

Physik für Großeltern und andere Wissbegierige

Universität Bonn, Wintersemester 2024/25

Dieter Meschede

Themenblock 1: Elektrizität und Magnetismus

1. 24.10. Ladungen, Felder und Ströme
2. 31.10. Zwei Seiten derselben Medaille: Elektromagnetismus
3. 07.11. Elektromagnetische Wellen (Highlight: H. Hertz-Versuch)

Vorlesung am 24.10.2024

Einführung: Was ist Physik?

- Ladungen
- Ladungsquellen
- Ströme

Ausschnitte aus dem Programm für heute:

- Wo können wir Ladungen beobachten?
- Was ist 1 Volt?
- Welche Ladungsquellen haben wir
- Ladungen im/am menschlichen Körper
- Entladungen
- Ströme

Vorlesung am 24.10.2024

Einführung: Was ist Physik?

- Ladungen
- Ladungsquellen
- Ströme

Zur Erinnerung: Was ist Physik?

Wir wollen die Dynamik der materiellen Welt erfassen:

(im Kleinen wie im Großen!)

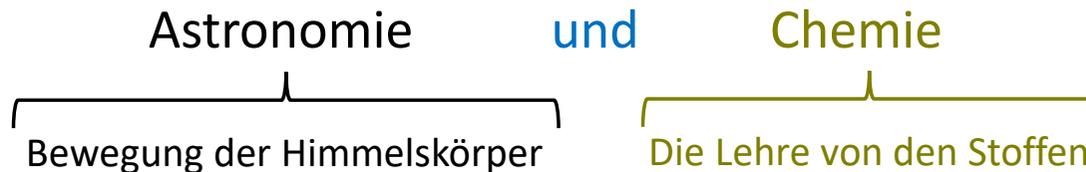
- Um auf der Basis von **verifizierbaren Beobachtungen** unsere natürliche Umgebung zu erkennen (Experimente).
- Um **universelle Naturgesetze** zu formulieren (Theorie)
- Um „sichere“ **Vorhersagen** treffen zu können (Anwendungen)
Das ist die Voraussetzung für Ingenieure!

Was ist Physik?

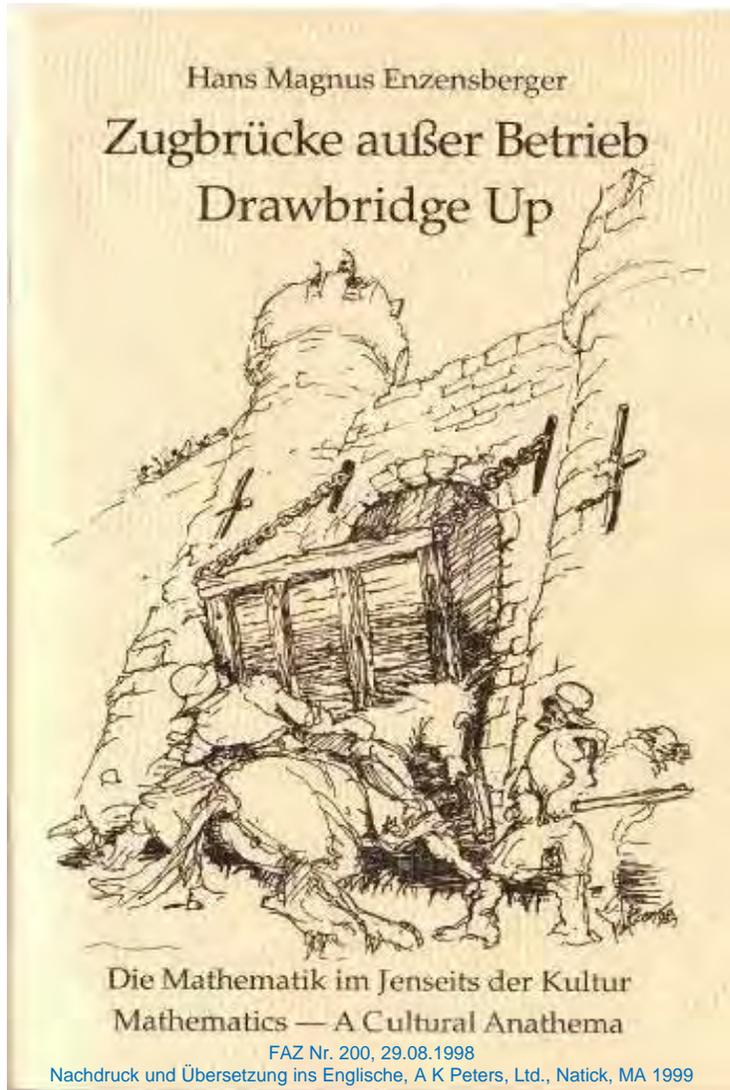
* Was heißt „universelle“ Gesetze?

1. Sie haben **breite** Gültigkeit,
2. sind experimentell **überprüfbar, (insbesondere widerlegbar!!)**
3. sind **unabhängig von Zeit, Ort und Person**

* Die Mütter der Physik (Beginn ~ 1600 mit Galilei) sind



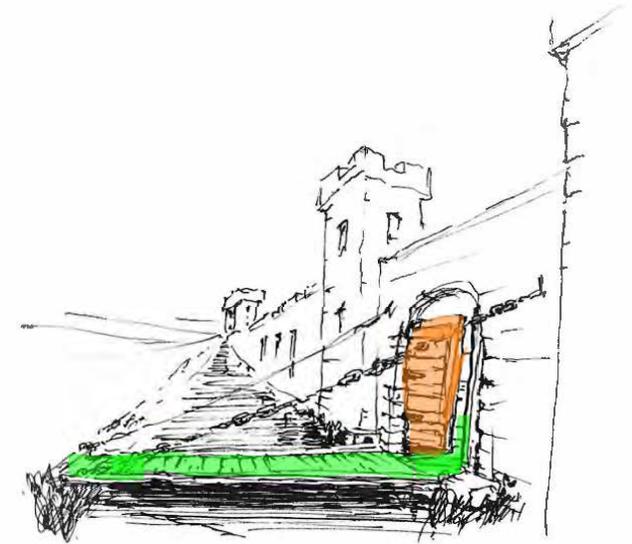
* Die **Mathematik** ist die Sprache (und Grammatik) der Physik
→ das verdient eine Extra-Betrachtung



Die Sache mit der Mathematik („*Mathedeckel*“)

In dieser Vorlesung wollen wir die
Zugbrücke(n) herunterlassen ...!!

Drüberlaufen müssen
Sie allerdings selbst!





Vielleicht hat jemand Interesse,
eine Rezension dazu zu schreiben?
- für die P4G-Webseite?

Das heißt für unsere Vorlesung konkret:

- ** Wir werden einfache Mathematik (+, -, ×, ÷, $\sqrt{\quad}$, ..., sin, e^x , ...) verwenden.
- ** Das Ziel: Plausibilität an Beispielen und Grenzfällen erläutern!
- ** Kurze Ableitungen werden ggf. auf der Webseite angeboten

Verwendung physikalischer Gleichungen:

Das **wichtigste** mathematische Zeichen (nicht nur) für unsere Vorlesung ist:



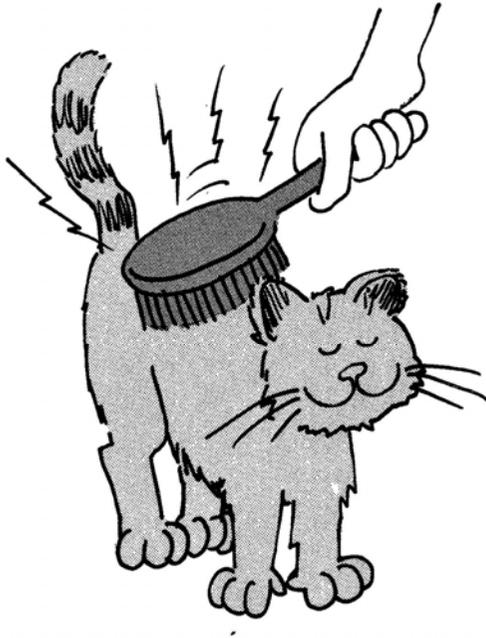
(ungefähr gleich)

Vorlesung am 24.10.2024

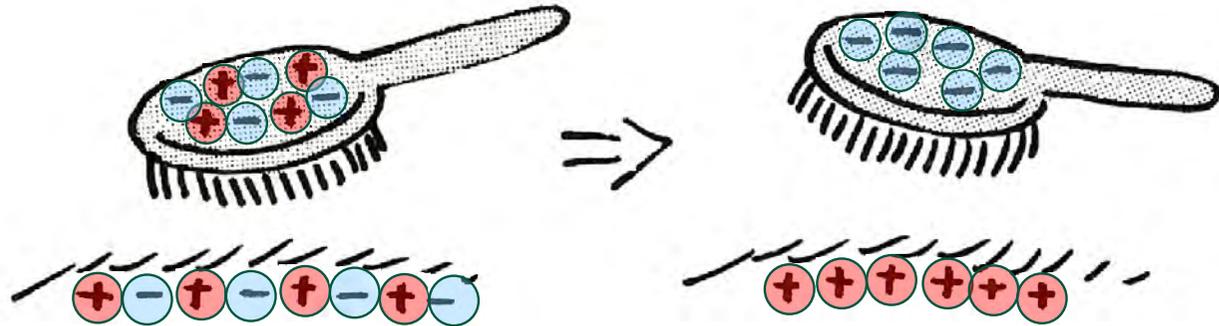
Einführung: Was ist Physik?

- **Ladungen**
- Ladungsquellen
- Ströme

Reibungselektrizität



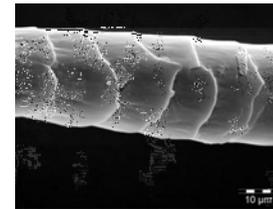
Thinking Physics, L.C. Epstein, (Insight Press San Francisco 1979)



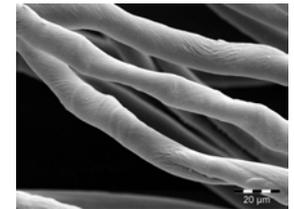
Wieso funktioniert es gut mit **Wolle**?

- raue Faseroberfläche
- hohe Beweglichkeit der Ladungen

Wolle



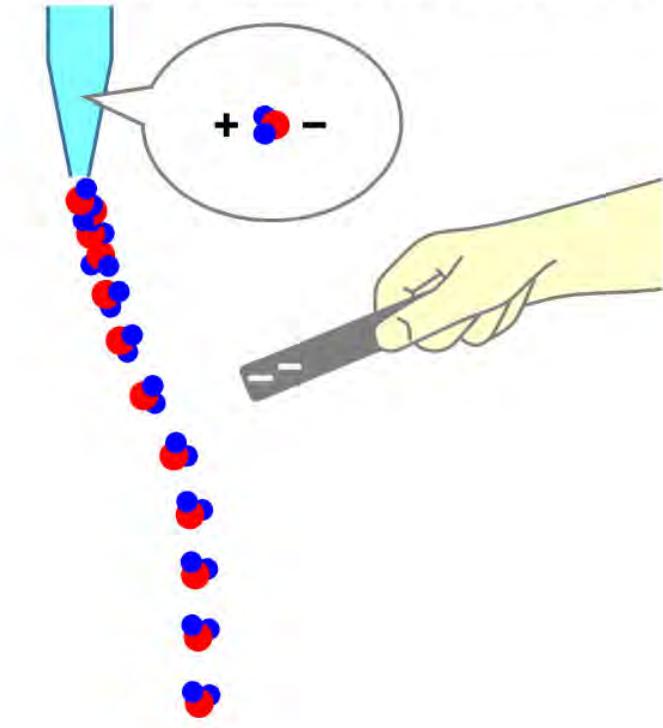
Baumwolle



© ColoureD Photography

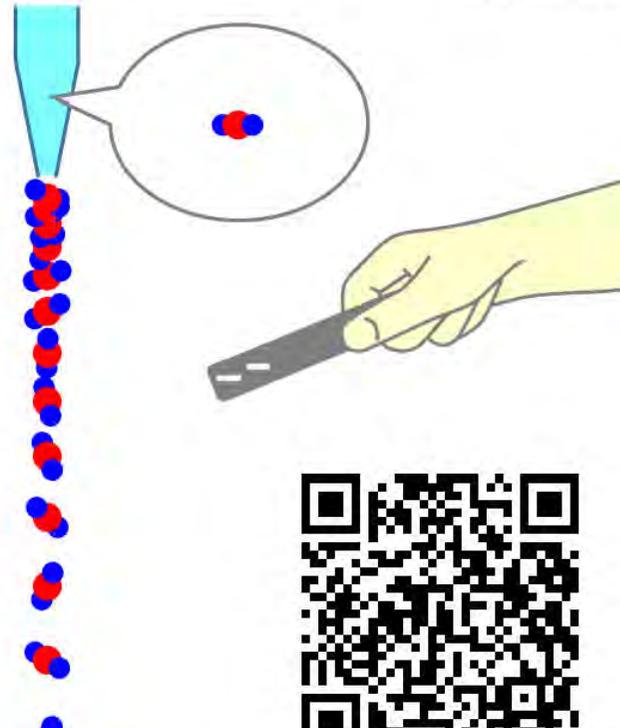
Ladungen, Luftballon und Wasserstrahl

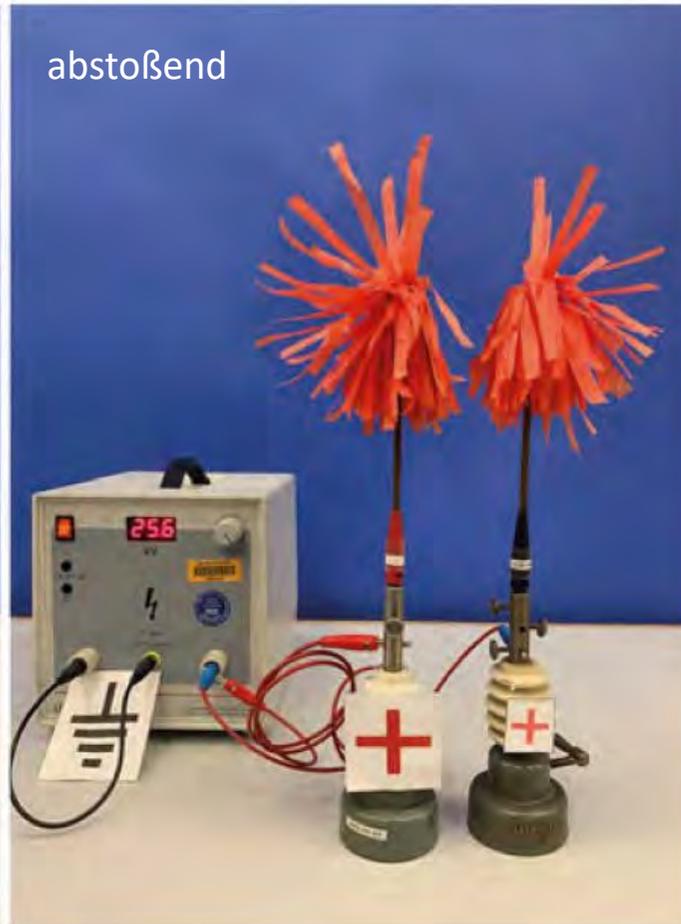
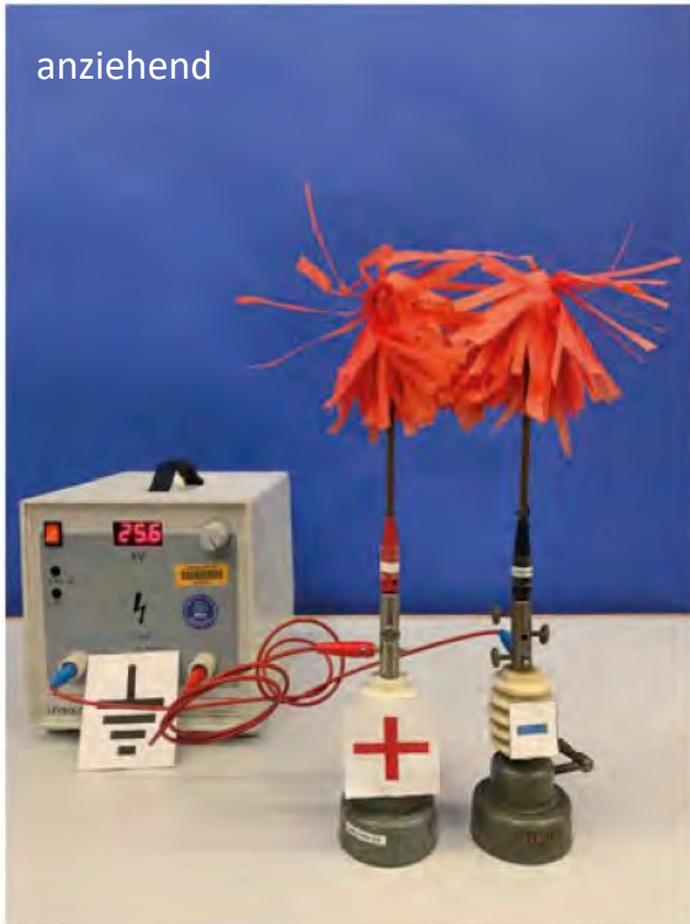
What if the water molecule have a straight structure?



Ladungen üben Kräfte aus!

Javalab
Science Simulations





Ladungen üben Kräfte aus!

Kupferstich nach einem Gemälde von Amédée,
1777 Archangelsk Museum Moskau
© Deutsches Museum Nr. 35961

Nachweis der Ladung?

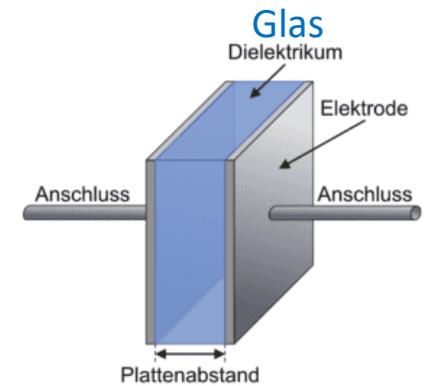
P4G – Physik für Großeltern

Die Leydener Flasche: Salonphysik im 18. Jhd.

„Freudigkeit der Seele, und Heroismus ist communicabel wie die Elektrizität, und Sie haben so viel davon, als die elektrische Maschine Feuerfunken in sich enthält.“ J. W. von Goethe 1765



Ein „Behälter für Elektrizität“
(Ladung)



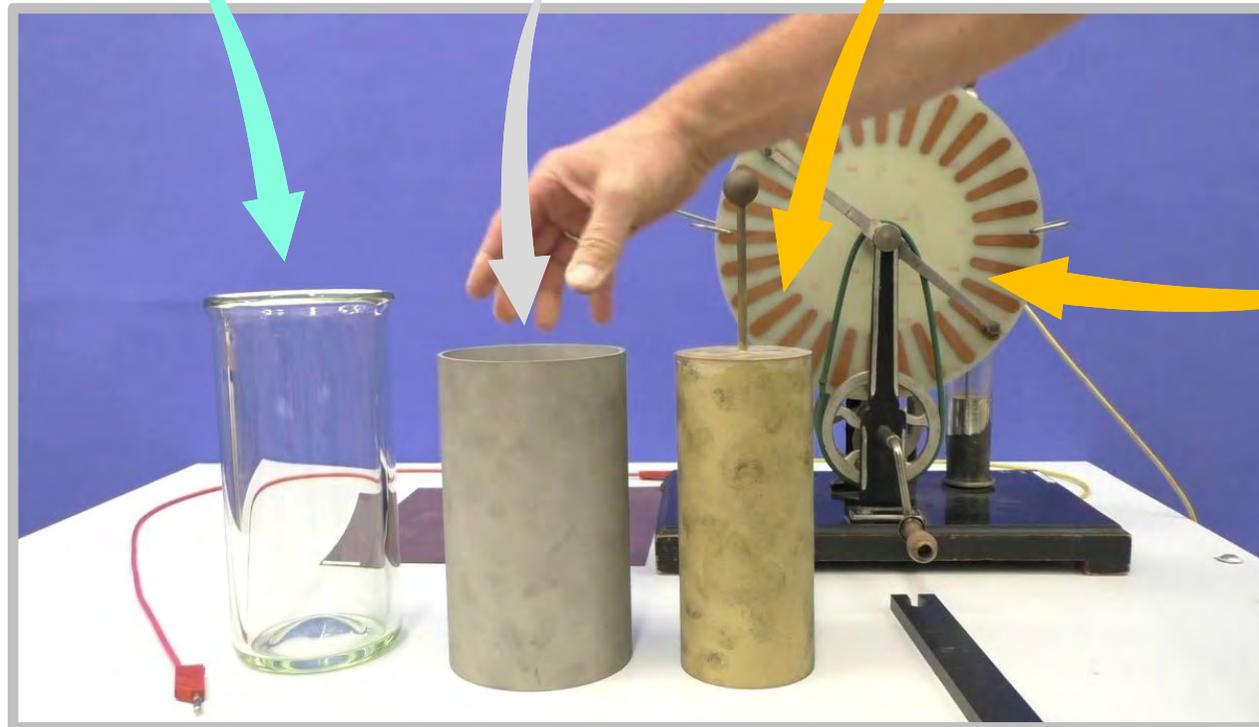
→ Entdeckung des
Kondensatorprinzips

© Edis Techlab, <https://edistechlab.com>

Glasflasche

Metallzylinder außen

Metallzylinder innen

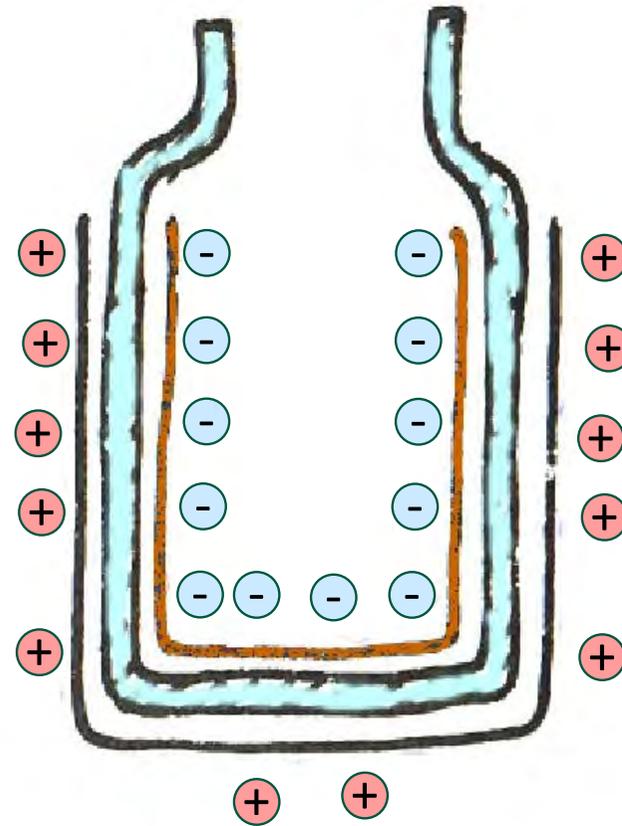


Generator für
Ladungen

Wir zerlegen die Leydener Flasche ...



Wo die **Ladungen** sitzen, ist klar ... :



Aber: **Wo** wird die **Energie** gespeichert??

Die richtige Antwort lautet:

Der Kondensator speichert elektrische Energie im Raum (einschließlich Glas) zwischen den Folien (Elektroden)

Elektrische Energie wird im
elektrischen Feld
gespeichert!



Der „Behälter“ für Elektrizität (Kondensator) speichert offenbar „**elektrische Energie**“!

Wie bringen wir **Ladung** und **Energie** zusammen?

Zur Erinnerung aus der Mechanik: Die Einheit der Energie ist $1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{Ws} = ?$

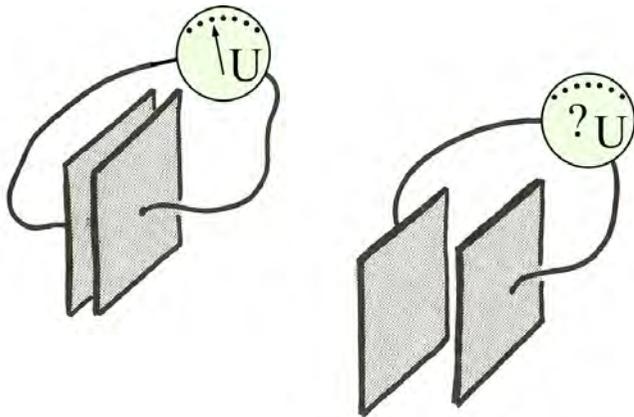
$$\text{Spannung} = \frac{\text{elektrische Energie}}{\text{Ladung}}$$

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

Zum Vergleich: Ihr täglicher Verbrauch: $5 \text{ kWh} = 5 \text{ kW} \cdot 3.600 \text{ s} = 18.000 \text{ kJ}$

Der „Behälter“ für Elektrizität (Kondensator) speichert offenbar „**elektrische Energie**“!

Noch ein Versuch zur Systematik:



Die Frage lautete:

Was passiert mit der gespeicherten Energie, wenn wir die Kondensatorplatten auseinander ziehen?

Bleibt gleich – wird größer – wird kleiner??

Handabstimmung gab kein Ergebnis.

Die korrekte Antwort:

Die gespeicherte Energie steigt – wir müssen gegen die Anziehungskraft der Kondensatorplatten Arbeit leisten, die der gespeicherten Energie zugeführt wird. Weil die Ladung gleich bleibt, muss auch die Spannung steigen.

Zum Vergleich: Ihr täglicher Verbrauch: $5 \text{ kWh} = 5 \text{ kW} \cdot 3.600 \text{ s} = 18.000 \text{ kJ}$



2,7 V, 3.000 F, 1 l, 1,5 kg

Wieviel **Energie (kJ)** speichert der Kondensator?

$$Q = 2,7 \text{ V} \cdot 3.000 \text{ F} \approx 8.000 \text{ C}$$

$$E = Q \cdot U = 8.000 \text{ C} \cdot 2,7 \text{ V} \approx 22.000 \text{ J} = \mathbf{22 \text{ kJ}}$$

$$\text{d.h., wir brauchen } N = \frac{18.000 \text{ kJ}}{22 \text{ kJ}} \approx 800 \text{ Stück!}$$



→ 1,2 t Gewicht, 800 l Volumen

Einsatz z. B. in Straßenbahnen

Zwischenergebnis: Ladungen und Ströme:

Ladungen:

- Üben Kräfte aus (→ Demonstrationen).
- Es gibt zwei Arten: **positiv** und **negativ**.
- Elektrische Felder üben auf Ladungen Kräfte aus.
- Ladungen und Feld speichern (elektrische) Energie
- Handliche Eigenschaft von Ladungsquellen:
Die Spannung in Volt.

Ströme:

- Ladungen sind (nicht immer) beweglich:
- Ladungen bewegen sich in geschlossenen „Stromkreisen“.
Der Strom fließt vom **positiven** → **negativen** Pol.
(Achtung: Elektronen bewegen sich in der umgekehrten Richtung!)
- Ströme gefährden Leben, sind aber dafür auch essentiell.

Vorlesung am 24.10.2024

Einführung: Was ist Physik?

- Ladungen
- **Ladungsquellen**
- Ströme

Ladungsquellen, aus denen wir Energie (als Strom) entnehmen:

(Spannungs-, Stromquellen)

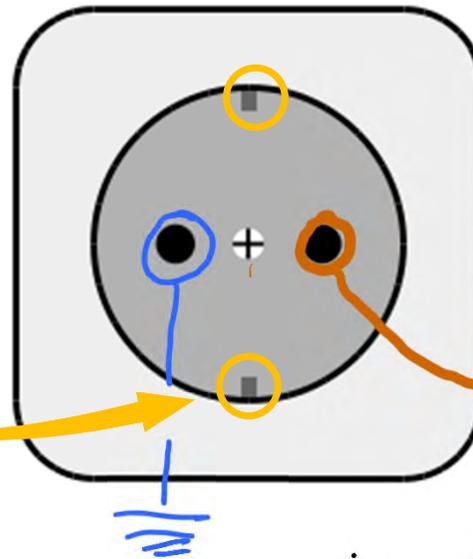


© Joachim Herz Stiftung



- Kondensatoren
- Batterien
- „aus der Steckdose“

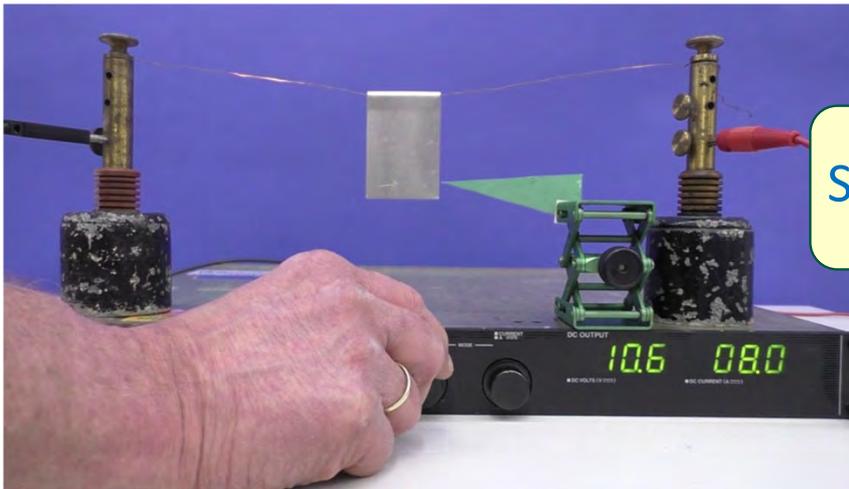
Wozu dient eigentlich der dritte Pol?



Wenn eine Spannung anliegt, können Ströme fließen

In leitfähigen Materialien ...

Nach dem **Ohmschen Gesetz** (Metalle, ...):

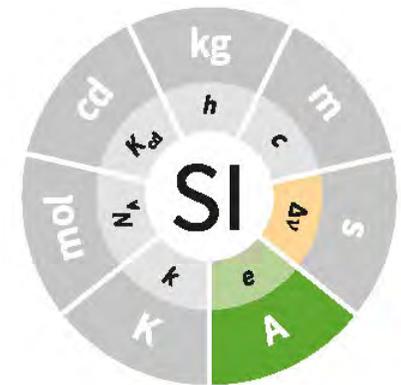


$$\text{Stromstärke } I = \frac{\text{Spannung } U}{\text{Widerstand } R}$$

Spannungsquelle

Verbraucher ...

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ V}}{1 \Omega} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$$

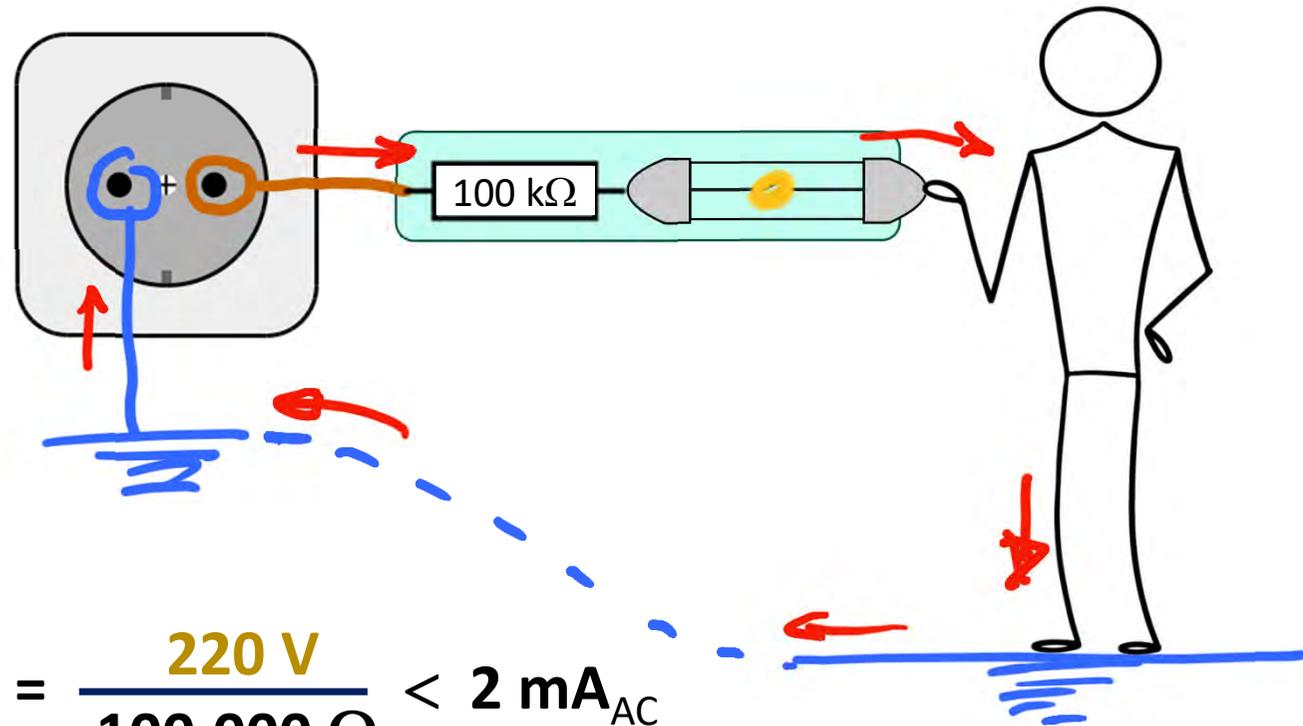


Ströme (verursacht durch Spannungen) sind gefährlich – wissen, messen, prüfen!



Phasenprüfer, besser: Lügenstift!

Aber was drin steckt ist interessant!



Glimm-Lampen überall



zeigt Betriebszustand



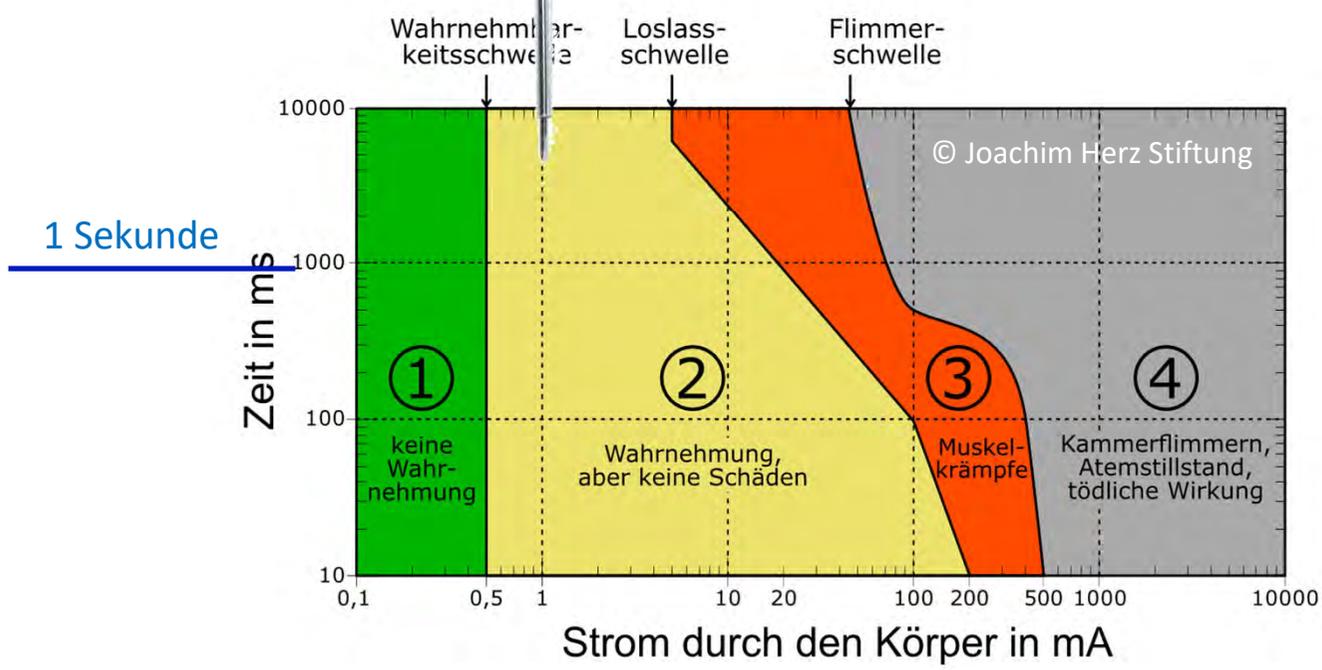


www.leifiphysik.de

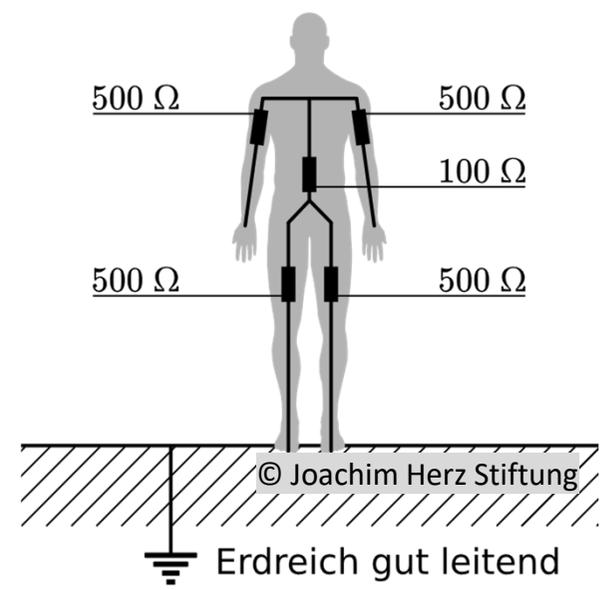
Der Phasenprüfer ist **ungefährlich**,
... **aber unzuverlässig, um spannungsfrei zu testen** ... (falsch negativ!)
(besser Zweipoltester!)



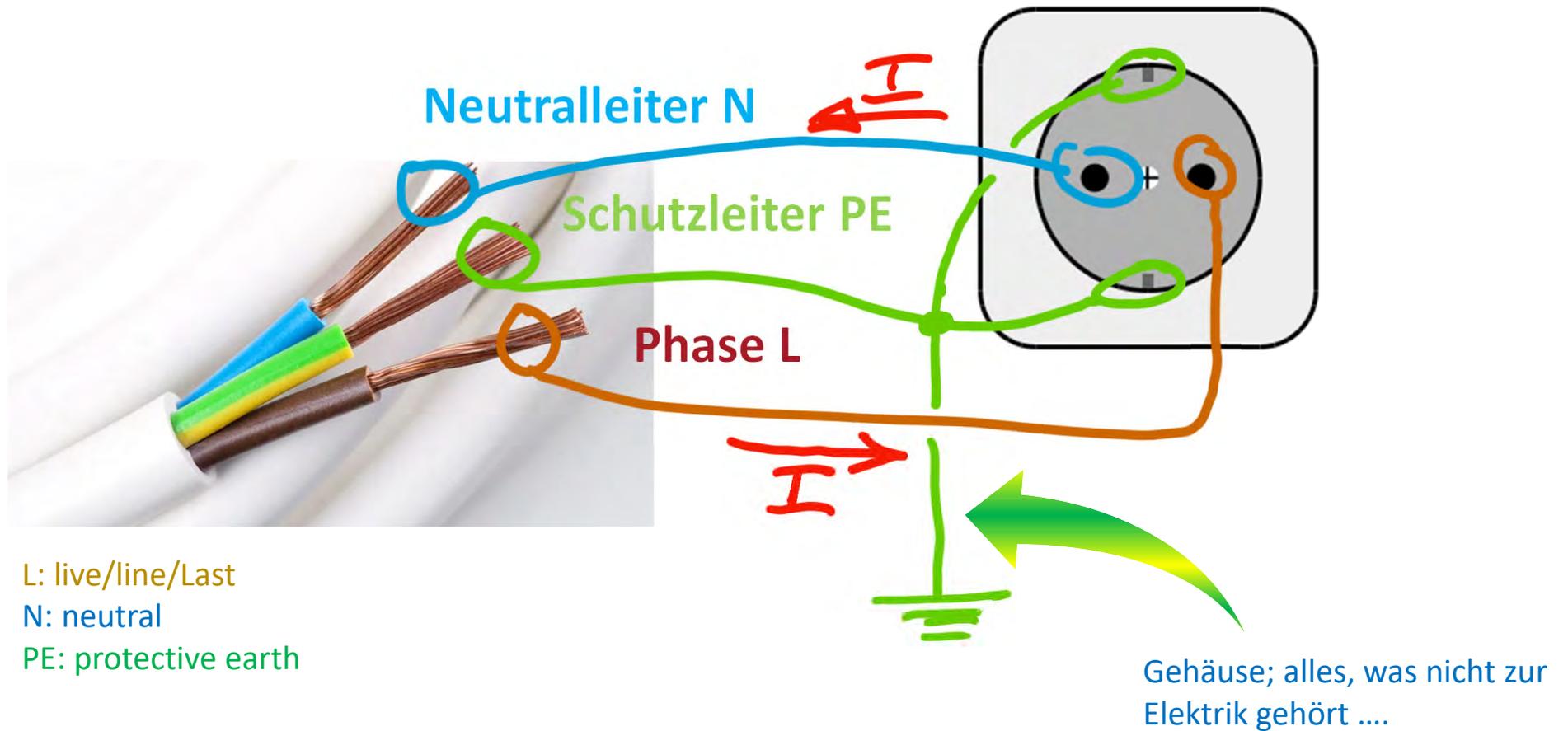
U > 50 V sind zuviel!!



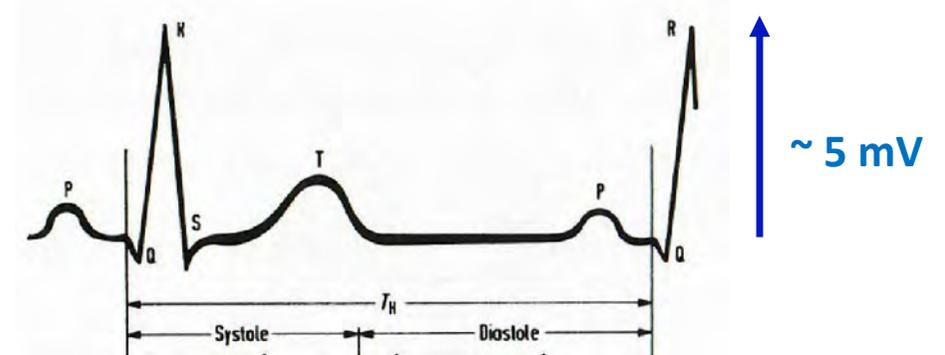
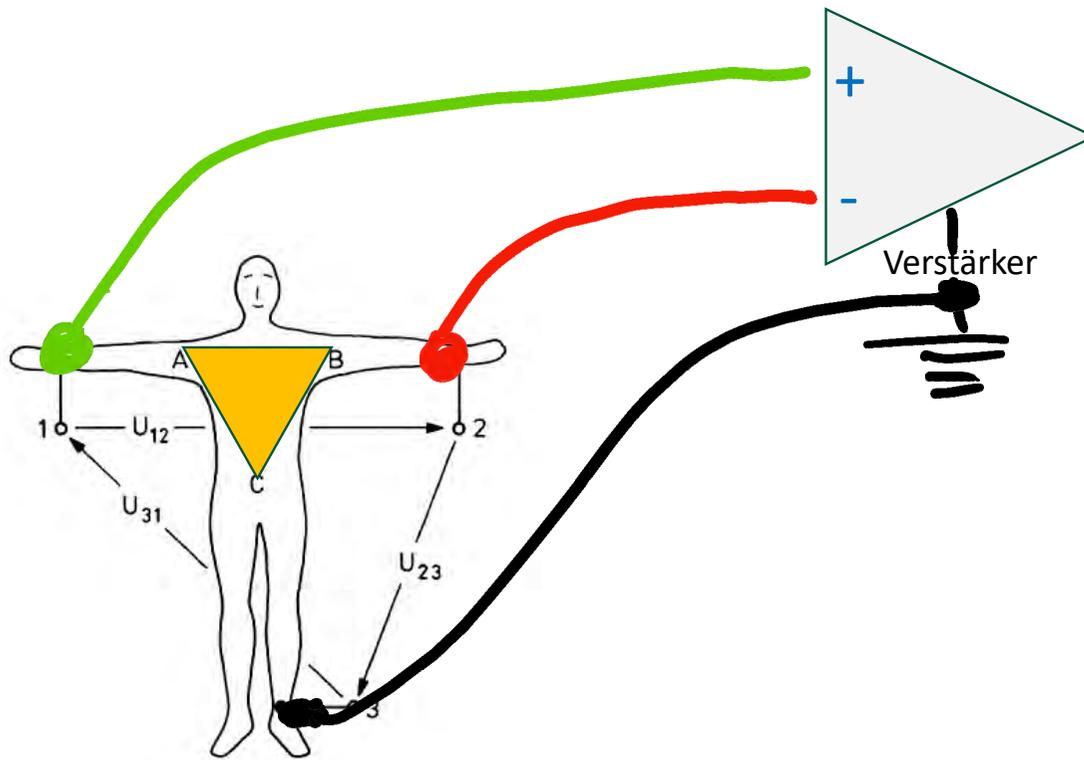
„Widerstandsmodell“
Des menschlichen Körpers



Ein Wort zur Hausverkabelung



→ Unser Körper als Ladungsquelle

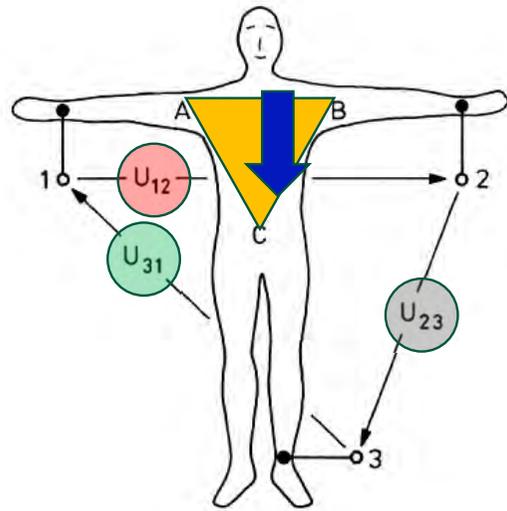


Willem Einthoven 1860-1927
Erfinder des EKG
1924 Nobelpreis f. Medizin

(Bio-)Physikalisch relevante Frage:

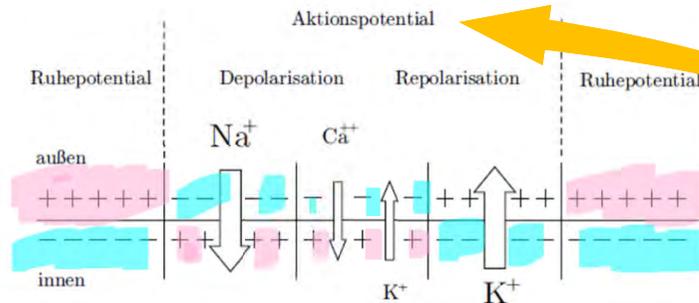
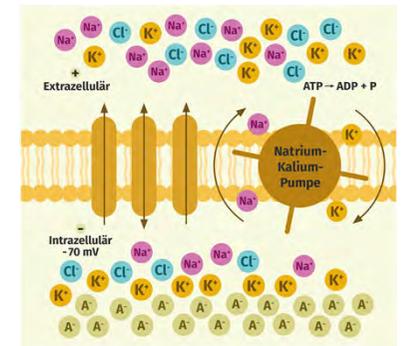
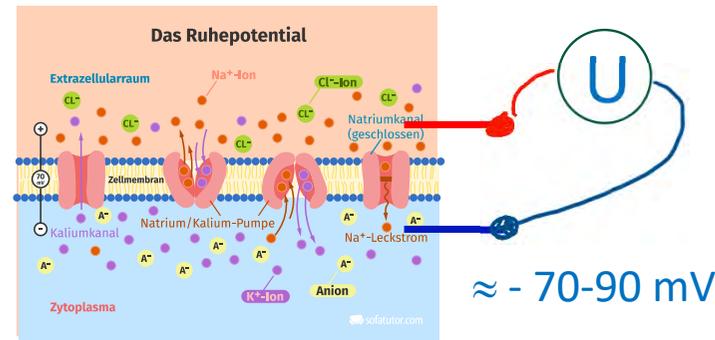
Was ist denn die Spannungsquelle  ?

Physikalisch (extrem vereinfacht):
 Der Herzmuskel verursacht
 ein „**rotierendes**“ elektrisches Feld,
 mit dem Spannungen verbunden sind



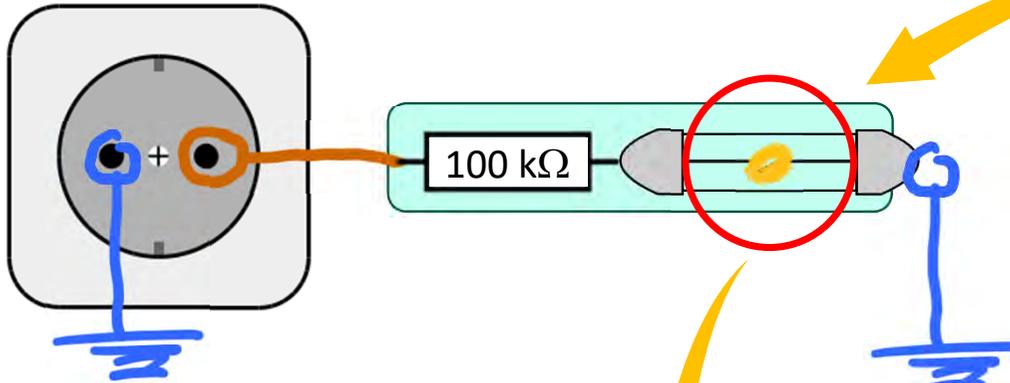
Biochemisch/physiologisch (extrem vereinfacht):
 Herzzellen sind dynamische Spannungsquellen.
 Ladungsträger sind Elektrolyte (→ Batterien).

© Bilder: <https://www.sofatutor.com>

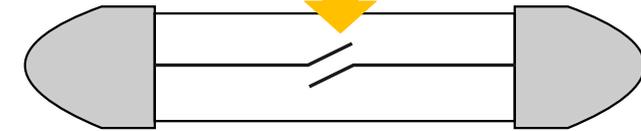


Herzschlag: (Kontraktion etc.)
 Elektrische **Nervenreizleitung**
 steuert den Ladungsaustausch
 der Zelle Innen/Außen

Wir müssen noch klären,
was in der Glimmlampe passiert

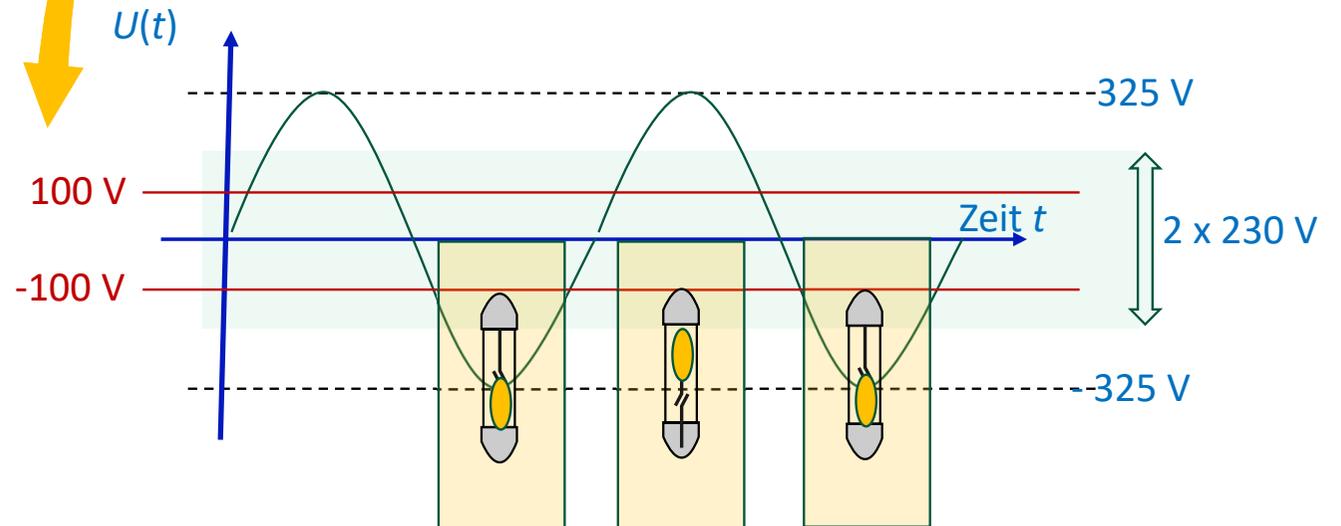


Gasentladung in Neon
1/1000 Atmosphärendruck, 1 mbar)



Wir treiben mit
230 V Wechselspannung!

Hier zündet die
Glimmentladung:



Wenn eine Spannung anliegt, können Ströme fließen



© Daniel Gebhard

In leitfähigen Medien: ionisierte Gase (Neon, Luft, ...) ...

Entladungen („Funken“)



Durchschlagfestigkeit von Luft:

$$\frac{\text{Spannung } U}{\text{Distanz } d} \approx 30.000 \text{ V/cm}$$

(In der Neonröhre wird der Druck erniedrigt, → Durchschlag tritt früher auf)

Bisher:

- Ladungen/Ströme transportieren Energie
- In Verbrauchern wird die Energie in Wärme(energie) umgewandelt
- Ströme erzeugen aber auch **magnetische Wirkungen:**

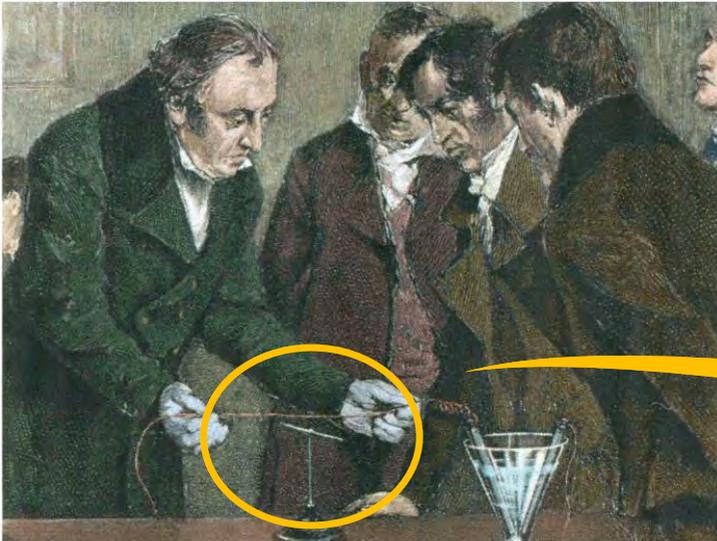
Eine der wichtigsten wissenschaftlichen Erkenntnisse des 19. Jhds:
→ Elektrizität und Magnetismus sind zwei Seiten derselben Medaille!

Vorlesung am 24.10.2024

Einführung: Was ist Physik?

- Ladungen
- Ladungsquellen
- **Ströme**

(Original in A. Privat-Deschanel, Elementary Treatise on Natural Philosophy, New York (1868); Wikipedia PD-Art)



H. C. Oersted um 1820

Ströme haben magnetische Wirkungen!



... und Magnetfelder wirken auf Ströme!

