

Energie

Energie kann in **verschiedenen Formen** vorkommen. Eine Energieform kann in andere Energieformen **umgewandelt** werden.

Prinzip der Energieerhaltung: In einem abgeschlossenen System bleibt die **Summe** der Beträge aller Energieformen **konstant**.

Mechanische Energieformen

a) **Kinetische Energie** (Bewegungsenergie):

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

b) **Höhenenergie** (Lageenergie): Für die Änderung der Höhenenergie gilt: $\Delta E_h = m \cdot g \cdot \Delta h$

c) **Spannenergie:** $E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$

Einheit der Energie

$$[E] = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Nm („Newtonmeter“)} = 1 \text{ Ws („Wattsekunde“)}$$

Energieentwertung

Bei allen real ablaufenden Prozessen wird Energie in eine weniger nutzbare Form umgewandelt (letztlich in innere Energie), d.h. sie wird **entwertet**. Diese Vorgänge sind **irreversibel** (nicht umkehrbar); aus diesem Grund gibt es kein Perpetuum mobile.

Arbeit

Energie kann von einem System auf das andere übertragen werden, wenn längs eines Weges s eine Kraft F wirkt, z.B. beim Beschleunigen eines Fahrzeuges. Man sagt: „Es wird Arbeit verrichtet“, hier „Beschleunigungsarbeit“. Die Menge der dabei übertragenen Energie nennt man „Arbeit“ (W , engl. work). Es gilt: $W = F \cdot s$

Goldene Regel der Mechanik

Jede Verringerung des Kraftaufwandes mit Hilfe eines Kraftwandlers führt zu einer Verlängerung des Weges, der zurückgelegt werden muss (und umgekehrt).

Nenne verschiedene Energieformen. Nenne zu einem Beispiel aus deiner Umgebung, welche Energieformen ineinander umgewandelt werden.

Berechne!

Wie viel Bewegungsenergie hat ein 1,5 t schwerer PKW bei 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$?

Welche Höhenenergie gewinnt ein 80 kg schwerer Wanderer beim Erklimmen einer 1 000 m hohen Felswand?

Welche Spannenergie steckt in einem um 10 m gespannten Bungeeseil der Federhärte 200 $\frac{\text{N}}{\text{m}}$?

Welche Energieform ist für uns die wertvollste? Welche die mit dem geringsten Wert?

Nenne Beispiele, wo im Alltag durch das Verrichten von Arbeit Energie übertragen wird und beschreibe die dabei auftretende Kraft.

Beschreibe die goldene Regel der Mechanik an Hand der Beispiele Flaschenzug (Abb. rechts), Zange und Rampe für Einkaufswagen.

Ein Tauchsieder wandelt elektrische Energie in innere Energie um (Wasser wird heiß). Ein Benzinmotor wandelt die chemische Energie des Benzins zum Teil in Bewegungsenergie um.

Bei einem hin und her schwingenden Fadenpendel bleibt die Summe aus Lageenergie und Bewegungsenergie des Pendelkörpers zu jedem Zeitpunkt gleich groß.

E_{kin} : Ein Fahrradfahrer (Fahrer + Fahrrad wiegen 80 kg) hat bei einer Geschwindigkeit von 18 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ eine kinetische Energie von

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 80 \text{ kg} \cdot \left(\frac{18 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \right)^2 = 1000 \text{ J} = 1,0 \text{ kJ}.$$

ΔE_h : Wenn ein 60 kg schwerer Schüler im Schulhaus von einem Stock in den nächsten, 4 m höher liegenden geht, ändert er seine Höhenenergie um $\Delta E_h = 60 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 4 \text{ m} = 2400 \text{ J} = 2,4 \text{ kJ}$.

E_{spann} : Stützt sich ein 60 kg schwerer Radfahrer voll auf den Lenker, so wird die Federgabel um 4,0 cm gestaucht. Die Federgabel hat also eine Federkonstante von $D = \frac{600 \text{ N}}{4 \text{ cm}} = 150 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$

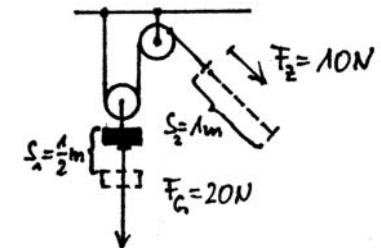
In der Federgabel ist dann die Spannenergie

$$E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} \cdot 150 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \cdot (4 \text{ cm})^2 = 1200 \text{ N} \cdot \text{cm} = 12 \text{ Nm} = 12 \text{ J} \text{ gespeichert.}$$

Das blockierende Hinterrad eines Fahrrades muss mit einer Kraft von 200 N über den Asphalt gezogen werden. Bremsst man so über 5,0 m hinweg („quietschendes Hinterrad“), so verrichtet man eine Reibungsarbeit von $W_{\text{reib}} = F_{\text{reib}} \cdot s = 200 \text{ N} \cdot 5,0 \text{ m} = 1000 \text{ Nm} = 1,0 \text{ kJ}$. Das Fahrrad verliert also 1,0 kJ an Bewegungsenergie und wird entsprechend langsamer.

Flaschenzug als Kraftwandler

Zieht man anstatt mit 20 N nur mit 10 N, wird der zurückzulegende Weg doppelt so lange; 1 m statt 0,5 m.



Leistung

Die **Leistung** P ist der Quotient aus übertragender Energie ΔE und der dafür benötigten Zeit Δt .

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad [P] = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ Watt} = 1 \text{ W}$$

Wirkungsgrad

Der **Wirkungsgrad** ist der Quotient aus genutzter Energie (bzw. Leistung) und aufgewandter Energie (bzw. Leistung).

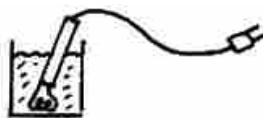
$$\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Aufwand}}} = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Aufwand}}} \quad \text{kurz: } \eta = \text{„Nutzen durch Aufwand“}$$

Da Energie immer entwertet wird, ist der Aufwand stets größer als der Nutzen und damit $\eta < 1$.

Erkläre den Unterschied zwischen Leistung und Energie.

Warum kann man für die Energie auch die Einheit „1 Wattsekunde, 1 Ws“ verwenden?

Welchen Wirkungsgrad hat ein Tauchsieder?



Wenn Fahrrad mit Fahrer (gesamt 80 kg) in 4,0 s von 0 auf $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ beschleunigen sollen, muss in 4,0 s die Bewegungsenergie von 1,0 kJ zugeführt werden (siehe Bsp. oben). Dazu ist mindestens eine Leistung von

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1,0 \text{ kJ}}{4,0 \text{ s}} = 250 \text{ W nötig.}$$

Von den 42 MJ, die in 1 Liter Benzin an chemischer Energie zur Verfügung stehen, können von einem durchschnittlichen benzinbetriebenen Auto nur etwa 11 MJ für die Bewegung genutzt werden. Der Rest geht letztendlich verloren bzw. führt zur Erwärmung der Umgebung. Der Wirkungsgrad des Autos beträgt daher nur

$$\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Aufwand}}} = \frac{11 \text{ MJ}}{42 \text{ MJ}} \approx 26 \% = 0,26.$$

Aggregatzustände im Teilchenmodell und innere Energie

Körper können sich in verschiedenen **Aggregatzuständen** befinden. Die Unterschiede zwischen den Aggregatzuständen lassen sich im **Teilchenmodell** beschreiben:

Feste Körper: Regelmäßige und feste Anordnung der Teilchen → feste Gestalt, festes Volumen

Flüssigkeiten: Unregelmäßige Anordnung der Teilchen. Sie sind gegeneinander verschiebbar. → keine feste Gestalt, festes Volumen

Gase: Abstände zwischen Teilchen sind groß, sie fliegen frei. → keine feste Gestalt, kein festes Volumen

Temperatur

Die mittlere kinetische Energie der Teilchen eines Körpers ist ein Maß für seine **Temperatur** und umgekehrt.

Zur Messung der Temperatur gibt es verschiedene Skalen:

Die **Celsius-Skala** verwendet als Fixpunkte die Temperatur von Eiswasser (0 °C) und siedendem Wasser (100 °C).

Bei der **absoluten Temperatur** mit der **Kelvin-Skala** (Einheit 1 Kelvin = 1 K) wird der **absolute Temperaturnullpunkt** (= -273 °C), an dem die Teilchen **keine** kinetische Energie mehr besitzen, mit 0 K bezeichnet. Die Kelvin-Skala hat daher keine negativen Temperaturwerte. Ein Temperatur**unterschied** von 1 K ist genauso groß wie der Unterschied von 1 °C.

Die **innere Energie** eines Körpers setzt sich aus der **potenziellen und kinetischen Energie seiner Teilchen** zusammen.

Nenne die drei Aggregatzustände von Wasser und beschreibe sie im Teilchenmodell.

Erkläre an Hand des „Muldenmodells“ (Abb. rechts), ...

- ... woraus sich die innere Energie eines Körpers zusammensetzt.
- ... was man unter der Temperatur versteht.
- ... wie man sich den absoluten Temperaturnullpunkt vorstellen kann.

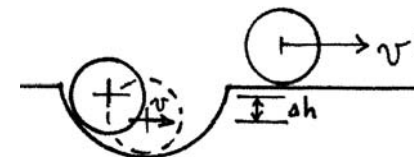
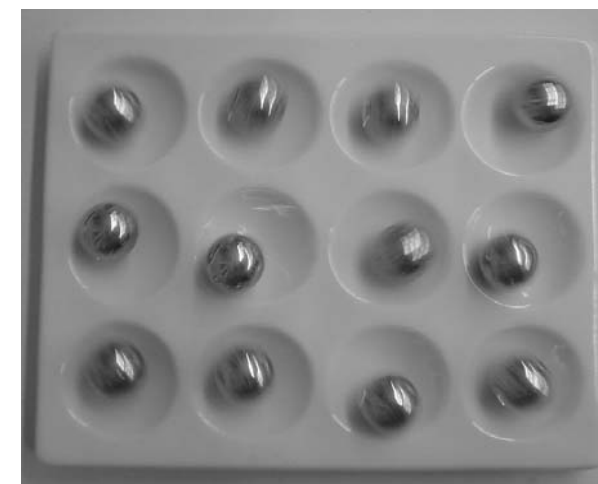
Modellvorstellung „Kugeln als Teilchen in Mulden“:

Die feste Anordnung der Teilchen im Festkörper kann durchbrochen werden, wenn die Teilchen schneller werden (Körper wird heißer) und aus dem Verband ausbrechen

(Übergang zur Flüssigkeit). Die Geschwindigkeiten und Bewegungsrichtungen der Teilchen sind dabei völlig unterschiedlich.

Die innere Energie des Körpers steigt mit der Temperatur. Gespeichert wird dieser Energiezuwachs durch eine höhere mittlere kinetische und potenzielle Energie der Teilchen. Im Modell:

Die Kugeln werden um Δh angehoben (symbolisch für E_{pot}) und haben bestimmte Geschwindigkeiten, v , v' etc. (E_{kin}), siehe Skizze.



Erster Hauptsatz der Wärmelehre

Die Änderung der inneren Energie eines Körpers setzt sich aus der am oder vom Körper verrichteten Arbeit und der zu- oder abgeführten Wärme zusammen.

Arbeit und Wärme beschreiben Energiemengen **nur während ihres Transports!**

Volumenänderung bei Energiezufuhr/-entzug

Feste, flüssige und gasförmige Körper dehnen sich üblicherweise aus, wenn man sie erwärmt. Sie ziehen sich wieder zusammen, wenn sie abkühlen. *Verschiedene Flüssigkeiten* dehnen sich dabei bei gleicher Temperaturerhöhung *unterschiedlich* stark aus. *Gase* haben dagegen immer *das gleiche* Ausdehnungsverhalten.

Anomalie des Wassers

Zwischen 0 und 4 °C zeigt Wasser eine Besonderheit: Kühlt man von 4 °C ausgehend ab, so dehnt es sich aus. Erwärmt man es von 4 °C ausgehend, so dehnt es sich ebenfalls aus. Folglich hat Wasser bei 4 °C seine größte Dichte. Dieses Phänomen bezeichnet man als **Anomalie des Wassers**.

Elektrische Ladung Q

Es gibt positive und negative elektrische Ladungen. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Die Einheit der Ladung Q heißt **1 Coulomb** = 1 C. Es gibt eine kleinste freie Ladung, die sogenannte **Elementarladung** ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C). Jedes Elektron trägt diese Ladung.

Elektrische Stromstärke I

Die in einem Leiter herrschende elektrische Stromstärke I ist „transportierte Ladung pro Zeit“, kurz $I = \frac{Q}{t}$. Gleichbedeutend damit ist $Q = I \cdot t$. Die Einheit von I ist 1 Ampere = 1 A. Die Einheit der Ladung Q ist dementsprechend 1 As = 1 C („Amperesekunde“, As).

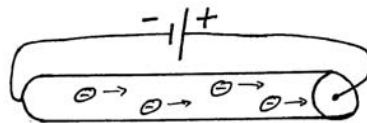
Elektrische Spannung U

Die Spannung U ist ein Kennzeichen einer elektrischen Quelle und die Ursache für jeden elektrischen Stromfluss. Die Einheit von U ist 1 Volt = 1 V. Spannungen über 20 V können lebensgefährlich sein! Entfernt man eine elektrische Ladung von einer anderen ungleichnamigen, so muss man längs eines Weges entgegen der elektrischen Anziehung eine Kraft aufwenden, es wird Arbeit verrichtet. Der Ladung wird dabei folglich Energie zugeführt, so genannte potenzielle Energie. **Die Spannung ist ein Maß für diese potenzielle Energie einer Ladung.**

Erkläre mit Hilfe des Teilchenmodells, warum sich ein Körper üblicherweise ausdehnt, wenn er erwärmt wird.

Erkläre, warum ein See im Winter „von oben nach unten“ gefriert und nicht „von unten nach oben“.

Wie viele Elektronen bilden zusammen die Ladungsmenge 1 C? (nenne nur die Zahl der Stellen dieser Anzahl)



Wie lange dauert es, bis bei einer Stromstärke von 1 A die Ladung 1 C an einer Stelle vorbeigeflossen ist?

Wie lange kann ein 2 800 mAh - Akku (theoretisch) einen Strom der Stärke 28 mA liefern?

Eine Bremsscheibe, an der Reibungsarbeit verrichtet wird, gewinnt innere Energie, sie wird heiß. Fasst man im Winter ein kaltes Stück Metall an, so wird es durch den Wärmestrom von unserer Hand in das Metall hinein wärmer. Seine innere Energie steigt an. Ein heißes Kuchenblech gibt z.B. über einen Wärmestrom an den Tisch innere Energie ab. Es kühlt sich ab.

Das Ausdehnen von Flüssigkeiten bei Erwärmung nutzt man z.B.



bei Flüssigkeitsthermometern. Die eingeschlossene Flüssigkeit dehnt sich aus und steigt in einem Röhren hoch (vgl. Abb. mit Fieberthermometer).

Da die Dichte von Wasser bei 4 °C am größten ist, sinkt Wasser von 4 °C sowohl in 1 °C kaltem Wasser als auch in 8 °C kaltem Wasser nach unten.

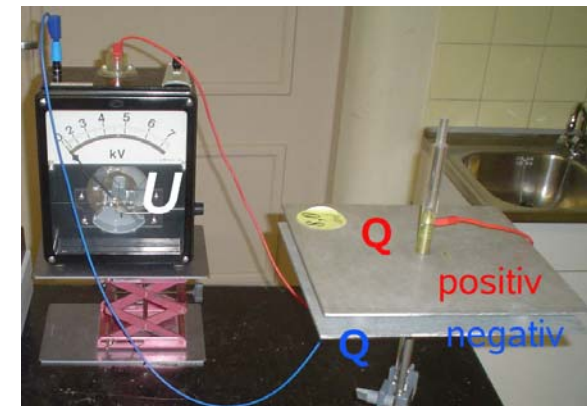
Bei ungeladenen Körpern „neutralisieren“ sich die in den Atomen vorhandenen negativen Ladungen der Elektronen in der Hülle und positiven Ladungen der Protonen im Atomkern.

Einfachstes Beispiel: Das Wasserstoffatom mit einem Elektron in der Hülle und einem Proton als Kern.

Die schwach gebundenen Elektronen der Atome eines Leiters können weitergegeben werden und stellen – wenn eine elektrische Spannung als Ursache vorhanden ist – den Stromfluss dar.

Ein Akku mit der Aufschrift 2 800 mAh („Milliamperestunden“) kann eine elektrische Ladung von 2,8 Ah = 2,8 A · 3 600 s ≈ 10 000 As freisetzen.

Entfernt man eine mit Q positiv geladene Metallplatte von einer negativ geladenen, so steigt die Spannung U zwischen den Platten an, da die Ladung potenzielle Energie gewinnt (siehe Foto des Exp.).



Elektrischer Widerstand R und Ohmsches Gesetz

Fließt durch einen Leiter bei einer Spannung U ein Strom der Stärke I , so hat der Leiter den Widerstand $R = \frac{U}{I}$. Die Einheit von R ist $1 \text{ Ohm} = 1 \Omega = 1 \text{ V/A}$. Der elektrische Widerstand ist bei den meisten Stoffen von der Temperatur abhängig. Bleibt der Widerstand eines Leiters mit steigender Spannung konstant, z.B. wenn ein metallischer Leiter dabei gekühlt wird, so sind U und I *proportional* zueinander. Diesen Zusammenhang bezeichnet man als **Ohmsches Gesetz** bzw. den Leiter dann als **ohmsch**:
 $R = \text{const.} \Leftrightarrow U/I = \text{const.} \Leftrightarrow U \sim I \Leftrightarrow$ Leiter ist ohmsch

U , I und R bei Parallel- und Reihenschaltung

a) Parallelschaltung

Spannung: An jedem Zweig liegt die gleiche Spannung U an.

Es gilt: $U = U_1 = U_2$.

Stromstärke: Der Gesamtstrom I teilt sich in die Teilströme I_1, I_2 der einzelnen Zweige auf. Es gilt: $I = I_1 + I_2$

Widerstand: Für den Gesamtwiderstand R (= Ersatzwiderstand) einer Parallelschaltung von zwei Widerständen R_1, R_2 gilt:

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

b) Reihenschaltung

Spannung: An den Widerständen R_1, R_2 misst man die Spannungen U_1 und U_2 . Für die Gesamtspannung $U = U_{\text{ges}}$ gilt:
 $U = U_1 + U_2$.

Stromstärke: An jeder Stelle des Stromkreises ist I gleich, d.h. $I = I_1 = I_2$.

Widerstand: Der Gesamtwiderstand $R = R_{\text{ges}}$ ist die Summe der Einzelwiderstände: $R = R_1 + R_2$.

Elektrische Energie E_{el}

Wird bei einer Spannung U die Ladung Q transportiert, so wird damit eine elektrische Energie E_{el} übertragen.

Es gilt: $E_{\text{el}} = U \cdot Q$ bzw. $E_{\text{el}} = U \cdot I \cdot t$. Die Einheit von E_{el} ist wie bei jeder Energieform $1 \text{ Joule} = 1 \text{ J}$. Es gilt zusätzlich: $1 \text{ J} = 1 \text{ VA}$.

Elektrische Leistung P_{el}

Die elektrische Leistung P_{el} ist der Quotient aus übertragener elektrischer Energie und Zeit:

$$P_{\text{el}} = \frac{E_{\text{el}}}{t} = U \cdot I$$

Die Einheit der elektrischen Leistung ist $1 \text{ Watt} = 1 \text{ W} = 1 \text{ VA}$.

Was versteht man unter dem Ohmschen Gesetz?

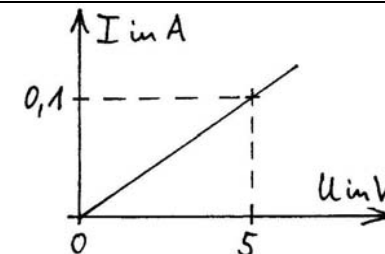
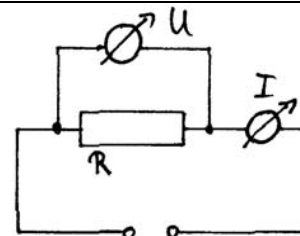
Ist eine Glühbirne ein ohmscher Leiter?

Welchen Gesamtwiderstand hat die Parallelschaltung aus zwei 50Ω -Widerständen? Begründe deine Antwort anschaulich.

Wie schaltet man ein Stromstärkemessinstrument in den Stromkreis, wie ein Spannungsmessinstrument?

Wie kann man sich mit den elektrischen Größen die Energieeinheit 1 Joule vorstellen?

Wie kann man sich mit den elektrischen Größen die Leistungseinheit 1 Watt vorstellen?

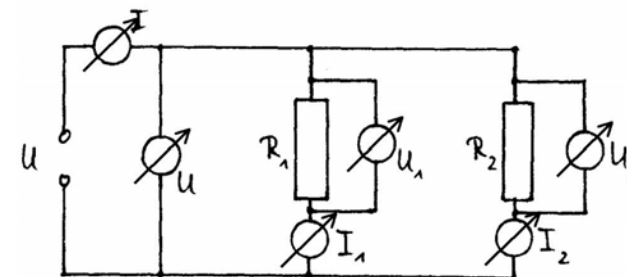


Schaltplan zur Messung der U - I -Kennlinie (links) und Kennlinie eines ohmschen Widerstands (rechts). Man kann seinen Wert direkt aus dem Diagramm berechnen: $R = \frac{U}{I} = \frac{5 \text{ V}}{0,1 \text{ A}} = 50 \Omega$.

Parallelschaltung zweier Widerstände

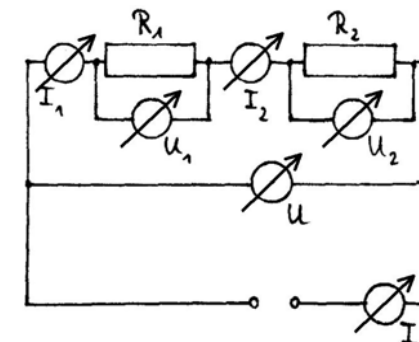
Für den einfachsten Fall, dass zwei gleiche Widerstände parallel geschaltet werden, also $R_1 = R_2$ ist, gilt:

$$R_{\text{ges}} = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2}$$



Reihenschaltung zweier Widerstände

Man sagt: „An R_1 und R_2 fallen die Spannungen U_1 und U_2 ab.“



Energieeinheit „Kilowattstunde“

1 kWh („Kilowattstunde“) ist eine größere Einheit für die elektrische Energie: $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ VA}$

Elektrische Leistung eines Föns

Ein Gerät, das mit der Netzspannung von 230 V betrieben wird und eine Stromstärke von $4,2 \text{ A}$ verursacht, hat eine Leistung von $P_{\text{el}} = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 4,2 \text{ A} = 1012 \text{ W} \approx 1,0 \text{ kW}$ („Kilowatt“)