Wasser der Anfangstemperatur 15°C geleitet, bis dessen Temperatur auf 30°C gestiegen ist. Eine Wägung ergibt, dass 5,0 g Dampf kondensiert sind. Berechne die spezifische Kondensationswärme.

Änderung des Aggregatzustands

8. Welcher Endzustand (Temperatur und Aggregatzustand) stellt sich ein, wenn man 150 g Wasserdampf von 100 °C die Wärmeenergie 170 kJ entzieht?
9. 1,0 kg Wasserdampf von 100°C und 2,4 kg Eis von - 10°C werden vereinigt. Was entsteht nach einem vollständigen Ausgleich der Wärmeenergie? Berechne die Mischungstemperatur.

spezifische Wärmekapazitäten: (in $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)

Eis: 2,1 Wasser: 4,2 Wasserdampf: 1,9 Alkohol: 2,4

spezifische Schmelzwärme: Eis $335 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

spezifische Verdampfungswärme: Wasser $2264 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Siedepunkt: Alkohol 78 °C

Heizwert: Steinkohle $32 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Schneedichte: $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

