

Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

(PFMF-V); 09410100

Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

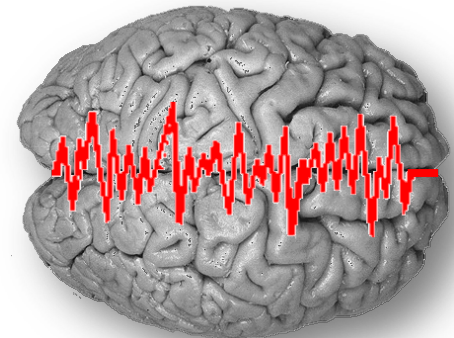
Elektrizitätslehre Teil 2

Am 30.04.2021

Dr. Simon Moser

Lehrstuhl für Exp. Physik IV,
Universität Würzburg

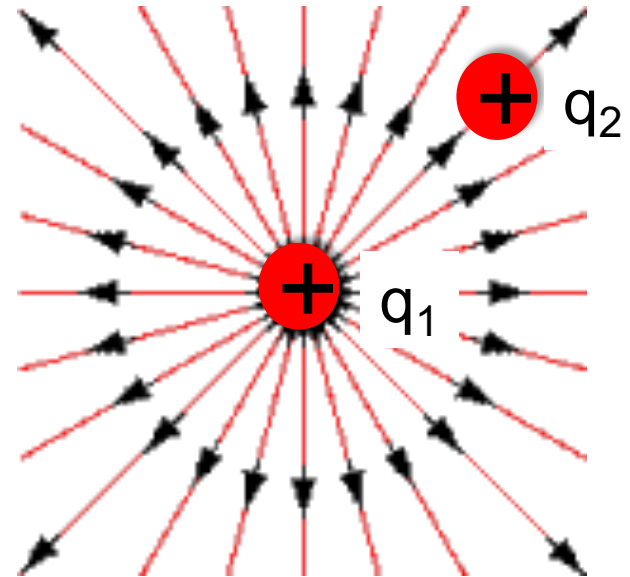
simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de



Wiederholung: elektrisches Feld

Coulombkraft F :

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$



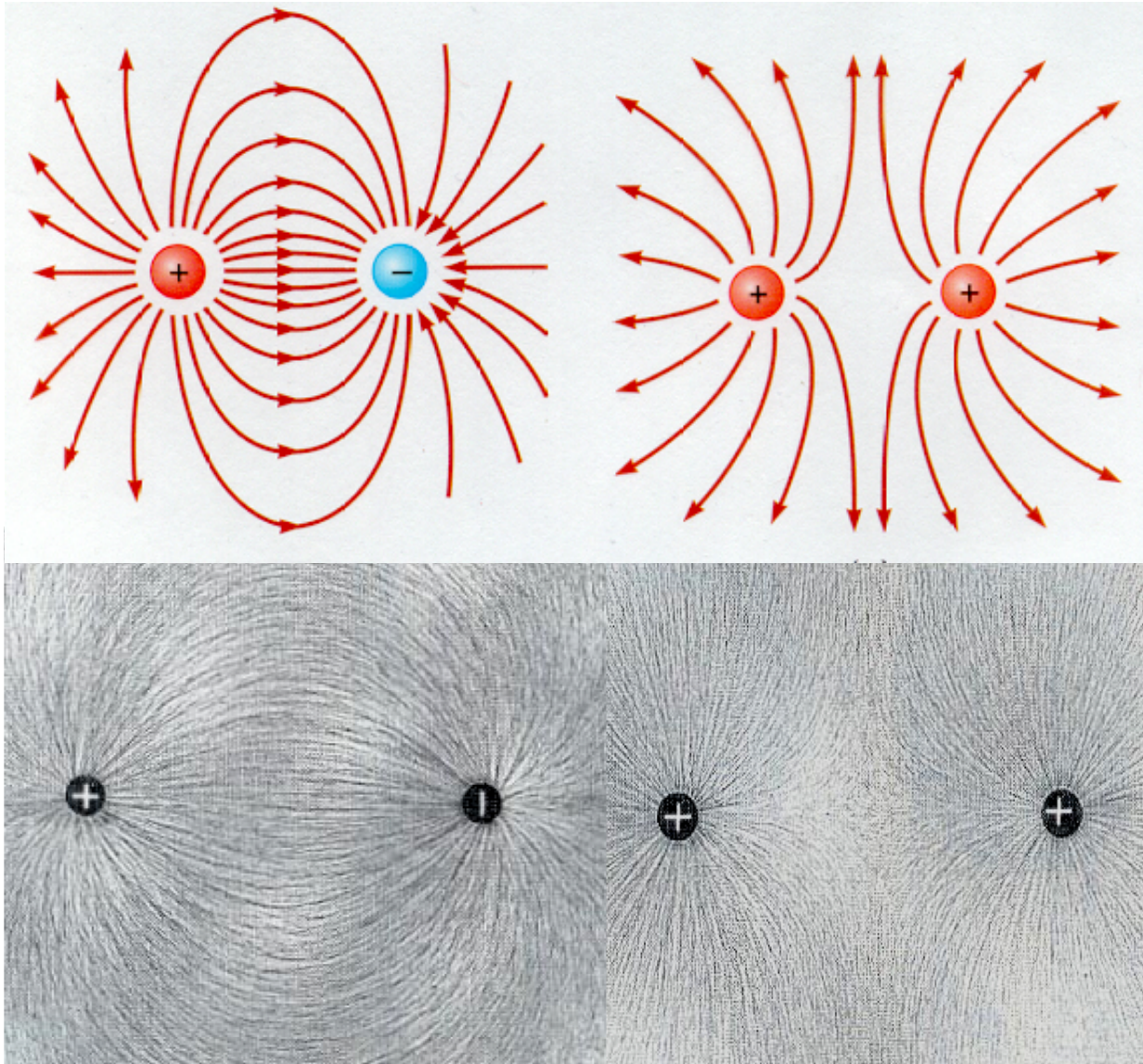
Stärke der elektrischen **Coulombkraft pro Ladung q** :

Elektrische Feldstärke E :

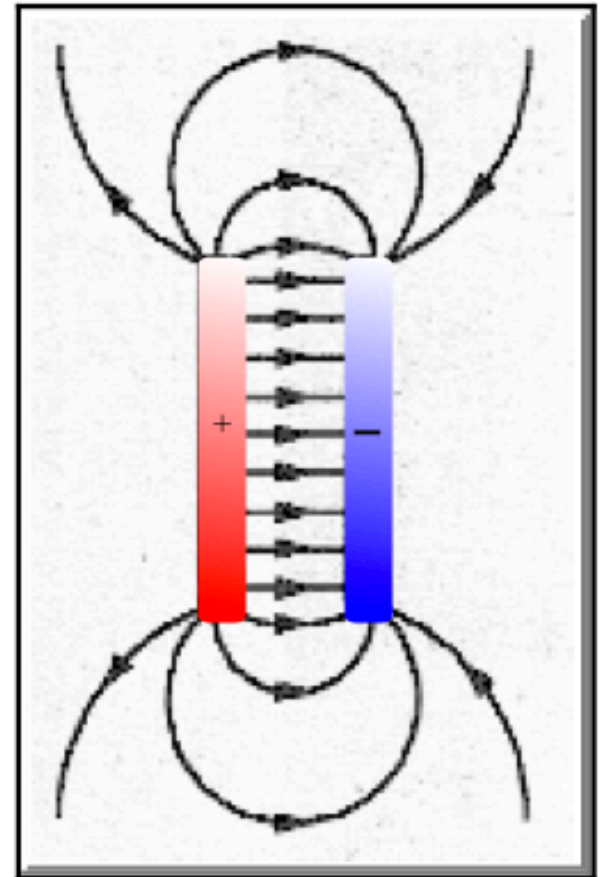
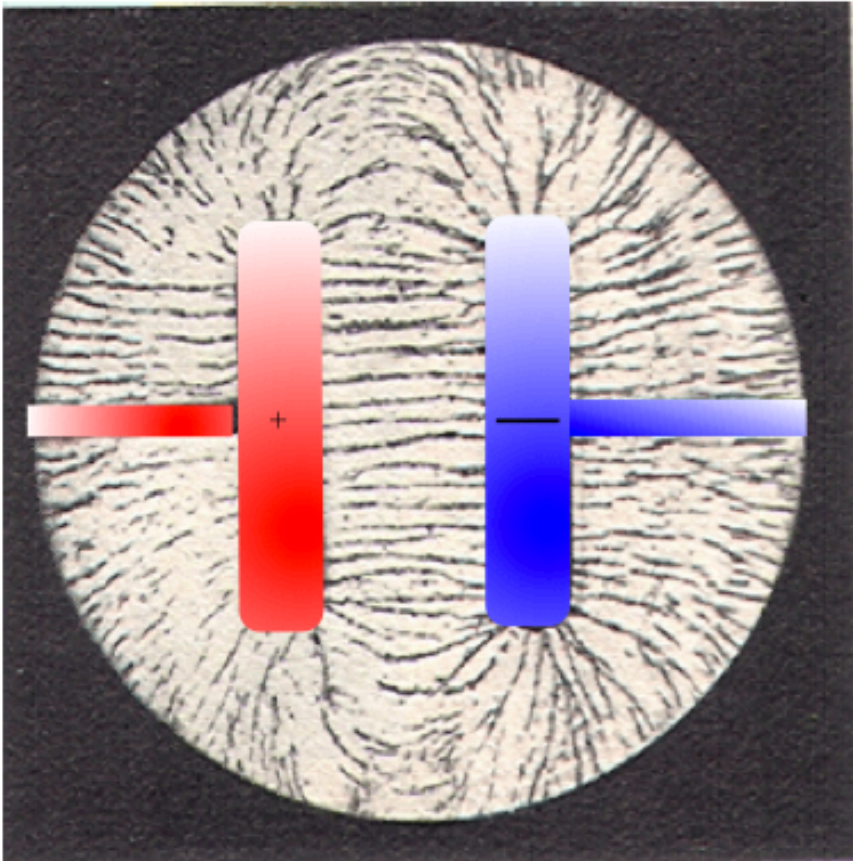
$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{e}_r$$

q_2

Feldlinien um 2 Punktladungen



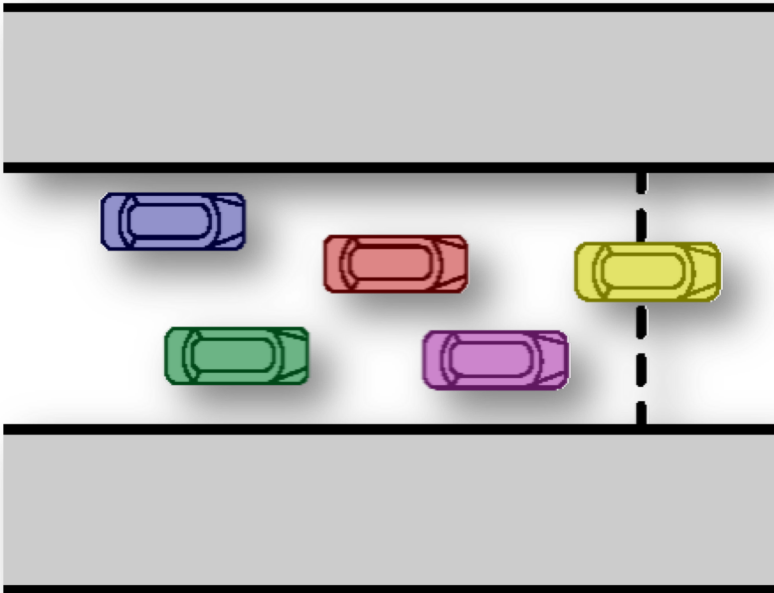
Feldlinienbild Plattenkondensator



Eigenschaften Elektrisches Feld

- ① **Raum um geladene Körper ist von einem E -Feld erfüllt**
- ② Feldlinien sind "gedachte" Linien (Modell) & geben den Weg an, auf dem eine Ladung im Raum bewegt wird
- ③ Die Feldlinien beginnen & enden jeweils an Ladungen (per Konvention beginnen sie an einer positiven & enden an einer negativen Ladung) Die Feldlinien treten immer senkrecht zur Oberfläche aus bzw. ein!
- ④ Feldlinienrichtung zeigt die Bewegungsrichtung einer + Testladung im E -Feld an
- ⑤ **Es gibt keine in sich geschlossenen Feldlinien; Die Feldlinien kreuzen sich niemals**
- ⑥ Zwischen zwei parallelen Platten (=Kondensator) liegt ein **homogenes elektrisches Feld** vor

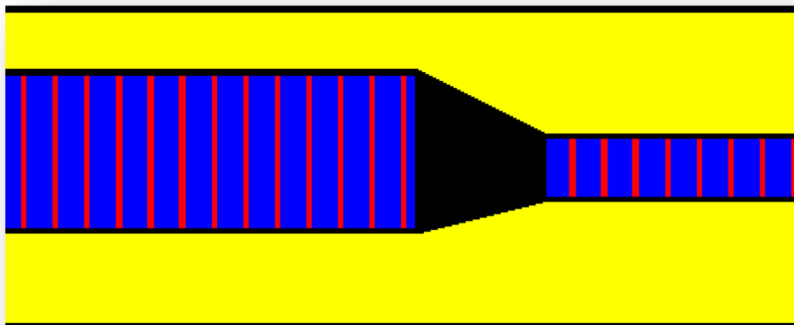
Ströme



Verkehrsstrom

= Autos über Ziellinie/Messzeit

= Anzahl „Autos“/ Δt



Wasserstrom

= Wasservolumen /Messzeit

= $V/\Delta t$

Strom unabhängig von
Querschnitt

(kleinerer Querschnitt höhere Geschwindigkeit)



Strom als Ladungstransport



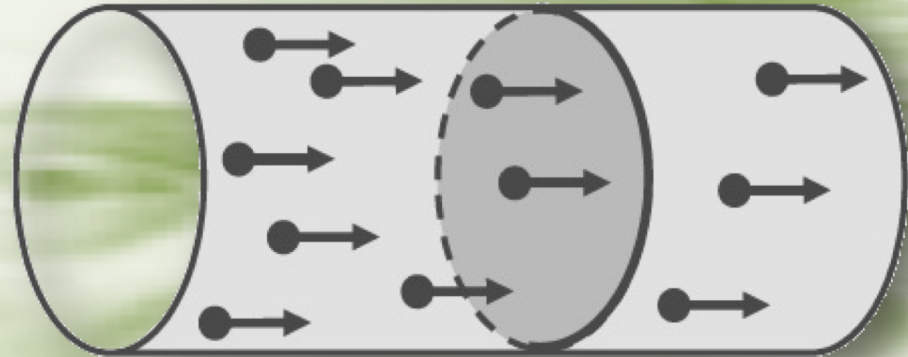
Ladungen werden transportiert = elektrischer Stromfluss im Leiter

- ① Welcher Zusammenhang besteht zwischen elektrischen **Ladungen** & elektrischem **Strom**?
- ② Wie hängen **Ursache** (Potenzialdifferenz) und **Wirkung** (Strom) in einem Leiter zusammen
- ③ **Wie viele** Ladungen werden wie **schnell** bewegt?

Elektrischer Strom

Definition: Der elektrische Strom ist definiert über die pro Zeit t übertragene bzw. bewegte Ladungsmenge Q :

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



Elektrischer Strom I = Ladung durch Leiterquerschnitt/Messzeit

- ① **Einheit der Ladung** ist das Coulomb [C]; $1 \text{ C} = 1 \text{ As} = 6,166 \cdot 10^{18}$ Elektronen
- ② **Einheit/Dimension des Stroms** ist das Ampere [A] = As/s = SI-Basisgröße

Strom

Einheit des Stromes ist das Ampère [A]

- ① **Strom** von einem Ampère = Transport einer Ladungsmenge von 1 C pro Sekunde, also ca. $6,166 \cdot 10^{18}$ Elektronen
- ② **Elektronen** fließen stets von der Stelle eines Stromkreises, die negativ geladen ist, also einen Elektronenüberschuss hat, zu einer positiv geladenen Stelle, an der ein Mangel von Elektronen herrscht



Ampere
(1775-1836)

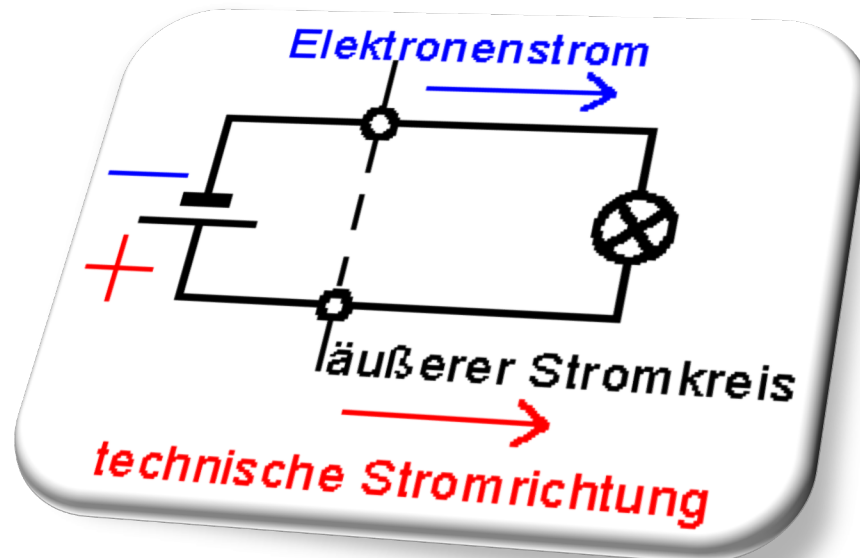
Technische Stromrichtung: Vereinbarungsgemäß wird eine Stromrichtung von Plus nach Minus angenommen

Physikalische Stromrichtung: In Metallen bewegen sich in der Regel Elektronen, also negative Ladungsträger, die vom Minus-Pol zum Plus-Pol fließen

Definition der Stromrichtung

Voraussetzung für einen Stromfluss:

- Potentialgefälle (Spannungsquelle)
- Geschlossener Stromkreis



Ampere
(1775-1836)

- Ampere hat die Stromrichtung vom *Pluspol* zum *Minuspol* festgelegt (**technische Stromrichtung**)
- Die Elektronen in metallischen Leitern fließen vom *Minuspol* zum *Pluspol* (**Elektronenstromrichtung**)

Wirkungen des Stromflusses:

Wie kann man experimentell (von außen) feststellen, dass in einem Leiter ein Strom fließt?

- ① Wärmewirkung
- ② Magnetische Wirkung
- ③ Physiologische Wirkung
- ④

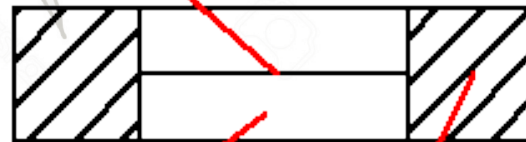


Glühbirne



Tauchsieder

Schmelzdraht

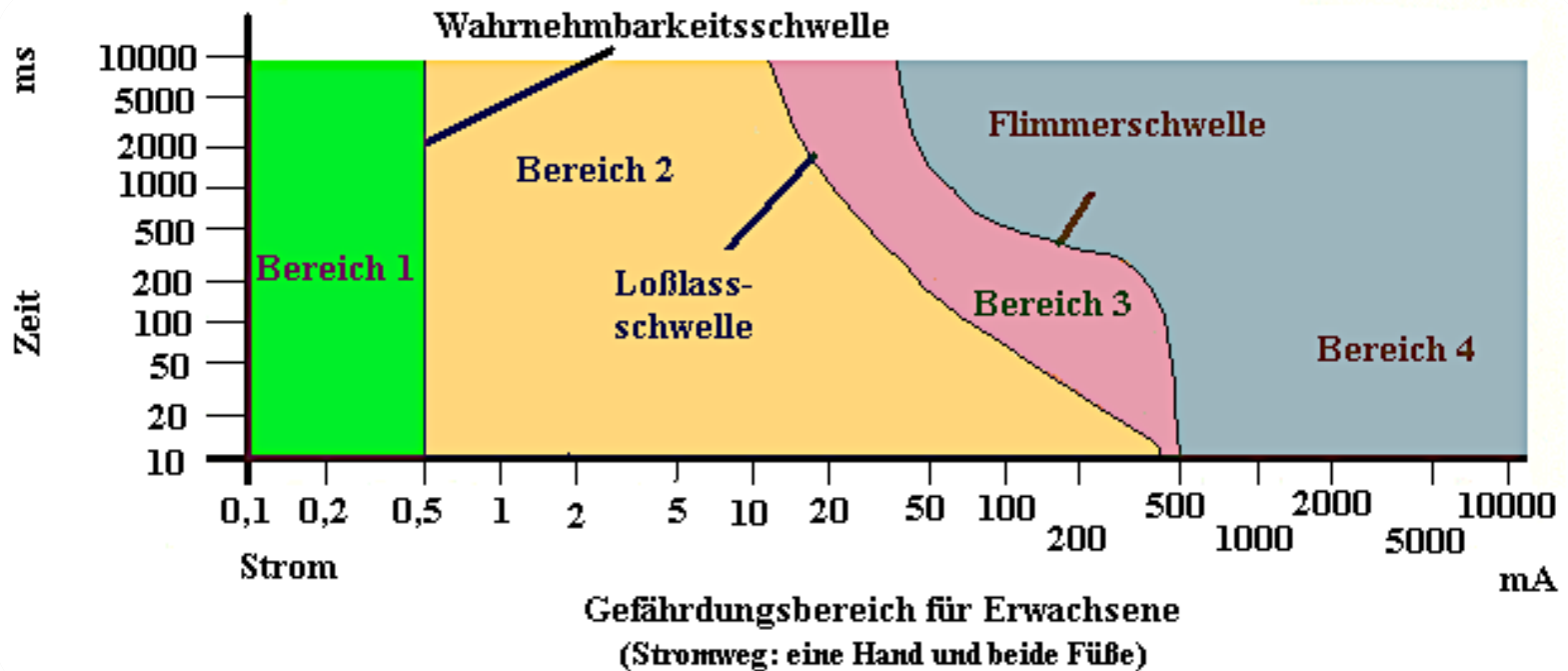


Glaskolben Metallhülse

Schmelzsicherung
(begrenzt Strom)



Stromwirkung auf den Menschen



Bereich 1: Wechselströme in diesem Bereich werden von den meisten Menschen gar nicht wahrgenommen.

Bereich 2: Es ist ein **Kribbeln** zu spüren, auch schmerzhafte Verkrampfungen sind möglich. Direkte Schäden sind kaum zu befürchten.

Bereich 3: Die Stromquelle kann auf Grund von **Muskelverkrampfung** nicht mehr losgelassen werden.

Bereich 4: Schwere Schädigung & häufig **tödliche** Stromwirkung, z.B. durch Herzkammerflimmern

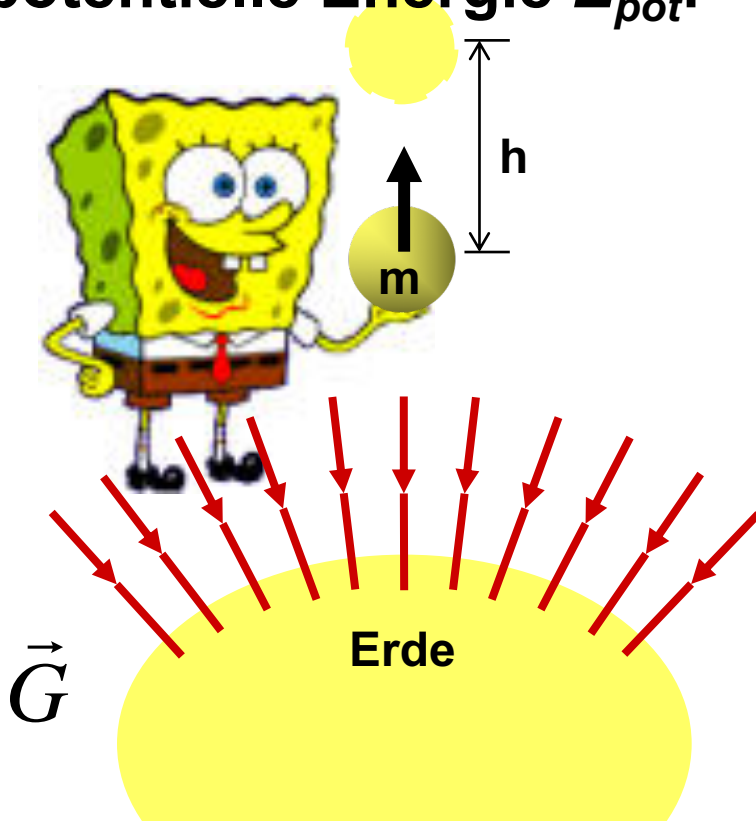
Gravitationspotential & Potentialdifferenz



$$\Delta\Phi$$

Wdh.: Gravitationspotential

Bewegt man eine Masse m im Gravitationsfeld gegen die auf sie wirkende Kraft, leistet man Arbeit & die Masse gewinnt **potentielle Energie E_{pot}** :



$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

E_{pot} , dividiert durch die Masse m , bezeichnet man als **Potential**:

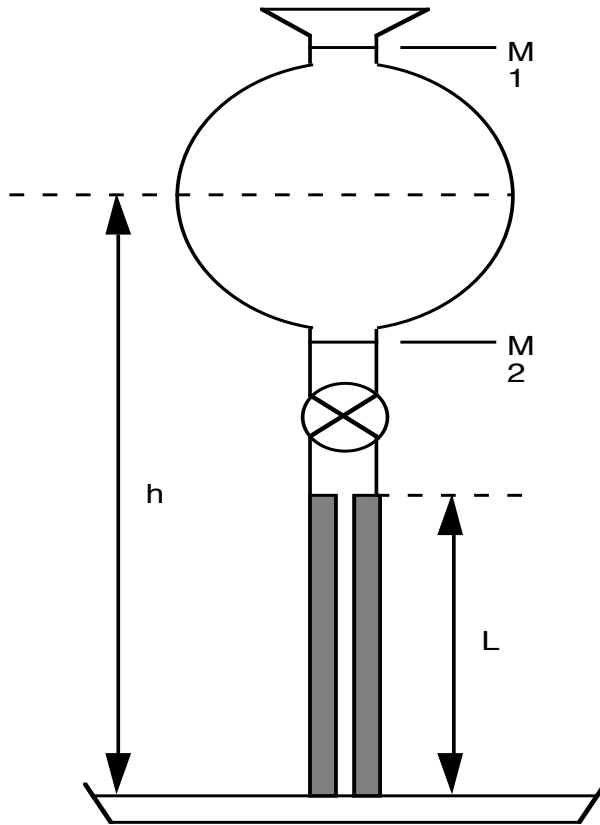
$$\Phi = \frac{E_{pot}}{m} = g \cdot h$$

$$\Phi \cdot m = m \cdot g \cdot h = E_{pot}$$

Potential = Hubarbeit pro Einheitsmasse

Die Differenz des Potentials zwischen zwei Punkten nennt man **Potentialdifferenz**

Gravitationspotential & Potentialdifferenz



Viskosimeter

(mittlere) Potentialdifferenz:

$$\Phi = \frac{E_{pot}}{m} = g \cdot h$$

(mittlere) Potentialdifferenz:

$$\Phi = 0$$

Elektrisches Potential & Potentialdifferenz

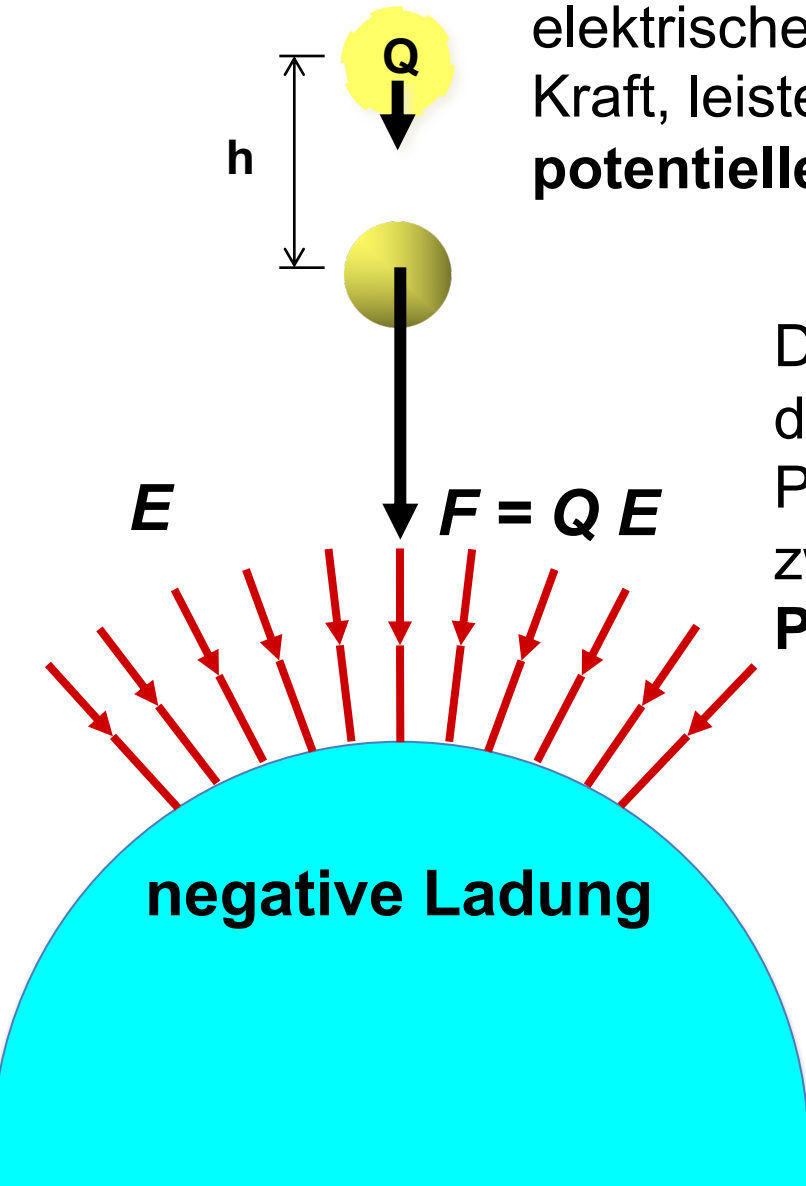
Bewegt man eine Ladung in einem (homogenen) elektrischen Feld E gegen die auf sie wirkende Kraft, leistet man **Arbeit** & die Ladung gewinnt **potentielle Energie**:

$$E_{pot} = Q \cdot E \cdot h$$

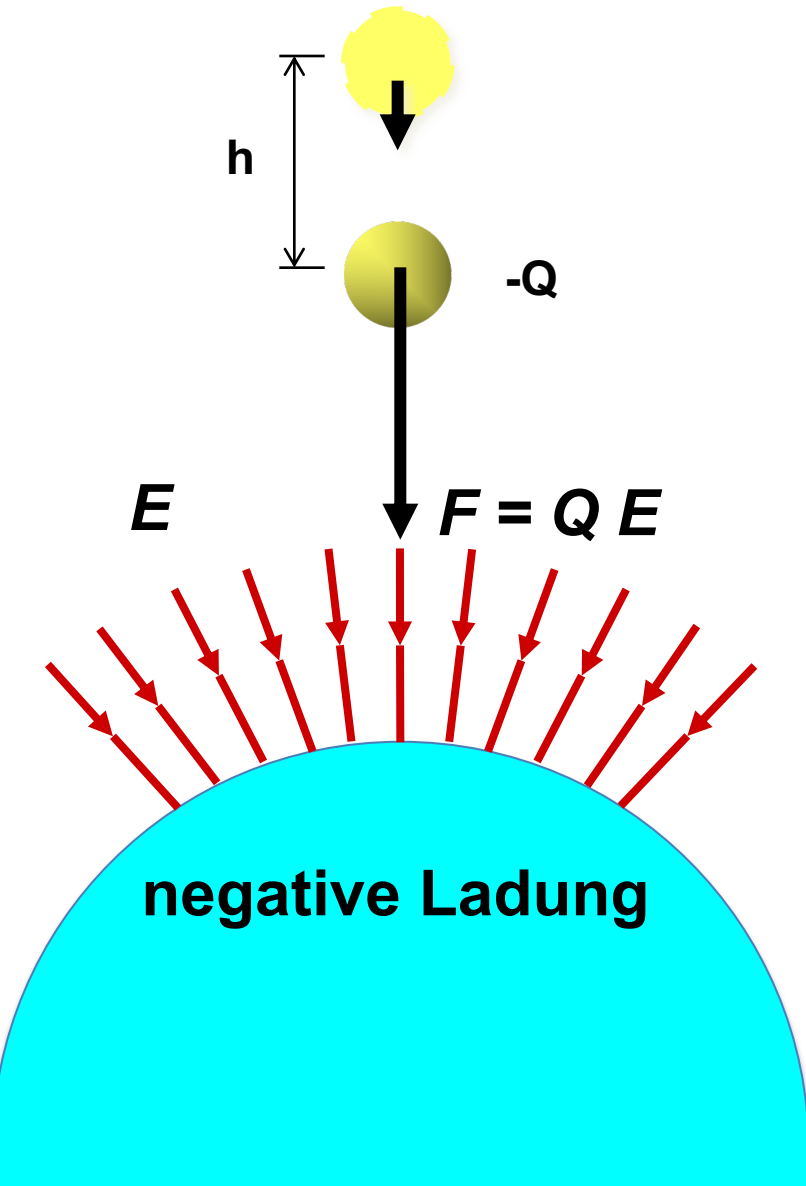
Diese potentielle Energie, dividiert durch die Ladung, bezeichnet man als Potential. Die **Differenz des Potentials** zwischen zwei Punkten nennt man **Potentialdifferenz** oder **Spannung U** :

$$\Delta\Phi = U = \frac{E_{pot}}{Q} = E \cdot h \quad E = F/Q$$

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



Elektrisches Potential & Potentialdifferenz



$$\Delta\Phi = U = \frac{E_{pot}}{Q} = E \cdot h$$

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

Potential = Arbeit pro
Einheitsladung

Die Differenz des Potentials
zwischen zwei Punkten nennt
man Potentialdifferenz (= **Spannung**)

Spannungsquellen



Batterien



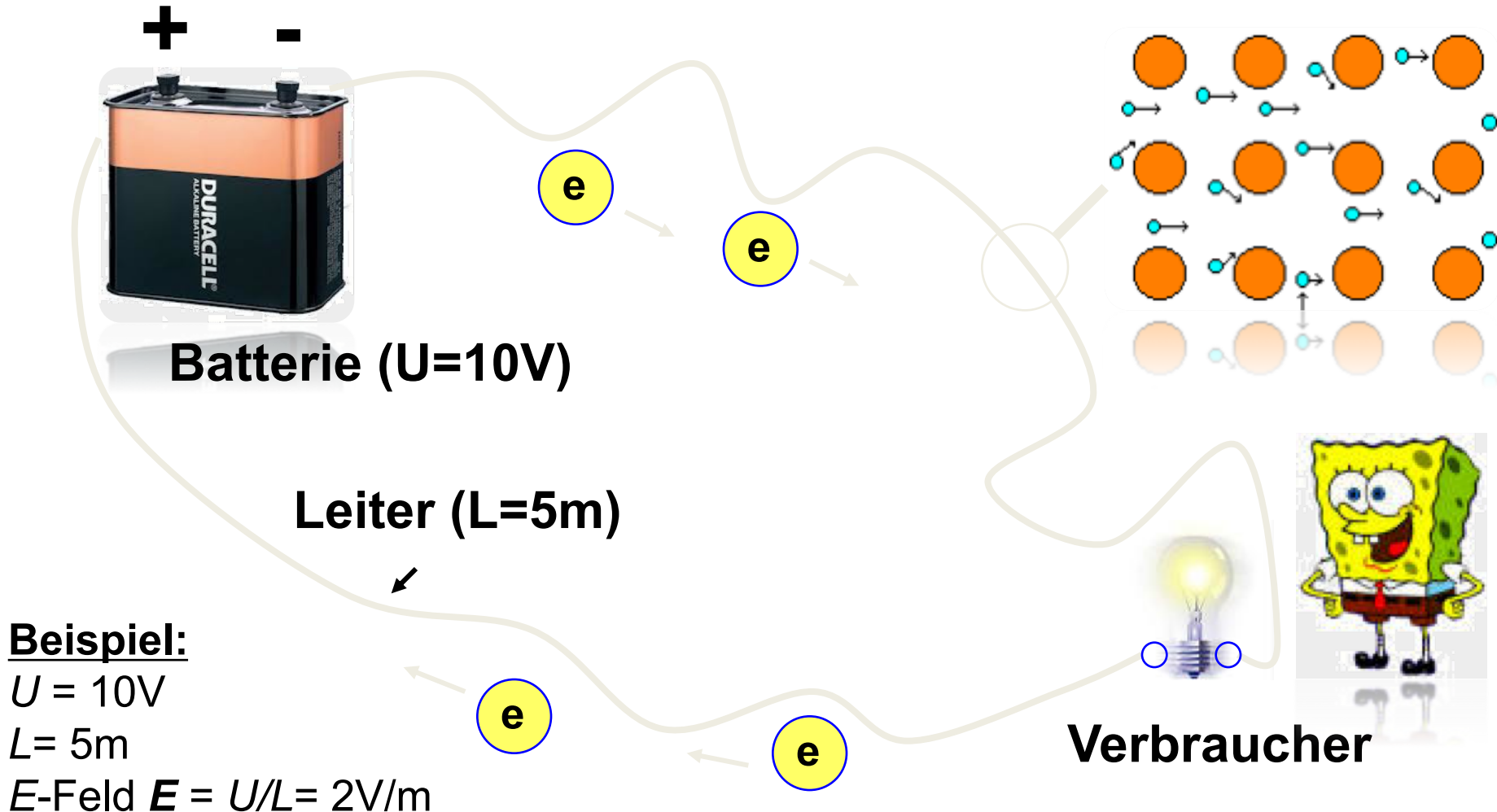
Power-Supply



Steckdose

Spannungsquellen

Verbindet man die beiden Enden des Leiters mit den Polen der Batterie, so wird überall im Leiter ein elektrische Feld aufgebaut



Beispiel:

$$U = 10V$$

$$L = 5m$$

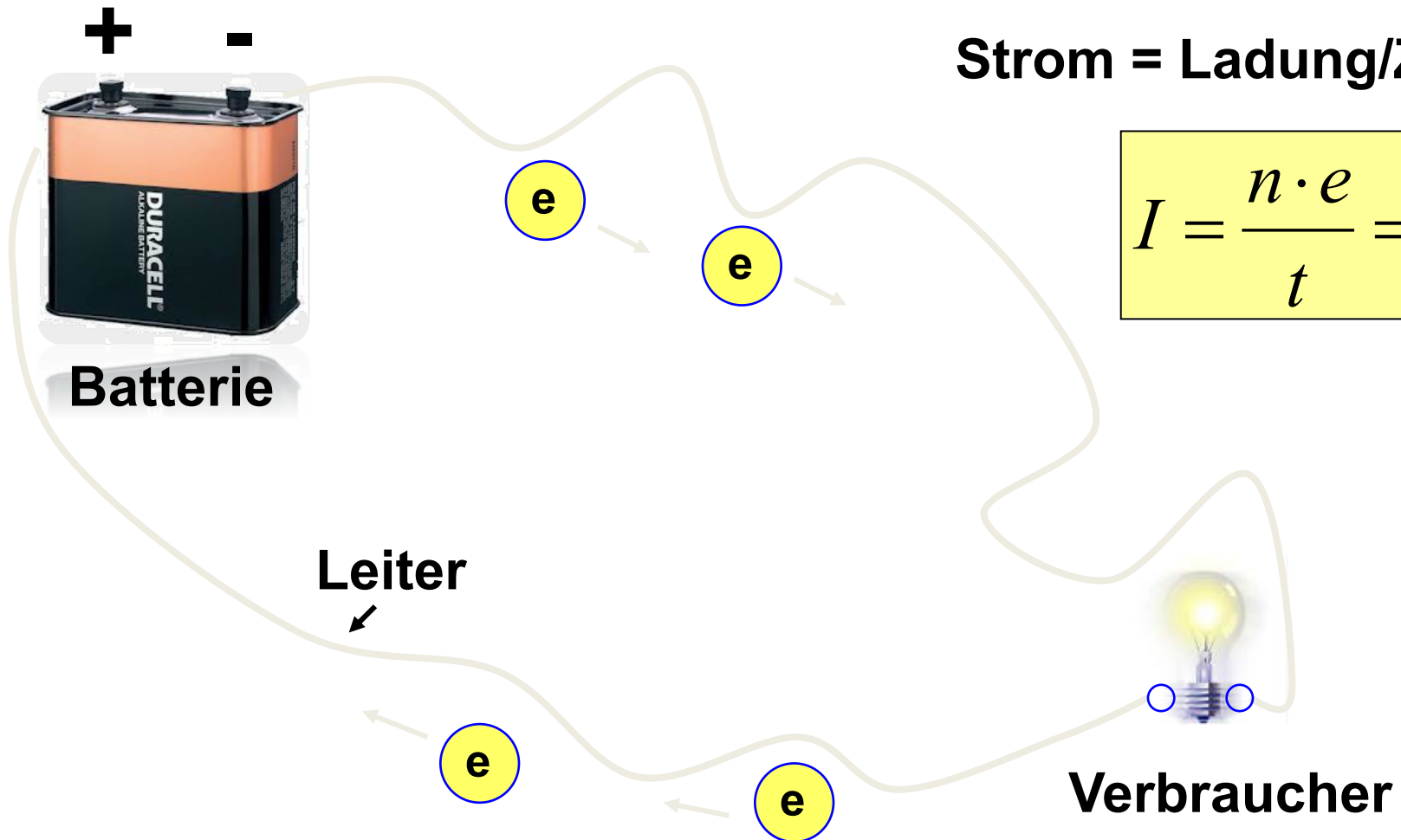
$$E\text{-Feld } \mathbf{E} = U/L = 2V/m$$

Elektrischer Strom

Das elektrische Feld wirkt als treibende Kraft für eine Elektronenbewegung

Strom = Ladung/Zeit

$$I = \frac{n \cdot e}{t} = \frac{Q}{t}$$



Ursache eines elektrischen Stroms

Das, was einen elektrischen Strom durch einen Leiter treibt, nennt man **elektrische Spannung = Potentialdifferenz** ~ Ladung

Oder

Mit einer elektrischen Spannung kann man einen Strom erzeugen

NB: Um einen Wasserstrom durch ein Rohr zu treiben, bedarf es einer Druckdifferenz (oder Höhendifferenz) an den Rohrenden. **Druckdifferenz** entspricht im elektrischen Fall der **Spannung**:



Einheit der Spannung:

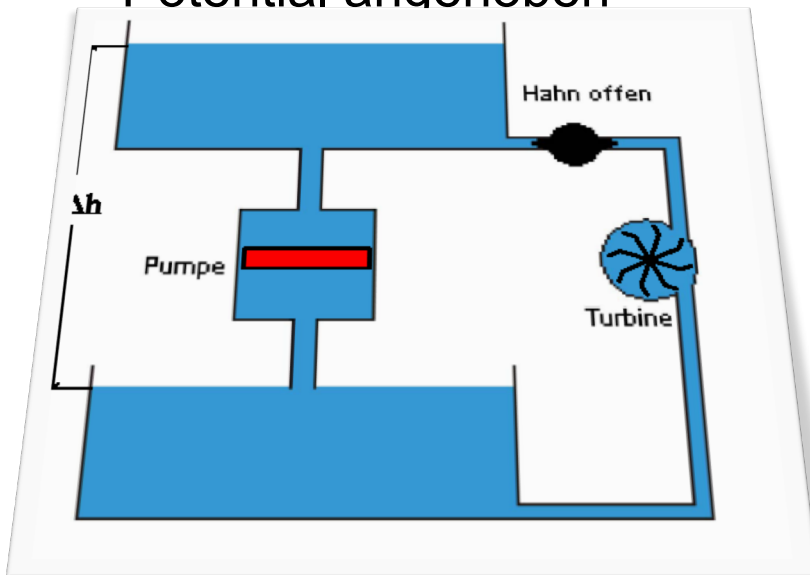
$$1 \text{ Volt} = 1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ As}} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$$

Spannungsquelle

Frage: Wie groß ist der Strom in einem geschlossenen Kreis?

Antwort: Abhängig von der **Stärke der Quelle**

- Zur Charakterisierung der "**Stärke**" der **Quelle** führt man die Größe "**elektrische Spannung U** " ein
- **Spannung** kennzeichnet die Fähigkeit der Quelle, in einem angeschlossenen äußeren Stromkreis einen Strom aufrechtzuerhalten, sie ist also **die Ursache für den Strom**
- Durch eine Spannungsquelle werden Ladungsträger auf ein höheres Potential angehoben



- Der Durchfluss (Strom) hängt von der Höhe (Potenzialdifferenz) ab
- Ohne Pumpe würde Strom nicht kontinuierlich fließen

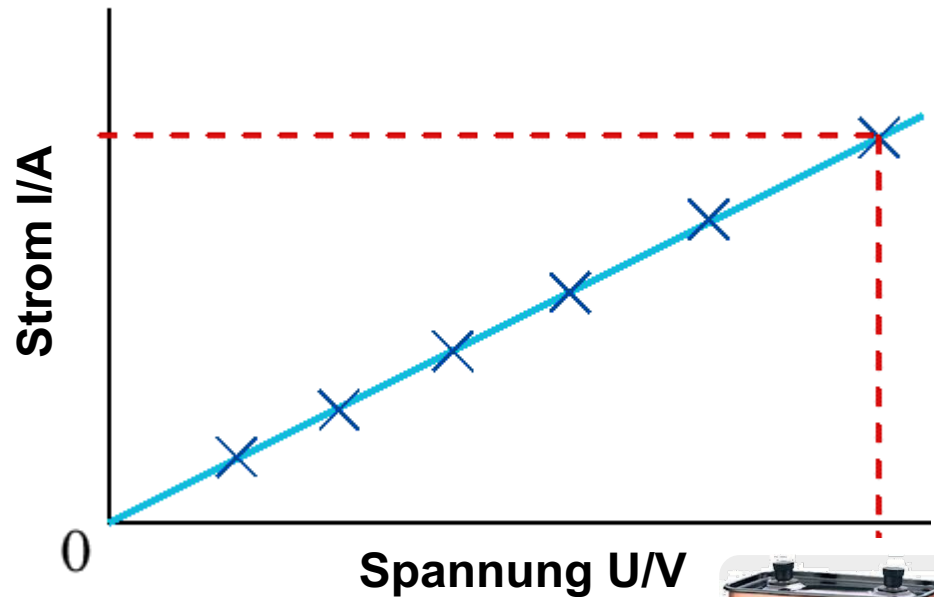
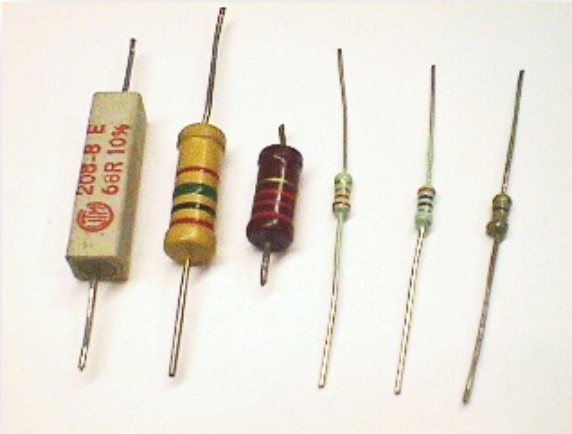
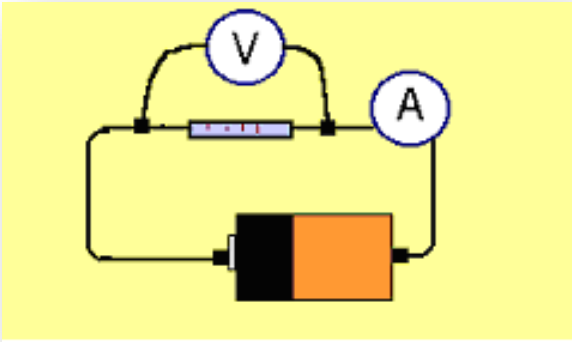
Erinnerung: Strömung durch Rohr:

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot L} \cdot \Delta p$$

Ohmscher Widerstand

Experiment in einem elektrischen Leiter:

Messung des Stroms für verschiedene Spannungen:



Verschiedene Widerstände als Bauelemente

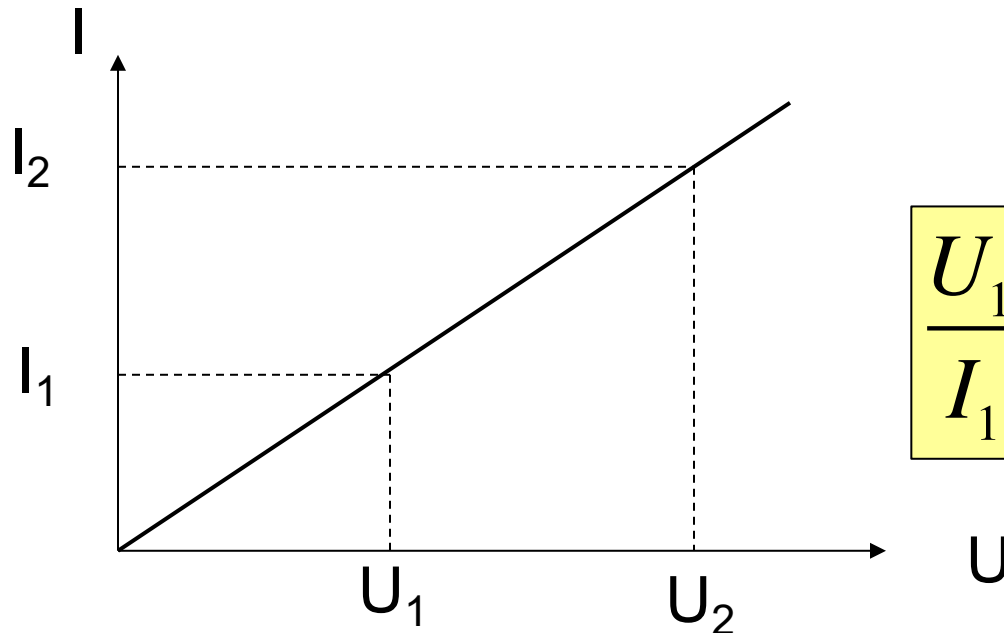
Ohmsches Gesetz

Bei vielen Leitern (Metalle, Elektrolyte) ist R spannungs- und/oder stromunabhängig

I direkt proportional zu U :

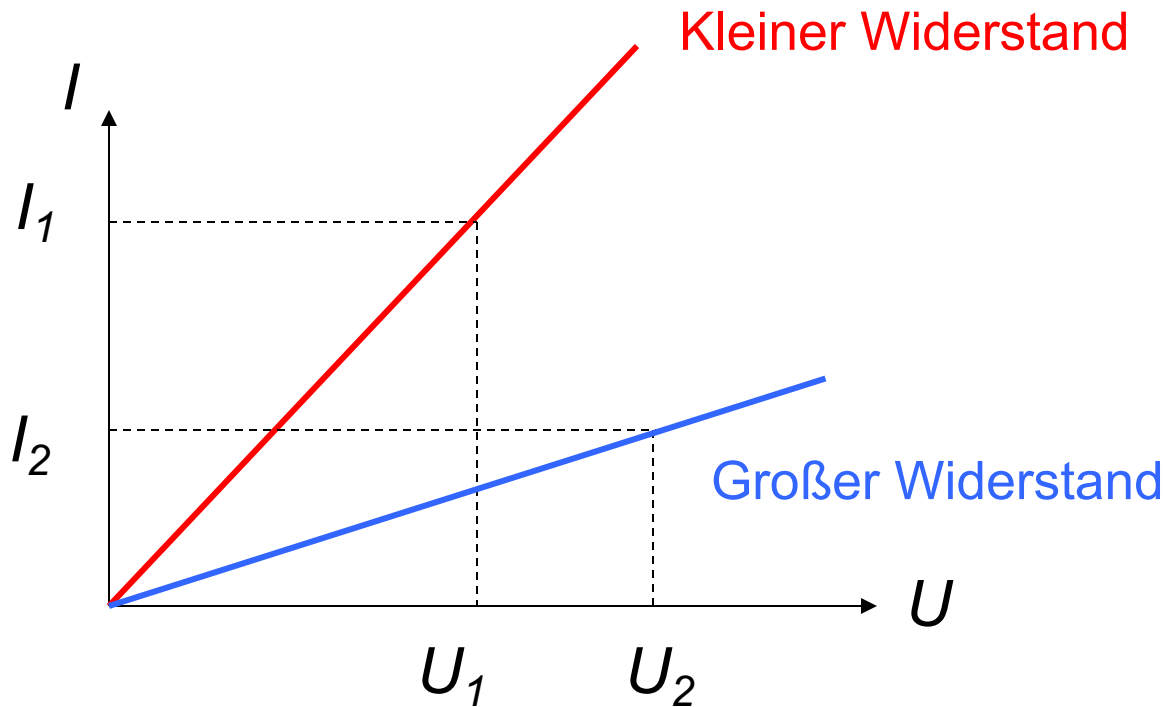
$$I = \frac{U}{R}$$

$R = \text{const}$: Gültigkeitsbereich des **Ohmschen Gesetzes**



$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = R$$

Ohmsche Widerstände



$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

$$R_2 > R_1$$

Ohmscher Widerstand

Definition:

- Der Widerstand R eines Bauteils in einem elektrischer Stromkreis ist das Verhältnis von Spannung und Strom:

$$R = \frac{U}{I}$$

Ohmsches Gesetz

Einheit des Widerstands = 1 Ohm = 1 Ω = 1 V/A

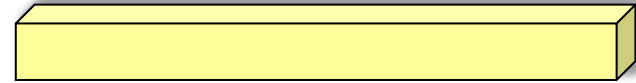
Bei realen Widerständen ist das Ohmsche Gesetz meist nur über einen bestimmten Temperaturbereich erfüllt (die Definition von R gilt trotzdem)



Sponge Ohm
1787-1854

Widerstand eines elektrischen Leiters

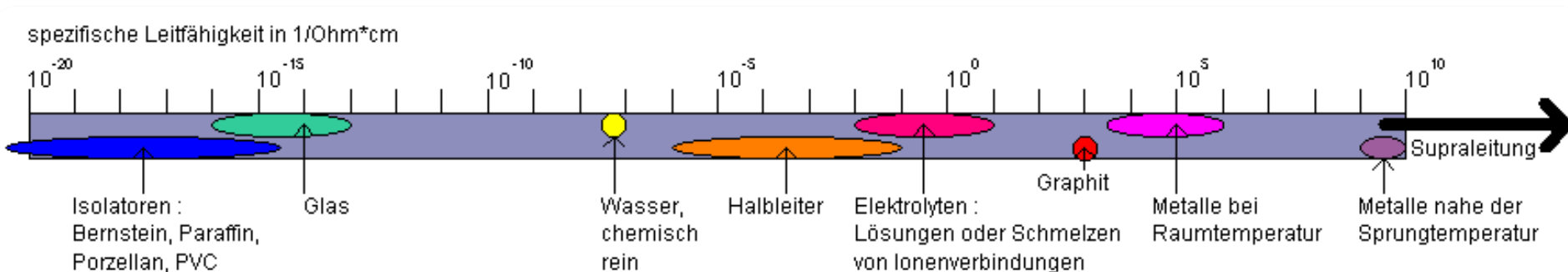
- ① Der Widerstand eines Leiters (z.B. eines Drahts) hängt vom verwendeten Material, der Länge L [m] und seiner Querschnittsfläche A [m²] ab



- ② Verwendete Material wird mit Hilfe einer Materialkonstante, der sog. **Resistivität** ρ [Ωm] berücksichtigt:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

- ③ Den Kehrwert des Widerstands R nennt man **Leitwert** G . Seine Einheit heißt Siemens oder MHO (Ohm rückwärts)



30 Zehnerpotenzen !!!