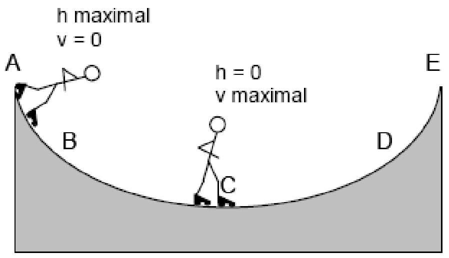
Energie **M 8_01**

Energie kann in verschiedenen Formen auftreten:
Kinetische Energie (= Bewegungsenergie), Höhenenergie (potenzielle Energie der Lage), Spannenergie, innere Energie, elektrische Energie, ...

Energieerhaltung:

In einem System ist die Gesamtenergie zu jeder Zeit gleich, wenn es von außen nicht beeinflusst wird. Die Gesamtenergie kann dabei auf unterschiedliche Energieformen verteilt sein, die sich in einander umwandeln.

Beispiel Inlineskater:



A: Potenzielle Energie
B: Potenzielle und kinetische Energie
C: Kinetische Energie
D: Kinetische und potenzielle Energie
E: Potenzielle Energie

Die potenzielle Energie in den Punkten A und E ist gleich groß und genau so groß wie die kinetische Energie im Punkt C beziehungsweise wie die Summe von kinetischer und potenzieller Energie in den Punkten B und D.

Goldene Regel der Mechanik **M 8_02**

Für alle idealen Kraftwandler gilt:
Was man an Kraft spart, muss man am Weg zulegen. Das Produkt aus Kraft und Weg ist konstant.

Mechanische Arbeit

Arbeit ist das Produkt aus Kraft und zurückgelegtem Weg, wenn die Kraft in Wegrichtung wirkt und einen konstanten Wert hat: $W = F \cdot s$

Energieänderung und mechanische Arbeit

Wird ein Körper (ohne Reibung) durch eine konstante Kraft F um eine Strecke s bewegt, so ändert sich seine Energie um $\Delta E = F \cdot s$
Arbeit W = Energieänderung ΔE

Einheit der Energie: 1 J (Joule) = 1 N m = $1\frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = 1\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$ (→ M 7_04)

Mechanische Energieformen

M 8_03

Höhenenergie (potenzielle Energie der Lage): $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$

Kinetische Energie: $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Spannenergie: $E_{Spann} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$

m: Masse des Körpers

g: Fallbeschleunigung; in Mitteleuropa $g = 9{,}81 \frac{m}{s^2}$

h: Höhe des Körpers

v: Geschwindigkeit des Körpers

D: Federhärte

s: Ausdehnung/Stauchung der Feder

Beispiel: Ein Körper der Masse 75 kg, der sich in 2,4 m Höhe befindet, hat

$$E_{Pot} = m \cdot g \cdot h = 75\ kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 2{,}4\ m = 1{,}8\ kJ$$

Das Ergebnis wird auf 2 gültige Ziffern (g. Z.) gerundet, da die ungenaueste Maßangabe, die in die Rechnung eingeht, 2 g. Z. hat (→ M 7_05)

Energieumwandlungen

M 8_04

Beispiel Inlineskater (→ M 8_01): Ein Inlineskater (m = 45 kg) befindet sich in einer Halfpipe ganz oben in Ruhe (A). Die Halfpipe ist 2,50 m hoch.
a) Wie groß ist die Geschwindigkeit des Inlineskaters, wenn er sich am tiefsten Punkt (C) der Bahn befindet?
b) In welcher Höhe befindet sich der Punkt D, wenn die Geschwindigkeit dort $3{,}5 \frac{m}{s}$ beträgt?

a) $E_{pot}(A) = E_{kin}(C)$

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2 \quad |: m; \ | \cdot 2;$$

$$2gh = v^2$$

$$2 \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 2{,}50\ m = v^2$$

$$49{,}05 \frac{m^2}{s^s} = v^2 \quad |\text{Wurzelziehen}$$

$$v = 7{,}00 \frac{m}{s}$$

b) $E_{pot}(A) = E_{pot}(D) + E_{kin}(D)$

$$mgh_A = mgh_D + \frac{1}{2} mv^2 \quad |: m$$

$$gh_A = gh_D + \frac{1}{2} v^2 \quad \left| - \frac{1}{2} v^2 \right.$$

$$gh_A - \frac{1}{2} v^2 = gh_D \quad |: g$$

$$h_A - \frac{v^2}{2g} = h_D$$

$$2{,}50m - \frac{(3{,}5 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}} = h_D; \qquad h_D = 1{,}9\ m$$

Leistung **M 8_05**

Wenn in der Zeit Δt die Arbeit ΔW verrichtet wird / die Energie ΔE umgesetzt wird, beträgt die Leistung

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Einheit: $1\,\frac{J}{s} = 1\,W \quad (\text{Watt})$

$\Rightarrow$ 1 W s = 1 J

Beispiel:
Ein Schüler (m = 55 kg) rennt in 12 s auf der Treppe vom Erdgeschoss in den 3. Stock und überwindet dabei einen Höhenunterschied von 10 m.

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{m \cdot g \cdot \Delta h}{\Delta t} = \frac{55\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10\text{m}}{12\text{s}} = 0{,}45\text{kW}$$

Wirkungsgrad **M 8_06**

Der Wirkungsgrad η („Eta“) gibt an, wie groß bei der Umsetzung von Energie der Anteil der nutzbaren Energie an der aufgewandten Energie ist:

$$\eta = \frac{E_{Nutz}}{E_{Auf}}$$

Bei jeder Energieumwandlung wird ein Teil der aufgewandten Energie in nicht mehr nutzbare Energieformen umgewandelt (wird entwertet, „geht verloren“)
→ Der Wirkungsgrad ist immer kleiner als 1

Beispiel: Der Flaschenzug eines Krans hebt eine Last von 125 kg um 12 m hoch, der Motor des Krans benötigt dazu 18 kJ elektrische Energie.

$$\eta = \frac{E_{Nutz}}{E_{Auf}} = \frac{mgh}{E_{Auf}} = \frac{125\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 12\text{m}}{18 \cdot 10^3\,\text{J}} = 0{,}82$$

Teilchenmodell **W 8_01**

Alle Stoffe bestehen aus Teilchen (Molekülen). Zwischen den Teilchen wirken Kräfte. Die Teilchen befinden sich in ständiger unregelmäßiger Bewegung (brownsche Molekularbewegung).

Festkörper: Die Teilchen werden durch die gegenseitige Anziehung an ihren Plätzen gehalten, sie lassen sich nur schwer von einander trennen. Die Abstände zwischen ihnen sind gering. Ihre Bewegung beschränkt sich auf ein Zittern um die Ruhelage.

Flüssigkeiten: Die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen sind weniger stark als in festen Körpern. Die Teilchen sich können aneinander vorbei bewegen und ihren Ort wechseln.

Gase: Die Teilchen sind weit von einander entfernt, zwischen ihnen bestehen keine Anziehungskräfte. Die Teilchen bewegen sich im ganzen zur Verfügung stehenden Raum. Sie stoßen dabei immer wieder miteinander und mit den Gefäßwänden zusammen.

Innere Energie **W 8_02**

Die Teilchen eines Körpers besitzen potenzielle und kinetische Energie. Die gesamte in einem Körper enthaltene Energie (Summe aller kinetischen und potenziellen Energien der Teilchen) wird als innere Energie bezeichnet.

Absolute Temperatur, Kelvin-Temperatur

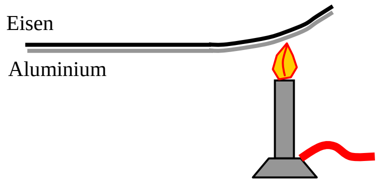
Die mittlere kinetische Energie der Teilchen eines Körpers nimmt mit der Temperatur zu. Bei -273,15 °C würden alle Teilchen still stehen (absoluter Temperaturnullpunkt).

	Kelvin-Temperatur:	Celsius-Temperatur:
Absoluter Nullpunkt	$T = 0$ K	ϑ = -273,15 °C
Schmelzpunkt von Eis	$T = 273{,}15$ K	ϑ = 0 °C
Siedepunkt von Wasser	$T = 373{,}15$ K	ϑ = 100 °C

Temperatur und Volumen W 8_03

Die meisten Körper dehnen sich bei Erwärmung aus. Die Volumenänderung ist dabei direkt proportional zur Temperaturänderung und zum Volumen des Körpers.
Die Ausdehnung ist bei Festkörpern und Flüssigkeiten vom Material des Körpers abhängig; nicht jedoch bei Gasen.

Anwendung: Bimetall
Zwei Metalle mit unterschiedlichen Ausdehnungs-verhalten werden fest mit einander verbunden.
Bei Erwärmung dehnt sich das eine stärker aus als das andere und der Bimetallstreifen krümmt sich.
Anwendung: Bimetallschalter in Temperaturreglern



Anomalie des Wassers

Wasser hat bei 4 °C sein kleinstes Volumen, d. h. bei Erwärmung von 0 °C auf 4 °C nimmt das Volumen ab.
Wasser hat daher bei 4 °C seine größte Dichte, deshalb frieren Gewässer im Winter von oben nach unten zu.

Änderung der inneren Energie W 8_04

Die innere Energie eines Körpers ändert sich, wenn eine Energieübertragung durch mechanische Arbeit oder durch Wärme erfolgt.

$\Delta E_i = W + Q$ (1. Hauptsatz der Wärmelehre)

ΔE_i Änderung der inneren Energie

W mechanische Arbeit

Q Wärme

Wärme ≠ Temperatur

Die Temperatur gibt an, wie kalt oder warm ein Körper ist. Sie ist ein Maß für die innere Energie.

Die Wärme gibt an, wie viel innere Energie von einem Körper auf einen anderen übergeht.

Spezifische Wärmekapazität W 8_05

Ein Körper der Masse m erfährt durch Umwandlung von mechanischer Energie oder durch Zufuhr oder Abgabe von Wärme eine Änderung ΔE_i seiner inneren Energie, die sich in der Temperaturänderung $\Delta\vartheta$ äußert.

Es gilt: $\Delta E_i = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$ c = spezifische Wärmekapazität des Körpers

Spezifische Wärmekapazität von Wasser: $c = 4{,}19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg °C}}$

Beispiel: An einem wolkenlosen Sommertag strahlt die Sonne 10 h lang mit einer Leistung von 150 kW auf ein Schwimmbecken, das mit 750 m³ Wasser gefüllt ist. Um wie viel müsste sich das Wasser erwärmen?

$$\left.\begin{array}{l} \Delta E_i = P \cdot \Delta t \\ \Delta E_i = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta \end{array}\right\} \Rightarrow P \cdot \Delta t = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta \quad |:(c \cdot m)$$

$$\Delta\vartheta = \frac{P \cdot \Delta t}{c \cdot m} = \frac{150\ \text{kW} \cdot (10 \cdot 3600\ \text{s})}{4{,}19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg °C}} \cdot (750 \cdot 1000\ \text{kg})} = 1{,}7\ \text{°C}$$

Hinweise:

$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ $\rightarrow$ M 8_05

1 h = 3600 s
1 m³ = 1000 l, 1 l Wasser hat 1 kg Masse

Änderung der inneren Energie durch Übertragung von mechanischer Energie W 8_06

Beispiel: Ein Auto der Masse 1,2 t wird aus der Geschwindigkeit $108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zum Stillstand abgebremst. Um wie viel müsste sich jede der vier Bremsscheiben erwärmen (Masse jeder Scheibe 5,0 kg, spezifische Wärmekapazität $0{,}460 \frac{\text{kJ}}{\text{kg °C}}$), wenn man annimmt, dass 80% der umgesetzten kinetischen Energie zu innerer Energie der Bremsscheiben werden?

$0{,}8 \cdot \Delta E_{kin} = \Delta E_i$

$$0{,}8 \cdot \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 = 4 \cdot c \cdot m \cdot \Delta\vartheta \quad |:(4 \cdot c \cdot m)$$

M = Masse des Autos
m = Masse einer Bremsscheibe

$$\Delta\vartheta = \frac{0{,}8 \cdot 0{,}5 \cdot M \cdot v^2}{4 \cdot c \cdot m} = \frac{0{,}8 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot \left(30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{4 \cdot 0{,}460 \frac{10^3 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}}{\text{kg °C}} \cdot 5{,}0\ \text{kg}} = 47\ \text{°C}$$

Übertragung von innerer Energie **W 8_07**

Ein warmer Körper gibt Wärme an einen kalten Körper ab. Der warme Körper kühlt sich ab und der kalte erwärmt sich, bis beide die gleiche Temperatur haben.

Beispiel: In einem Kalorimeter befinden sich 240 g Wasser der Temperatur 20,0 °C. Ein Eisenstück der Masse 116 g, das die Temperatur 87,5 °C hat, wird in das kalte Wasser im Kalorimeter getaucht. Das Wasser erwärmt sich und hat nach einiger Zeit die konstante Temperatur 23,4 °C. Welche spezifische Wärmekapazität hat Eisen?

$$Q_{ab} = Q_{auf}$$

$$c_{Fe} \cdot m_{Fe} \cdot \Delta\vartheta_{Fe} = c_W \cdot m_W \cdot \Delta\vartheta_W \quad \big|: (m_{Fe} \cdot \Delta\vartheta_{Fe})$$

$$c_{Fe} = \frac{c_W \cdot m_W \cdot \Delta\vartheta_W}{m_{Fe} \cdot \Delta\vartheta_{Fe}} = \frac{4{,}19\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\ ^\circ C}} \cdot 0{,}240\,\mathrm{kg} \cdot (23{,}4\ ^\circ\mathrm{C} - 20{,}0\ ^\circ\mathrm{C})}{0{,}116\ \mathrm{kg} \cdot (87{,}5\ ^\circ\mathrm{C} - 23{,}4\ ^\circ\mathrm{C})} = 0{,}460\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\ ^\circ C}}$$

Änderung des Aggregatszustands **W 8_08**

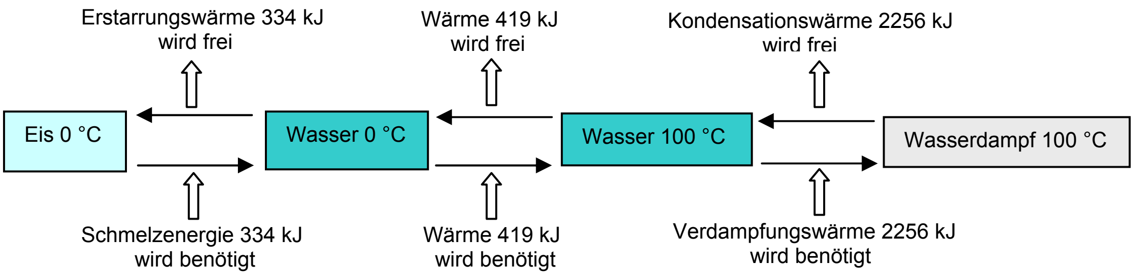
Aggregatszustände: fest, flüssig, gasförmig (→ W 8_01)

Beim Schmelzen eines Festkörpers werden die Bindungen zwischen den Molekülen gelockert, dazu ist Schmelzenergie nötig. Umgekehrt wird beim Erstarren die Erstarrungswärme frei.

Beim Verdampfen einer Flüssigkeit werden alle Bindungen zwischen den Molekülen aufgelöst, dazu ist die Verdampfungsenergie nötig. Umgekehrt wird beim Kondensieren die Kondensationswärme frei.

Während der Zustandsänderung bleibt die Temperatur konstant.

Für 1 kg H_2O gilt:

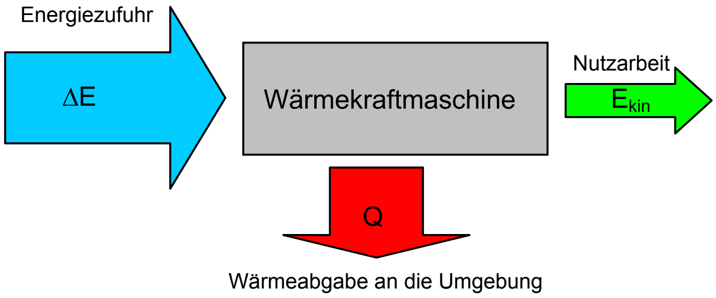


Energieentwertung   W 8_09

Vorgänge, die von einem Ausgangszustand aus von allein wieder zu diesem Zustand kommen, heißen reversibel.
Vorgänge, die von einem Ausgangszustand aus unbeeinflusst in eine bestimmte Richtung ablaufen und von alleine nicht mehr den Ausgangszustand erreichen, heißen irreversibel.
Kein Vorgang in der Natur ist vollständig reversibel.

Bei irreversiblen Vorgängen wird ein Teil der Gesamtenergie in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben. Dieser Teil der Energie wird dadurch entwertet, d. h. er ist nicht mehr nutzbar (→ Wirkungsgrad M 8_06).

Beispiel Wärmekraftmaschine:



Elektrisch geladene Körper (→ E 7_02)   E 8_01

Negativ geladen: es besteht ein Elektronenüberschuss
Positiv geladen: es besteht ein Elektronenmangel

Die elektrische Ladung Q eines Körpers gibt an, wie groß der Elektronen-überschuss bzw. –mangel ist.

Einheit der Ladung: 1 C (Coulomb)

Ladung eines Elektrons: Elementarladung $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

Es gilt $Q = N \cdot e$ N = Zahl der Elementarladungen

Stromstärke (→ E 7_03)

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Ladung}}{\text{Zeit}} \qquad I = \frac{Q}{\Delta t}$$

Einheit der Stromstärke $1\,\mathrm{A} = 1\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}}$ ⇔ Einheit der Ladung $1\,\mathrm{C} = 1\,\mathrm{A\,s}$

Elektrische Spannung (→ E7_03) **E 8_02**

Zur Ladungstrennung zwischen den beiden Polen einer Spannungsquelle ist Energie nötig.

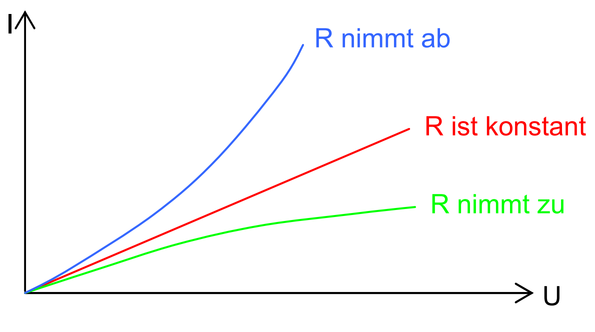
Die Spannung einer Spannungsquelle gibt an, wie viel Energie pro Ladung vorhanden ist:

$U = \frac{\Delta E}{Q}$ Einheit: $1\,V = 1\,\frac{J}{C}$

Wenn Strom durch einen Verbraucher fließt, wird in ihm Energie der Ladungen umgewandelt. Die Spannung, die am Verbraucher liegt (der Spannungsabfall), gibt an, wie viel Energie pro Ladung, die durch den Verbraucher fließt, umgewandelt wird.

Kennlinien von Widerständen **E 8_03**

Der elektrische Widerstand (→ E 7_04) eines Schaltelements ist im Allgemeinen nicht konstant.



U ist die Spannung, die am Widerstand liegt

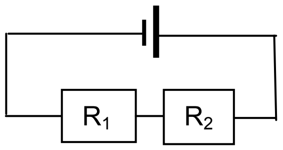
I ist die Stromstärke, die durch den Widerstand fließt

Ohmsches Gesetz

Bei konstanter Temperatur ist $R = \frac{U}{I} = \text{const.}$ U und I sind direkt proportional.

Schaltung von Widerständen (1) E 8_04

Reihenschaltung (Serienschaltung)



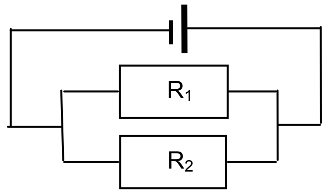
Die Stromstärke ist in den Widerständen gleich groß: $I_1 = I_2$

Die Teilspannungen an den Widerständen addieren sich zur Gesamtspannung, die Gesamtspannung teilt sich im Verhältnis der Widerstände in die Teilspannungen auf:

$U_1 + U_2 = U$; $\quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$

Der Gesamtwiderstand ist die Summe der Teilwiderstände: $R_{ges} = R_1 + R_2$

Parallelschaltung



Die Teilstromstärken addieren sich zur Gesamtstromstärke, die Gesamtstromstärke teilt sich im umgekehrten Verhältnis der Widerstände auf:

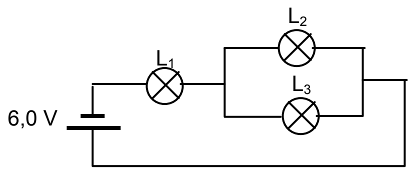
$I_1 + I_2 = I$; $\quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

Die Spannung an den Widerständen ist gleich: $U_1 = U_2$

Der Gesamtwiderstand ist kleiner als jeder Teilwiderstand: $\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Schaltung von Widerständen (2) E 8_05

Beispiel: Drei Glühlampen sind wie skizziert verschaltet. Für jede der drei Lampen gelten die Daten 6,0V/0,30A.
Es wird für die Berechnungen die Gültigkeit des ohmschen Gesetzes angenommen.



a) Berechne den Gesamtwiderstand der Schaltung.
b) Welche Spannung U_2 liegt an der Lampe L_2?
c) Was kannst Du über die Helligkeiten der drei Lampen aussagen? Begründung!

a) Widerstand einer Lampe: $R_1 = R_2 = R_3 = \frac{6{,}0\ \text{V}}{0{,}30\ \text{A}} = 20\ \Omega$ (= const.)

Ersatzwiderstand der Parallelschaltung von L_2 und L_3:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{20\ \Omega} + \frac{1}{20\ \Omega};\quad R' = 10\ \Omega$$

Gesamtwiderstand der Reihenschaltung von R_1 und R': $R_{ges} = R_1 + R' = 20\Omega + 10\Omega = 30\Omega$

b) Gesamtstromstärke $I = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{6{,}0\ \text{V}}{30\ \Omega} = 0{,}20\ \text{A}$, teilt sich auf zu $I_2 = 0{,}10$ A und $I_3 = 0{,}10$ A.

Spannung $U_2 = R_2 \cdot I_2 = 20\ \Omega \cdot 0{,}10\ \text{A} = 2{,}0\ \text{V}$

c) L_1 leuchtet am hellsten, da an ihr die meiste Spannung abfällt, nämlich 4,0 V. L_2 und L_3 leuchten deutlich schwächer, aber gleich, da an ihnen die gleiche Spannung von 2,0 V liegt.

Elektrische Energie (1) E 8_06

Wenn eine Spannungsquelle der Spannung U die Ladung Q enthält, ist in ihr die elektrische Energie $\Delta E = U \cdot Q$ gespeichert $\left(U = \dfrac{\Delta E}{Q}\right.$ → E 8_02)

In einem Verbraucher, an dem die Spannung U anliegt und der deshalb von einem Strom der Stärke I durchflossen wird, wird in der Zeit Δt die elektrische Energie $\Delta E = U \cdot I \cdot \Delta t$ umgesetzt $\left(I = \dfrac{Q}{\Delta t}\right.$ → E 8_01)

Elektrische Leistung (1)

$P = U \cdot I$ $\left(P = \dfrac{\Delta E}{\Delta t}\right.$ → M 8_05)

Einheit der Leistung: 1 W ⇒ Energieeinheit: 1 kWh = $3{,}6 \cdot 10^6$ J = 3,6 MJ

Elektrische Energie, elektrische Leistung (2) E 8_07

Beispiel: Ein Wasserkocher hat die elektrische Leistung 2,4 kW, wenn er an 230 V angeschlossen wird.

a) Welchen elektrischen Widerstand hat der Wasserkocher?

b) Welchen Wirkungsgrad hat der Wasserkocher, wenn er 1,5 l Wasser innerhalb von 4,0 min von 14 °C auf 98 °C erwärmt?

a) $I = \dfrac{P}{U} = \dfrac{2{,}4 \cdot 10^3\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 10{,}43...\ \text{A}.$

Zwischenergebnisse werden nicht gerundet! In den Speicher des Taschenrechners!

$R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{230\ \text{V}}{10{,}43...\text{A}} = 22\ \Omega$

b) Aufgenommene Energie: $E_{auf} = P \cdot \Delta t = 2{,}4 \cdot 10^3\ \text{W} \cdot (4{,}0 \cdot 60\ \text{s}) = 5{,}76 \cdot 10^5\ \text{J}$

Genutzte Energie $E_{nutz} = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta = 4{,}19 \dfrac{10^3\ \text{J}}{\text{kg}\ °\text{C}} \cdot 1{,}5\ \text{kg} \cdot (98\ °\text{C} - 14\ °\text{C}) = 5{,}2794 \cdot 10^5\ \text{J}$

Wirkungsgrad $\eta = \dfrac{E_{nutz}}{E_{auf}} = \dfrac{5{,}2794 \cdot 10^5\ \text{J}}{5{,}76 \cdot 10^5\ \text{J}} = 0{,}92$