

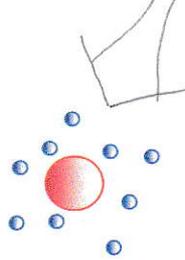
Die diesem Abschnitt lernst Du die wichtigsten Grundlagen des elektrischen Stromes auf mikroskopischer Ebene kennen.

3. Elektrische Energie

3.1 Elektrische Ladung und Stromstärke

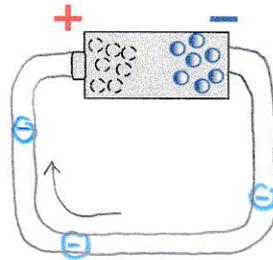
Basics: Atommodell und Ladungstransport

Materie ist aufgebaut aus kleinsten Teilchen, den Atomen.



Jedes Atom besteht aus einem positiven Atomkern und einer Hülle, in der sich die negativen Elektronen befinden.

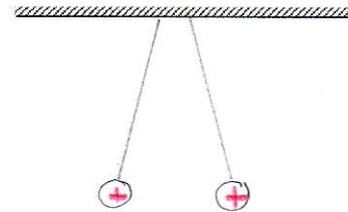
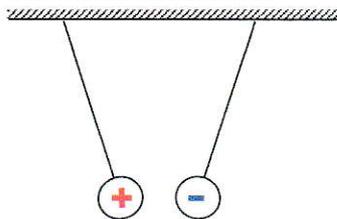
Diese Grundlagen kannst Du auch auf Leifiphysik nochmal nachlesen (mit Animation) unter: **Teilgebiet Elektrizitätslehre - einfache Stromkreise - atomare Vorstellungen der Elektrizität - Grundwissen**



In einer Batterie (Stromquelle) befindet sich am negativen Pol Elektronenüberschuss, am positiven Pol Elektronenmangel. Verbindet man beide Pole, dann wandern die Elektronen von - nach +.

Um den Begriff Ladung zu veranschaulichen, laden wir zwei nebeneinander hängende Christbaumkugeln auf. Erst mit ungleichnamigen Ladungen (+,-), dann mit gleichnamigen Ladungen (+,+). **Zeichne auch die gleichnamig geladenen Kugeln und formuliere eine Regel.**

Nachweis von Ladungen



Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an
gleichnamige Ladungen stoßen sich ab

Die Ladungsmenge (kurz Ladung) lässt sich auch als Messgröße erfassen (Messgeräte hierzu lernen wir aber erst in der Oberstufe kennen).

Berechne die Anzahl der Elementarladungen (Elektronen), die man braucht, um 1 C zu bekommen.

Ladungen als Vielfache der Elementarladung

Die Ladung Q ist eine physikalische Größe.

Ihre Einheit ist: 1 C (Coulomb)

Die Ladung eines einzelnen Elektrons beträgt nur $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

sie heißt Elementarladung e

Aufgabe:

$$n \cdot e = Q \rightarrow n = \frac{Q}{e} = \frac{1 \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \underline{\underline{6,25 \cdot 10^{18}}}$$

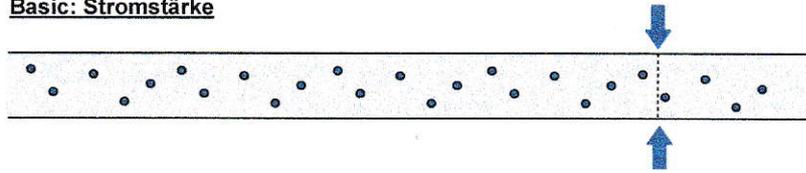
10^{18} bedeutet eine 1 mit 18 Nullen!

Strom bedeutet Bewegung von Elektronen. Der Begriff "Stromstärke" macht den Ladungstransport nun messbar. Wir messen, wie viele Ladungen pro Sekunde durch die Messstelle treten.

Animation auf Leifiphysik
Teilgebiet Elektrizitätslehre - Elektrische Grundgrößen - Ladung und Strom Einführung Grundwissen.

Umstellen der Gleichung liefert den Zusammenhang zwischen den Einheiten A und C.
 Daraus leiten sich dann die sehr geläufigen Einheiten Ah bzw. mAh für die Ladung ab.

Basic: Stromstärke



Definition: Stromstärke = $\frac{\text{transportierte Ladung}}{\text{benötigte Zeit}}$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Weitere Einheiten für die Ladung Q

$$\Delta Q = I \cdot \Delta t \rightarrow 1C = 1A \cdot s$$

$$1Ah = 3600 As = 3600 J$$

$$1mAh = \frac{1}{1000} Ah = 3,6 As = 3,6 J$$

Ein Akku mit der Ladungsmenge 4 Ah kann z.B.

1 h lang die Stromstärke $4A$ liefern oder
 4 h lang die Stromstärke $1A$ oder
 40 h lang die Stromstärke $0,1A$ $\rightarrow 0,1h \cdot 40A = 4Ah$

Training: Akkus von mobilen Devices

Petras Handy ermöglicht 100 h Standby-Betrieb. Auf dem Akku findet sie die Aufschrift 1,8 Ah.
 a) Berechne die Stromstärke im Standby!
 b) Petra findet auf der Website eines Elektronikmarktes eine günstige Powerbank mit 3000 mAh, die es sogar in hübschen Designfarben gibt. Berate sie hinsichtlich ihrer Kaufentscheidung.

a) $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{1,8 Ah}{100 h} = 0,018 A = \underline{\underline{18 mA}}$

b) Die voll aufgeladene Powerbank hat eine Ladungsmenge von $3000 mAh = 3,0 Ah$. Das reicht nicht mal, um das Handy zweimal komplett zu laden ($2 \cdot 1,8 Ah = 3,6 Ah$). Sie sollte besser eine Powerbank mit einer größeren Kapazität (= max. Ladungsmenge) nehmen, z.B. $10.000 mAh$.

c) $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \Delta t$
 $\Delta Q = I \cdot \Delta t = 2A \cdot 2,5h = \underline{\underline{5,0 Ah}}$

c) Klaus ermittelt, dass die Stromstärke beim Abspielen einer DVD auf seinem Laptop etwa 2 A beträgt. Wie "groß" muss der Akku für "Avatar" (2,5 h) sein?

- Selbst-Check:**
- Atommodell
 - Ladung
 - Stromstärke
 - Einheiten

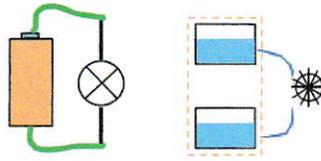
Übungsmöglichkeiten:

Auf Leifiphysik gibt's unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre - Elektrische Grundgrößen - Ladung und Strom Einführung - Aufgaben** einige Aufgaben zum Thema, sehr gut geeignet sind "Powerbank und Handyakku" sowie "Stirnlampe".

Ein instruktives Modell zum Stromkreis ist der Wasserkreislauf. Der Lampe entspricht dort ein Wasserrad, weil es den Wasserfluss deutlich macht, der Batterie entsprechen zwei Becken in unterschiedlicher Höhe. Der hier notierte Vergleich ist physikalisch nicht sauber (siehe Folie 3), dafür aber sehr anschaulich.

3.2 Spannung und Potentialdifferenz

Modellvorstellung: Wasserkreislauf



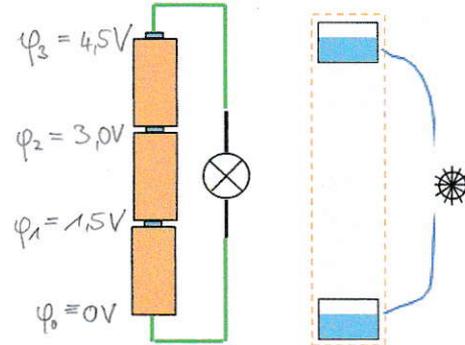
Vergleich: Dem Höhenunterschied Δh der Becken entspricht bei der Batterie

die Spannung U
Der Höhenposition h entspricht das Potential φ

Vereinbarung:

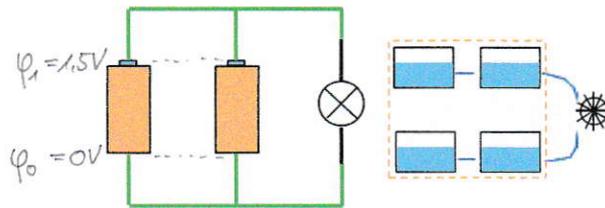
Für das Potential am Minuspol der ersten Batterie wird typischerweise 0 V gewählt.

Reihenschaltung von Batterien



Durch Reihenschaltung addieren sich die Spannungen. Das führt zu einem höheren Potential, entsprechend einem größeren Höhenunterschied.

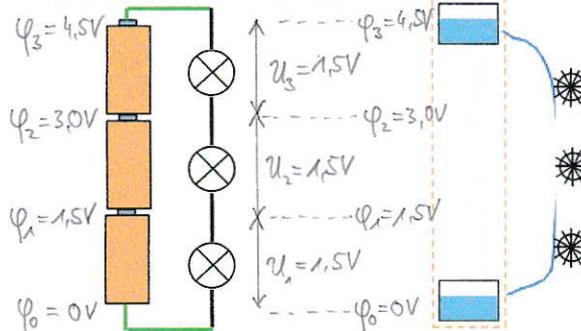
Parallelschaltung von Batterien



Bei Parallelschaltung ändert sich die Spannung nicht. Das entspricht einer gleich bleibenden Höhe. Allerdings vergrößert sich der Vorrat.

Bereits in der 8. Klasse haben wir untersucht, welche Spannungen sich an Lämpchen messen lassen, wenn wir mehrere davon in Reihe bzw. parallel schalten. Auch hier lässt sich das Modell vom Wasserkreislauf wieder instruktiv verwenden.

Reihenschaltung von Lämpchen

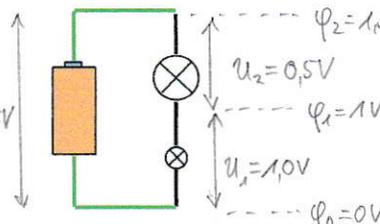


Hier verteilt sich die gesamte Potentialdifferenz $\Delta\varphi$ auf die Lämpchen. Die Potentiale φ zwischen den Lämpchen ergeben sich daraus entsprechend.

Beachte:

Es müssen nicht immer genauso viele Lämpchen wie Batterien angeschlossen sein. Verwendet man verschiedene Lämpchen, so ist die Verteilung der Spannung auf diese auch unterschiedlich (siehe 8. Klasse).

Potentialdifferenz $\Delta\varphi = \text{Spannung } U$

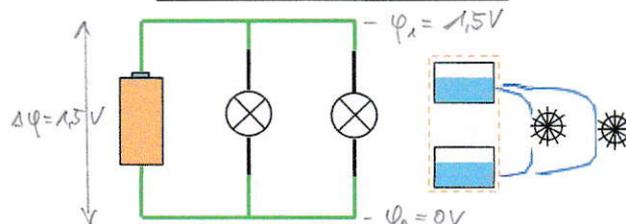


Auch hier ergibt die Summe aller Teilspannungen wieder die gesamte Spannung (= Potentialdifferenz).

An kleineren Lämpchen (= großer Widerstand)

fällt meist mehr Spannung ab.

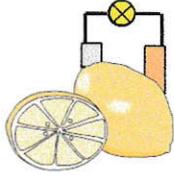
Parallelschaltung von Lämpchen



Bei Parallelschaltung bekommt jedes Lämpchen

gleich viel Spannung.

Von Alessandro Volta (1800) erfunden ist die Batterie aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. Als aufladbarer Akku sind die kleinen Energiespender in jedem Smartphone und Laptop verbaut. Bei der Erklärung schlagen wir die Brücke zur Chemie. Eine witzige Anwendung ist hier die Zitronen-Batterie.



Beim Vergleich mit der Formel für die potentielle Energie im Schwerfeld $E_{pot} = m \cdot g \cdot \Delta h$ erkennt man, dass die Ladung der Masse entspricht und die Potentialdifferenz dem Produkt $g \cdot \Delta h$ (also nicht allein der Höhendifferenz). Berechne die potentielle Energie eines Elektrons in der Kupfer-Zink-Batterie.

Spannung in einer Batterie

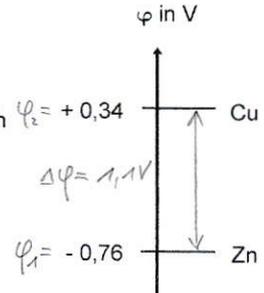
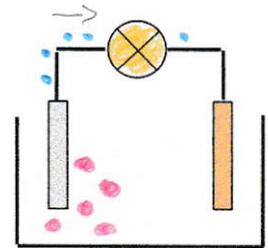
Verbindet man z.B. eine Zink-Elektrode über ein leitfähiges Medium (Säure) mit einer Kupfer-Elektrode, so gehen aus der Zink-Elektrode

positive Ionen in Lösung, die Zink-Elektrode lädt sich dadurch negativ auf. Es entsteht ein negatives Potential.

Die Potentialdifferenz zwischen Zink- und Kupfer-Elektrode ermöglicht es den Elektronen, vom Zink über die Leitung zum Kupfer zu wandern.

In der elektrochemischen Spannungstabelle finden sich die (Redox-)Potentiale der beteiligten Elemente, aus denen sich die Potentialdifferenz (Spannung) der Batterie berechnen lässt.

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 0,34\text{V} - (-0,76\text{V}) = 1,1\text{V}$$



Potentielle Energie der Ladungen

Die Energie einer Ladung Q bezogen auf eine Potentialdifferenz $\Delta\varphi$ lässt sich berechnen mit der Formel

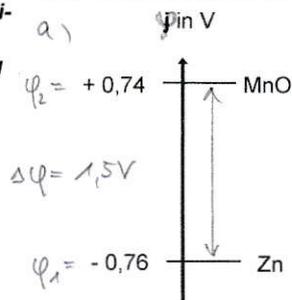
$$E_{pot} = Q \cdot \Delta\varphi \quad \text{bzw.} \quad E_{pot} = Q \cdot U$$

$$E_{pot} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{As} \cdot 1,1\text{V} = 1,76 \cdot 10^{-19} \text{J}$$

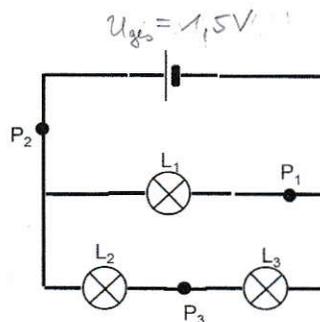
$$1 \text{VAs} = 1 \text{Ws} = 1 \text{J}$$

- a) Die linke Abbildung enthält die Potentiale, die in üblichen Alkali-Mangan-Batterien auftreten. Bestimme daraus die Spannung einer herkömmlichen Batterie.
 b) Eine solche Batterie ist im Schaltkreis rechts an drei identische Lämpchen angeschlossen. Gib die Spannungen U_1 , U_2 und U_3 (=Potentialdifferenzen) an den drei Lämpchen an sowie die Potentiale an den drei Punkten P_1 , P_2 und P_3 .
 c) Auf der Batterie ist die Ladungsmenge 2000 mAh angegeben. Berechne die gespeicherte Energie in Wh sowie in J.

Training: Potentialdifferenzen berechnen



$$\Delta\varphi = 0,74\text{V} - (-0,76\text{V}) = 1,5\text{V}$$



- b)
- $U_1 = 1,5\text{V}$
 - $U_2 = 0,75\text{V}$
 - $U_3 = 0,75\text{V}$
 - $\varphi_1 = 0\text{V}$
 - $\varphi_2 = 1,5\text{V}$
 - $\varphi_3 = 0,75\text{V}$

c) $E_{pot} = Q \cdot U$

$$= 2 \text{Ah} \cdot 1,5\text{V} = 3,0 \text{VAh} = 3,0 \text{Wh}$$

$$E_{pot} = 2 \cdot 3600 \text{As} \cdot 1,5\text{V} = 10800 \text{Ws} = 10800 \text{J} = 10,8 \text{kJ}$$

Selbst-Check:

- Wasserstrommodell
- Potentialdifferenz
- Reihen- und Parallelschaltung
- Batterien
- potentielle Energie

Übungsmöglichkeiten:

Passende Aufgaben auf Leifiphysik sind "Energieinhalt eines Akkus" unter Teilgebiet Elektrizitätslehre - Elektrische Arbeit und Leistung Aufgaben sowie das "Quiz zum Schalten von Batterien" unter Teilgebiet Elektrizitätslehre - Elektrische Grundgrößen - Elektrische Spannung Aufgaben.

Den Begriff Leistung haben wir zu Beginn des Jahres eingeführt und dann in der Mechanik und der Wärmelehre angewendet. In der Elektrik funktioniert's genauso. **Gib Definition und Einheit von Leistung an. Beschreibe die Bedeutung dieser Größe in Worten.**

3.3 Elektrische Leistung

Wiederholung aus der Mechanik:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$$

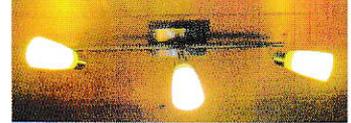
$$[P] = 1W = 1 \frac{J}{s}$$

Im Baumarkt gibt es oft Serien von Lampen, die sich nur in der Anzahl der Leuchtmittel (Birnen, LEDs) unterscheiden.

Max überlegt, ob er eine 1-, 2-, 3- oder 4-strahlige Lampe für sein Esszimmer kaufen soll. Alle enthalten 6 W - LED-Strahler. Berate ihn hinsichtlich der Leistung.

Kombination von mehreren Lampen:

- 1-strahlig: $P = 6W$
- 2-strahlig: $P = 12W$
- 3-strahlig: $P = 18W$
- 4-strahlig: $P = 24W$

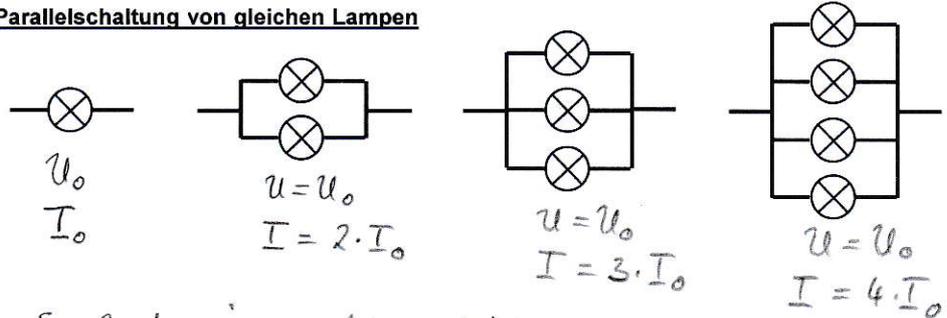


Setzt man mehrere Lampen (oder andere Verbraucher) gleichzeitig ein, so

addieren sich deren Leistungen

In vielstrahligen Lampen sind die einzelnen Birnen oder LEDs typischerweise parallel geschaltet. **Vergleiche Spannung und Stromstärke dieser Lampen mit einer 1-strahligen. Welcher Zusammenhang ergibt sich zur Leistung? Welche Spannung muss Fritz anlegen, damit die Lampen hell leuchten?**

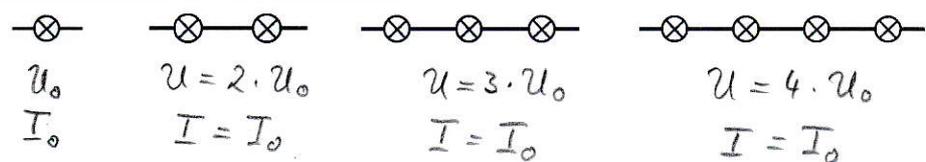
Parallelschaltung von gleichen Lampen



*Es legt immer die gleiche Spannung an. $P \sim I$
 Die Leistung ist proportional zur Stromstärke.*

Bei Lichterketten sind die Leuchtmittel oft in Serie geschaltet. **Stelle eine entsprechende Überlegung wie zuvor an.**

Serienschaltung von gleichen Lampen



*Es fließt immer der gleiche Strom.
 Die Leistung ist proportional zur Spannung.*

Hat man mehrere proportionale Abhängigkeiten zu einer Größe gefunden, so lassen sich diese mathematisch zusammenfassen.

Zusammenfassung der Überlegungen

$$\left. \begin{array}{l} P \sim I \\ P \sim U \end{array} \right\} \rightarrow P \sim U \cdot I \rightarrow P = \text{konst} \cdot U \cdot I$$

Die Physiker haben die Definition der Einheiten so vorgenommen, dass die hierbei auftretende Konstante gerade den Wert 1 hat.

$$\text{konst} = 1 \rightarrow \boxed{P = U \cdot I}$$

$$[P] = 1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$$

Die Einheit Watt die hier auftritt ist identisch mit der Einheit Watt in Mechanik oder Wärmelehre.

Aufgabe:

$$P = U \cdot I \quad | : U$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{50 \text{ W}}{12 \text{ V}} = \underline{\underline{4,2 \text{ A}}}$$

Beispielaufgabe:
Berechne die Stromstärke bei einem 12 V / 50 W – Halogenstrahler.

Bei Halogenstrahlern ist die "Lichtausbeute" relativ schlecht, nur etwa 20% der elektrisch umgesetzten Leistung stehen als Lichtleistung zur Verfügung. Man beschreibt dies mit dem Begriff Wirkungsgrad.

Berechne die Lichtleistung für die Beispielaufgabe.

Wirkungsgrad

$$\boxed{\eta = \frac{P_{\text{nutz}}}{P_{\text{auf}}}}$$

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{genutzte Leistung}}{\text{aufgewendete Leistung}}$$

$$\rightarrow P_{\text{nutz}} = \eta \cdot P_{\text{auf}} = 20\% \cdot 50 \text{ W} = \frac{20}{100} \cdot 50 \text{ W} = \underline{\underline{10 \text{ W}}}$$

Eine Schülergruppe plant einen Crepes-Verkauf in der Pause. Um den Ansturm zu bewältigen, möchten sie mehrere Heizplatten über eine Vielfachsteckdose an einem Stromanschluss betreiben.

a) Leitungen im Gebäude sind meist mit 16 A abgesichert.

Berechne die maximal mögliche Leistung am Stromanschluss.

b) Handelsübliche Crepes-Maker haben eine Leistung von 700 W bis 1200 W. Berate die Gruppe!

Anwendung: Crepes-Verkauf in der Pause

$$\text{a) } P = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 3680 \text{ W} = \underline{\underline{3,7 \text{ kW}}}$$

b) Am besten, sie schauen auf die Typschilder der Geräte nach den Leistungen. Deren Summe darf 3680 W nicht überschreiten (besser weniger).

3 Geräte sollten sicher gehen, bei kleineren Geräten bis zu 5 Stück

Selbst-Check:

- mehrere Verbraucher
- Parallel und Serienschaltung
- elektrische Leistung (Formel, Einheit, Rechnen)
- Wirkungsgrad

Übungsmöglichkeiten:

Auf Leifiphysik gibt's unter Teilgebiet Elektrizitätslehre - Elektrische Arbeit und Leistung - Elektrische Arbeit und Leistung Aufgaben die Aufgabe "Leistung bei der Parallelschaltung von Schaltern und Lampen", mit der Du auch die Formeln für die Schaltungen wiederholen kannst. Die Musterlösung ist etwas kompliziert dargestellt, für den Vergleich der Rechenergebnisse ist sie aber gut geeignet.

Angela möchte in ihrem Haus Energie sparen. Sie ersetzt die drei Halogenstrahler (je 50 W) durch gleich helle LED-Strahler (je 7 W). **Berechne die Menge an elektrischer Energie, die sie damit pro Jahr sparen kann. Schätze hierzu die jährliche Betriebsdauer sinnvoll ab. Welche Kosteneinsparung bringt die Investition pro Jahr (1 kWh kostet 0,25 €).**

3.4 Energie

Bsp: Energiesparende Beleuchtung



Ein-Schaltdauer pro Jahr:
 z.B. $365 \cdot 3 \text{ h} = 1095 \text{ h}$
 ↑ kommt auf die Nutzung an
 Halogen: $150 \text{ W} \cdot 1095 \text{ h} = 164 \text{ kWh}$
 LED: $21 \text{ W} \cdot 1095 \text{ h} = 23 \text{ kWh}$
 Einsparung: $141 \text{ kWh} \cdot 0,25 \text{ €} = 35,25 \text{ €}$

Auf elektrischen Geräten ist fast immer die Leistung angegeben, so dass man mit der Formel eine Verbrauchs- und Kostenabschätzung durchführen kann.

Formel und Einheit:

Ebenso wie bei anderen Energieformen gilt für den Zusammenhang zwischen elektrischer Leistung und Energie die Formel:

$$E = P \cdot t$$

In Technik und Alltag verwendet man statt der Einheit 1 J häufig die Einheit

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \text{ MJ}$$

Beachte: $3.600.000 \text{ Ws} = 3,6 \text{ MJ}$

Gerade bei älteren Leuchtmitteln ist die Leistungsangabe oft nicht mehr erkennbar. **Wie kann Peter herausfinden, wie viel Energie die alte Glühbirne benötigt? Zeichne ein passendes Schaltbild und werte den Versuch aus.**

Anmerkung:

Heute gibt es für kleines Geld einfach zu bedienende Energiekostenmessgeräte, die einfach zwischen Steckdose und Gerät gesteckt werden.

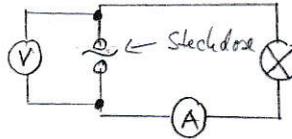
Schätze wieder die Jahresstromkosten ab.

Leistungsbestimmung:

$$U = 230 \text{ V}$$

$$I = \dots \text{ A}$$

$$P = U \cdot I = \dots \text{ W}$$



Achtung: keine eigenen Experimente an Steckdosen, Lebensgefahr!

$$E = P \cdot t = \dots \text{ W} \cdot 1000 \text{ h} =$$

$$\dots \cdot 0,25 \text{ €} = \dots \text{ €}$$

(Werte hängen von der untersuchten Lampe ab.)

Mittlerweile gibt es höchst effiziente Elektromobile, die in der Regel leichter sind als ihr Fahrer. Der Sunrider besitzt eine Moped-Zulassung mit einer zugelassenen Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h. Fahrdynamische Berechnungen liefern einen *mechanischen* Leistungsbedarf von 480 W, um diese Geschwindigkeit zu halten. Der Wirkungsgrad des Elektroantriebs liegt bei 80%.

Anwendung: Elektromobilität



Bild von sunrider-cycles

$$\eta = \frac{P_{\text{nutz}}}{P_{\text{auf}}} \quad | \cdot P_{\text{auf}} | : \eta$$

$$P_{\text{auf}} = \frac{P_{\text{nutz}}}{\eta} = \frac{480 \text{ W}}{0,8} = \underline{\underline{600 \text{ W}}} \quad (\text{elektrisch})$$

Schätze ab, welche Kapazität (in Ah) der 48 V-Lithiumakku haben muss, damit man 90 km weit fahren kann. Diskutiere das Rechenmodell.

90 km mit 45 km/h
→ 2 h Fahrzeit

$$E = P \cdot t = 600 \text{ W} \cdot 2 \text{ h} = 1200 \text{ Wh} = 1,2 \text{ kWh}$$

$$\frac{1200 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = \underline{\underline{25 \text{ Ah}}} \quad \text{Vgl. E-Bike: ca. 10 Ah}$$

600 W braucht man nur zum Beschleunigen
→ weniger Energiebedarf
Steigung, Stop and Go → mehr Energiebedarf

Die Baugröße Mignon (AA) ist typisch bei Batterien für Kleingeräte. Die Spannung der Batterien beträgt jeweils 1,5 V, Panasonic gibt für seine Zelle eine Ladungsmenge von 3100 mAh an.

Anwendung: Elektrische Energie aus Batterien

Abb. aus wikipedia



$$\begin{aligned} a) \quad E &= U \cdot Q = 1,5 \text{ V} \cdot 3,1 \text{ Ah} = 4,65 \text{ Ah} \\ &= 4,65 \text{ Wh} = \underline{\underline{0,00465 \text{ kWh}}} \end{aligned}$$

$$\frac{0,35 \text{ €}}{0,00465 \text{ kWh}} = \underline{\underline{75 \text{ €/kWh}}}$$

Das ist viel teurer als der Strom aus der Steckdose (ca. 0,30 €/kWh).

$$b) \quad 23 \text{ kWh} \cdot 75 \text{ €/kWh} = \underline{\underline{1725 \text{ €}}}$$

Das wäre mehr als die Jahresrechnung für's ganze Haus.

c) Für Kleingeräte mit Batteriebetrieb macht der Einsatz von Akkus Sinn, da man sie immer wieder mit dem günstigen Strom aus der Steckdose aufladen kann und außerdem weniger Müll entsteht. Bei Geräten, die jahrelang mit demselben Batteriesatz laufen (z.B. Fernbedienung, Wecker) lohnt sich der Akku meist nicht.

Übungsmöglichkeiten:

Selbst-Check:

- elektrische Energie
- Energiekosten pro Jahr
- Energiebedarf bei Fahrzeugen
- Energieinhalt einer Batterie

Eine Menge von passenden Aufgaben gibt es auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre - Elektrische Arbeit und Leistung - Elektrische Arbeit und Leistung Aufgaben**. Gut geeignet sind z.B. „Kostensparnis durch Energiesparlampen“ oder „Energiekosten einer Batterie“.

Berechne die Menge an elektrischer Energie, die im Akku eines Elektrofahrrads gespeichert ist (typisch 36 V / 10 Ah) in kWh und MJ. Erkundige Dich, wie weit man damit fahren kann. Vergleiche mit dem Energieinhalt von flüssigem Treibstoff (etwa 10 kWh / l).

3.5 Energie - Anwendungen

Bsp: Elektrofahrrad

$$E = 36V \cdot 10Ah = 360 VAh = 360 Wh = 0,36 kWh$$

$$360 Wh = 360 \cdot 3600s = 1.296.000 \underset{J}{Ws} = 1,3 MJ$$

$$\frac{0,36 kWh}{10 kWh/l} = 0,036 l = \underline{\underline{36ml}}$$

Das derzeit wohl bekannteste Elektroauto ist der Roadster von Tesla-Motors, seine Motorleistung von 220 kW sorgt immer wieder für Aufsehen. Berechne die Zeitdauer, für die man diese Leistung abrufen könnte, wenn man nur die Energie des Fahrradakkus zur Verfügung hätte.

Vergleich mit Elektroauto:

$$P = \frac{E}{t} \quad | \cdot t$$

$$P \cdot t = E \quad | : P$$

$$t = \frac{E}{P} = \frac{0,36 kWh}{220 kW} = 1,6 \cdot 10^{-3} h = \underline{\underline{5,9s}}$$



Bild aus wikipedia.de

Während dieses Zeitraumes beschleunigt der Roadster von 0 auf 100 km/h. Er hat natürlich deutlich größere Akkus an Bord. Bei der aktuellen Version beträgt der Energieinhalt 70 kWh.

→ 200 mal so viel wie ein Elektrofahrrad

2014 testete die Zeitschrift "Auto, Motor, Sport" elektrisch angetriebene Serienfahrzeuge.

E-Golf von VW und i3 von BMW erreichten dabei einen Verbrauch von etwa 16 kWh/100 km und schnitten damit gut ab.

a) Berechne die "Tankkosten" pro 100 km und vergleiche mit Verbrennern (Diesel ca.

4,5 l/100 km bei 1,20 € / l).

b) Vergleiche die elektrische Energie mit flüssigen Treibstoffen (etwa 10 kWh / l).

c) Für die Erzeugung von 1 kWh elektrischer Energie wird im Mittel 560 g CO₂ freigesetzt, die Verbrennung von 1 l Diesel führt zu 2,6 kg CO₂. Vergleiche!

Vergleich Verbrennungsmotoren und Elektromobilität:

Zu Beginn der Mobilisierung wurden Autos gleichermaßen mit Elektro- oder Verbrennungsmotoren ausgestattet. Um 1900 waren in New York mehr Elektroautos zugelassen als solche mit Verbrennungsmotor und die 100 km/h - Grenze wurde zum ersten Mal durch ein elektrisch betriebenes Auto geknackt. Erst die gute Verfügbarkeit von Benzin durch den Ausbau von Ölförderung und -raffinierung im 20. Jahrhundert verhalf dem Verbrennungsmotor zu einem erstaunliche Siegeszug.



Bild aus wikipedia.de

^{Kosten}
a) pro 100 km :

$$\text{Elektro: } 16 kWh \cdot \frac{0,25€}{kWh} = \underline{\underline{4,0€}}$$

$$\text{Diesel: } 4,5 l \cdot \frac{1,2€}{l} = \underline{\underline{5,40€}}$$

^{Energie}
b) pro 100 km :

$$\text{Diesel: } 4,5 l \cdot \frac{10 kWh}{l} = \underline{\underline{45 kWh}}$$

$$\text{Elektro: } \underline{\underline{16 kWh}}$$

c) CO₂ pro 100 km

$$\text{Elektro: } 16 kWh \cdot \frac{0,560 kg}{kWh} = \underline{\underline{9,0 kg}}$$

$$\text{Diesel: } 4,5 l \cdot \frac{2,6 kg}{l} = \underline{\underline{11,7 kg}}$$

Als einen Bestandteil der Energiewende sieht die Bundesregierung den Ausbau der Elektromobilität, der allerdings nur langsam vorankommt. Vom Ziel (1 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2020) ist man noch weit entfernt, 2015 waren nur 25.000 E-Autos zugelassen. Tatsächlich ist die Elektromobilität ein sehr komplexes Thema, wie die Betrachtung der Rechenergebnisse aus der vorigen Aufgabe aus energetischer Sicht zeigt.

Chancen und Grenzen der Elektromobilität:

Der sehr geringe Bedarf von Energie im Elektroauto ist begründet in der

..... hohen Effizienz des Elektromotors.

Während dieser die elektrische Energie mit einem Wirkungsgrad von über 90% in Bewegungsenergie umwandelt, kommt ein Verbrennungsmotor gerade etwa 30%

Das entscheidende Kriterium für die Sinnhaftigkeit des Elektroantriebs ist aber die Art der ^{SEB}

..... Erzeugung der elektrischen Energie. Erfolgt diese noch im Wesentlichen durch

..... Verbrennung fossiler Energieträger, so wird die ineffiziente Umwandlung

von thermischer Energie in mechanische Energie lediglich vom Fahrzeug ins

..... Kraftwerk verlagert, der CO₂-Ausstoß sinkt dadurch kaum

Energiepolitisch sinnvoll wird die Elektromobilität erst bei einem hohen Anteil von

..... regenerativen Energien, für die eine umfangreiche Elektromobil-Flotte

durch die zahlreichen Fahrzeugakkus eine große Speicherkapazität bereitstellt,

was sich günstig auf die Sicherheit für die Versorgung mit Strom auswirkt.

- a) Berechne die innerhalb eines Jahres "verlorene" Energie, wenn der Fernseher pro Tag 3 h lang läuft und ansonsten im Standby-Modus (P = 20 W) ist. Wieviel kostet das pro Jahr?
- b) Rechne das Beispiel auf ganz Deutschland hoch 40 Mio. Haushalte) und vergleiche mit einem Kohlekraftwerk (700 MW).
- c) Erkundige Dich nach den Standby-Leistungen neuer Geräte und finde zu Hause sogenannte "Stromfresser".

Standby-Verbrauch

Damit Elektrogeräte (Fernseher, etc.) bei Bedarf schneller betriebsbereit sind, werden sie meist nicht mehr vollständig abgeschaltet sondern in eine Art Schlafzustand (Standby) versetzt. Bei alten Geräten kann die Leistung in diesem Zustand beträchtlich sein, heute gibt es gesetzliche Normen.

a) $E = P \cdot t = 20 \text{ W} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 = 153 \text{ kWh}$

$153 \text{ kWh} \cdot 0,25 \text{ €/kWh} = 38 \text{ €}$

b) $E_{\text{ges}} = 153 \text{ kWh} \cdot 40 \text{ Mio} = 6,1 \text{ Mrd kWh}$ gleich ↙

$E_{\text{kraftw}} = 700.000 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 = 6,1 \text{ Mrd kWh}$ ↘

c) v.a. Steckernetzteile zum Laden und zur Versorgung von Kleingeräten

Selbst-Check:

- MJ und kWh
- Strom- und Spritkosten
- CO₂-Ausstoß
- Standby-Verbrauch

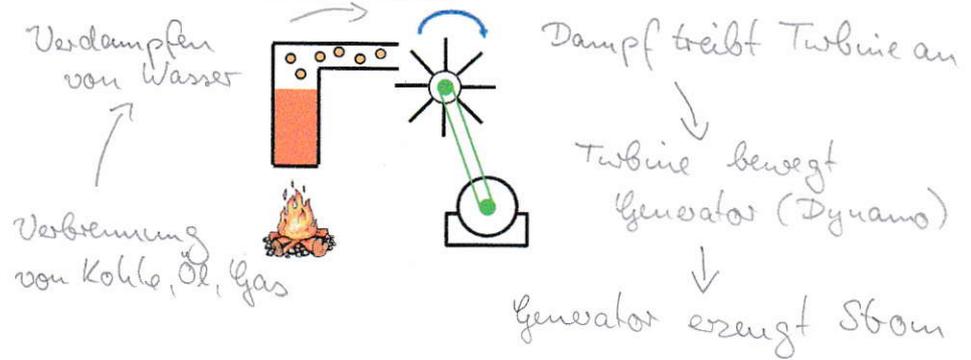
Übungsmöglichkeiten:

Passende Aufgaben zu diesem Thema findest Du so wie für das letzte Kapitel auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre - Elektrische Arbeit und Leistung - Elektrische Arbeit und Leistung Aufgaben**. Gut geeignet sind z.B. Münchner U-Bahn und Standby-Betrieb von Fernsehgeräten.

Die größte Teil der elektrischen Energie wird in Deutschland immer noch in Wärmekraftwerken erzeugt. Die Graphik zeigt deren Grundprinzip.

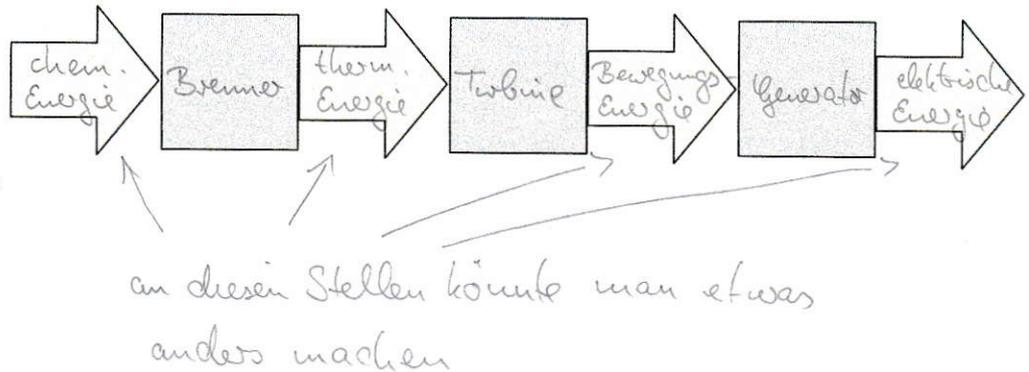
3.6 Grundlagen der elektrischen Energieversorgung

Aktueller Standard: Thermische Kraftwerke



Benenne die wesentlichen Elemente. Welche Energieträger werden genutzt, um die Wärme zu erzeugen? Zeichne ein Energieumwandlungsdiagramm.

Da alle diese Energieträger nur begrenzt verfügbar sind, ist eine dauerhafte Versorgung der Menschheit so nicht möglich. **An welchen Stellen kann man ansetzen, um das bisherige Verfahren zu verändern?**



Ein technisch naheliegender Ansatz beim Übergang zu einer dauerhaften Energieversorgung (Energiewende) ist die Idee, die thermische Energie auf anderem Wege bereitzustellen und den Rest der bewährten Kraftwerkstechnik weiter zu nutzen.

Ansatzpunkte: Chemische und thermische Energie

erneuerbare Brennstoffe



Holz, Pellets, Hackschnittel



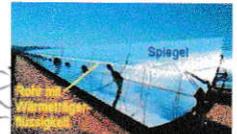
Öl aus Raps oder anderen Pflanzen



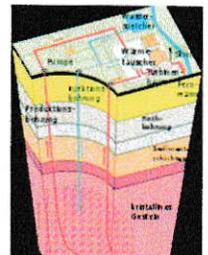
Methangas aus Pflanzengärung

erneuerbare Wärmequellen

direkte Nutzung der Solareinstrahlung (wie Parabolrinnenkraftwerk)



Verwendung der Wärme aus dem Erdinneren (Geothermie)



Bilder aus leifphysik.de und wikipedia.de

Mais ist eine schnellwachsende Pflanze für den Biomasseanbau. Die Erntemenge beträgt etwa 60 t / ha. Aus 1 t Mais erhält man ca. 100 m³ Methangas mit einem Heizwert von 10 kWh / m³.

Berechne die elektrische Energie, die man pro ha bei 50 % Wirkungsgrad erzielt. Welche Anbaufläche wäre für den deutschlandweiten Strombedarf nötig?

$$60 \frac{t}{ha} \cdot 100 \frac{m^3}{t} \cdot 10 \frac{kWh}{m^3} \cdot 0,5 = 30.000 \frac{kWh}{ha}$$

→ Versorgung von ca. 8 Haushalten aus 1 ha Maisfeld

Jahresbedarf in Deutschland: 646 TWh (siehe Kap 1.1)

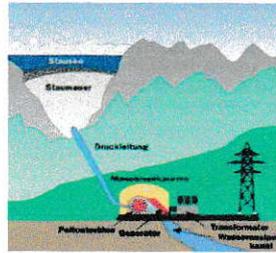
$$\frac{646 TWh}{30 \frac{kWh}{ha}} = \frac{646 Mio MWh}{30 \frac{kWh}{ha}} = 215 Mio ha = 215.000 km^2$$

Vgl: Gesamtfläche Deutschland 357.168 km²

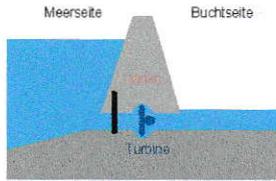
Man kann auch die Wärme komplett überspringen und sofort aus Bewegungen elektrische Energie erzeugen. Die Graphiken zeigen einige Möglichkeiten dafür, die übrigens auch historisch gesehen außerordentlich bedeutsam sind.
Beschreibe kurz die prinzipielle Funktionsweise. Findest Du Beispiele für diese Technologien in Deiner Umgebung?
 Weitere Informationen findest Du z.B. auf Leifiphysik unter dem Suchbegriff "regenerative Energieversorgung".

Ansatzpunkt: Bewegungsenergie

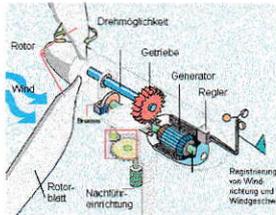
Graphiken aus leifiphysik.de bzw. VPE



Höhenenergie des Wassers → Bewegungsenergie
 → treibt Turbine an → treibt Generator an
 → erzeugt Strom (z.B. Bärensee, Bachtelsee, Förggensee), Eingriff in die Natur



Bei Gezeitenkraftwerken nutzt man die Bewegung des Wassers bei Ebbe und Flut (ganzjährig verlässlich). Starker Eingriff in die Natur.



Wind dreht Rotor → Bewegung treibt Generator an → erzeugt Strom
 (Problem: wechselndes Windangebot), relativ kostengünstig, Eingriff in die Natur

Finde Vor- und Nachteile, die die hier aufgeführten Kraftwerke haben. Informiere Dich über den Zweck von Pumpspeicherkraftwerken.

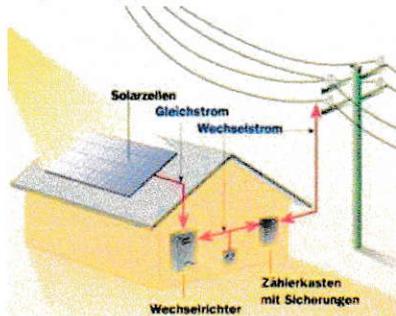


Bei Überproduktion von Strom pumpt man mit diesem das Wasser am Stausee wieder nach oben, damit man damit später wieder Strom erzeugen kann (allerdings mit Energieverlust)

a) Erkläre die Technik für die Stromerzeugung mit Solarzellen anhand des linken Bildes.
 b) Das Diagramm zeigt die mittlere Sonneneinstrahlung in Deutschland. Diskutiere die Konsequenzen, die sich u.a. daraus ergeben?

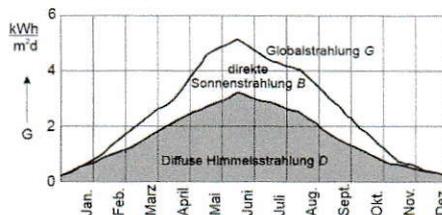
Erzeugung von Strom ohne Bewegung

Graphik aus leifiphysik.de



Solarzellen wandeln Strahlungsenergie direkt in elektrische Energie um (Gleichstrom). Ein Wechselrichter wandelt diesen in Wechselstrom für das öffentliche Netz um.

Graphik von lexsolar.de



Die Sonneneinstrahlung schwankt stark über das Jahr (Graphik), aber auch im Tagesverlauf (Tag/Nacht, Wolken).

Thermische Energie lässt sich leichter zwischenspeichern als elektrische. Deshalb setzte man im Projekt „Desertec“ auf Parabolspiegelmotorkraftwerke (siehe Folie 1).

Selbst-Check:

- thermische Kraftwerke
- erneuerbare Brennstoffe und Wärmequellen
- Wasser- und Windkraft
- Photovoltaik

Übungsmöglichkeiten:

Aufgaben zum Thema findest Du auf Leifiphysik unter Teilgebiet Elektrizitätslehre - Elektrische Arbeit und Leistung Aufgaben. Gut passen hier "Windenergie (Pisa 2006)" und "Solarvoltaik auf der Berghütte", aber auch viele andere.