

Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

(PFMF-V); 09410100

Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

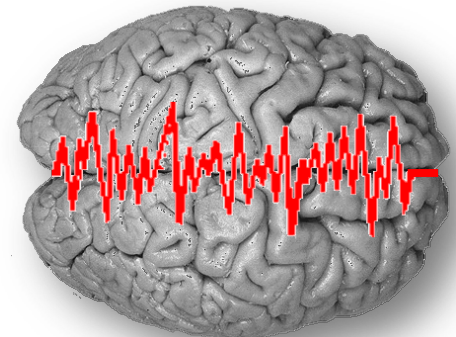
Elektrizitätslehre Teil 4

Am 05.05.2021

Dr. Simon Moser

Lehrstuhl für Exp. Physik IV,
Universität Würzburg

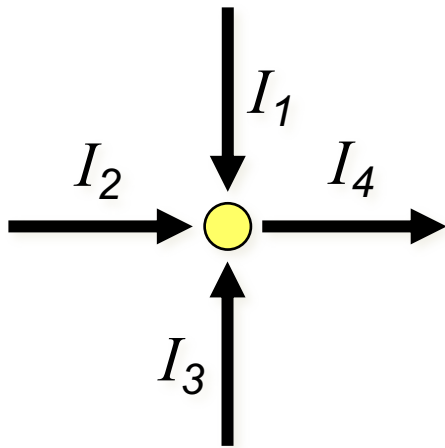
simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de



Wiederholung

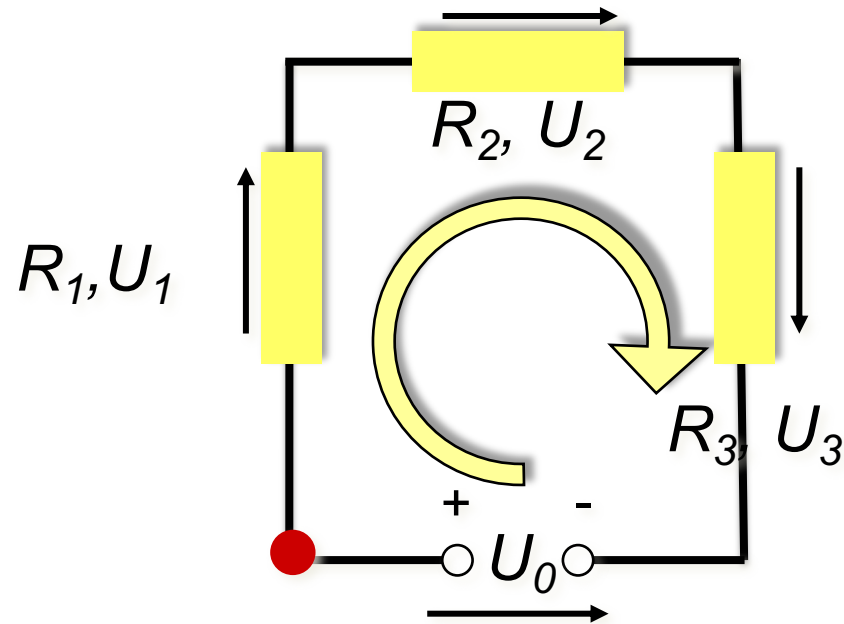
Kirchhoffsche Knotenregel

$$\sum_{zu} I_{zu} = \sum_{ab} I_{ab}$$



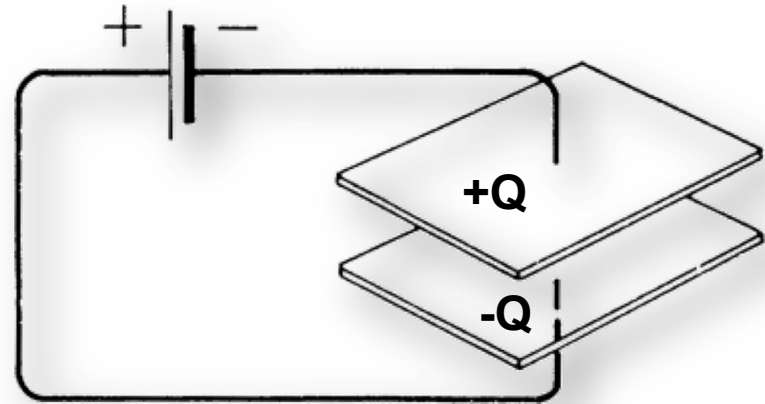
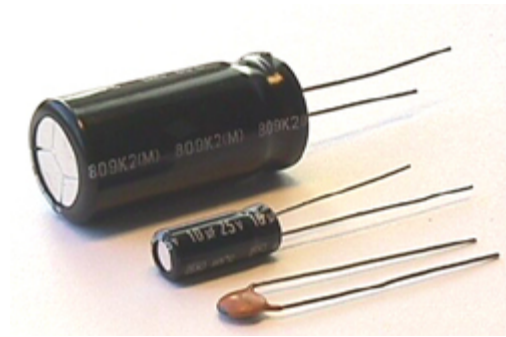
Kirchhoffsche Maschenregel

$$\sum_i U_i = 0$$



Kondensator

Im einfachsten Fall besteht ein Kondensator **aus zwei Metallplatten**, die sich nicht berühren (!) & entweder durch Luft oder durch ein sog. Dielektrikum (isolierend) getrennt sind.



Kapazität C ($[C] = \text{As/V} = \text{F} = \text{Farad}$) eines Kondensators gibt an, wieviel Ladung Q bei einer bestimmten angelegten Spannung U auf ihm gespeichert werden kann:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Kondensator ist ein Ladungsspeicher!

Elektr.
Schaltzeichen



Kondensator



$$C = \frac{Q}{U}$$

(Einheit: $\frac{C}{V} = \text{Farad} = F$)

- ① Die auf einem Kondensator speicherbare Ladung Q ist umso größer, je höher die angelegte Spannung U ist
- ② Kapazität C eines Kondensators ist umso größer, je kleiner die Spannung ist, die benötigt wird, um eine vorgegebene Ladungsmenge Q speichern zu können

Funktionen des Kondensators:

- Kondensator ist ein **Ladungsspeicher!**
- Kondensator ist ein effektiver **Energiespeicher** (elektr. Feldenergie)
- Kondensator dient dazu, um **definierte elektr. Felder zu erzeugen**
- Kondensator ist wichtiges **elektronisches Bauteil**

Kondensator

Handelt es sich speziell um einen Plattenkondensator,

so

gilt mit A = Plattenfläche, d = Plattenabstand:

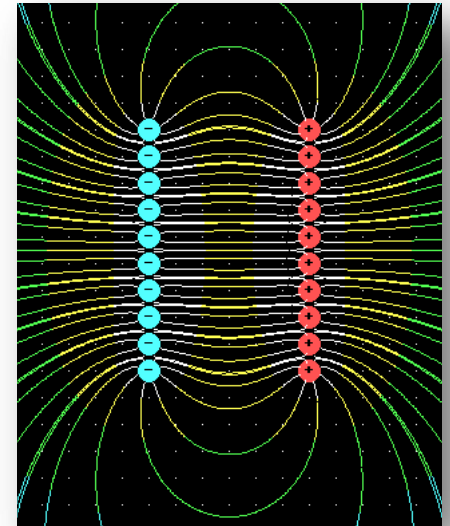
$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

ε_0 = elektr. Feldkonstante

$$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}}$$

Elektrisches Feld im Inneren eines Plattenkondensators ist **homogen**, d.h. an allen Stellen gleich groß. Der Betrag der Feldstärke E zwischen den Platten ist:

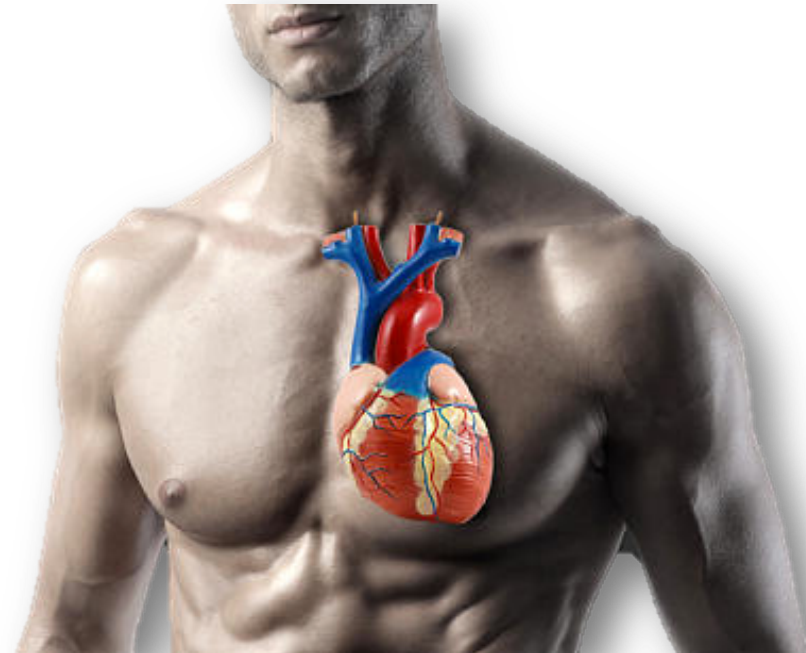
$$E = \frac{U}{d}$$



E -Feld in & um einen Plattenkondensator

Defibrillator-DEFI

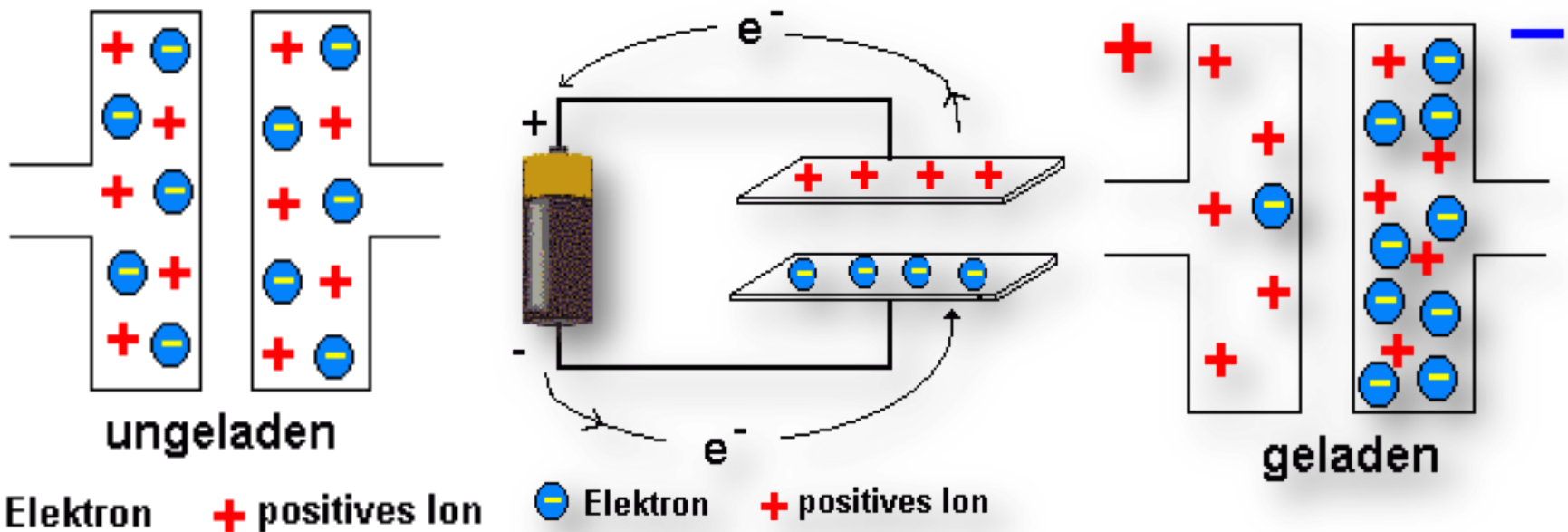
- Der plötzliche Herzstillstand ist die Todesursache Nr. 1. Die häufigste Ursache eines Kreislaufstillstandes ist das Kammerflimmern
- Wiederbelebung durch **Stromstöße** bei Personen mit Herzstillstand



- Zentrales Element eines **DEFI** ist ein aufgeladener Kondensator
- Kondensator kann die gespeicherte elektrische Energie, in einem kurzen Stromstoß wieder abgeben!
- **DEFI** Leistungsdaten: Strom 20A, Energiedeposition in 2.0 ms von 200J
- Elektrische Leistung 100kW !!!

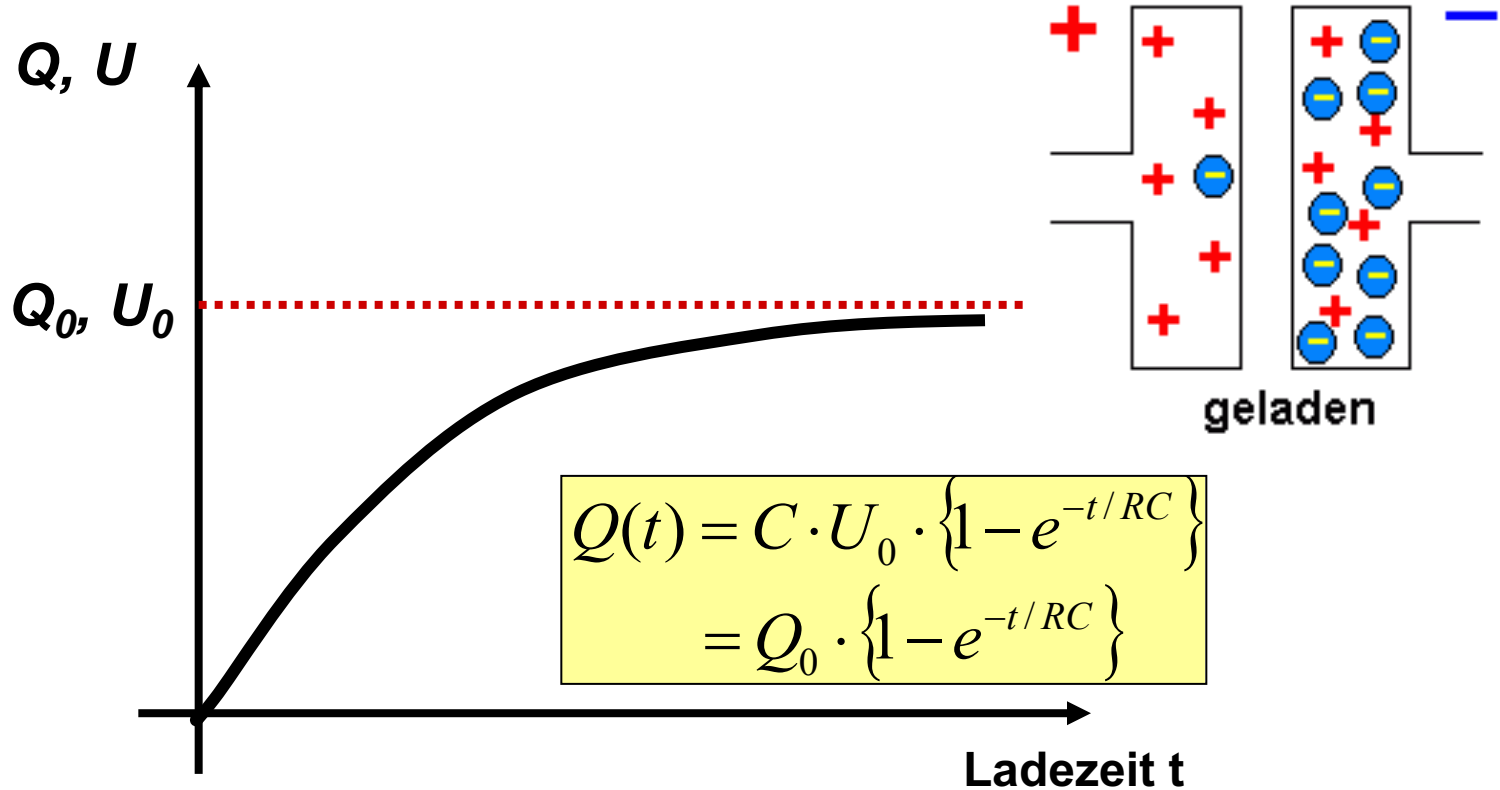
Laden eines Kondensators

- Aufladen erfolgt durch eine Spannungsquelle, z.B. Batterie, die dabei chemische Energie verliert.
- Die äußere Arbeit, die beim Aufladen verrichtet wird, besteht darin, die Ladungen zu trennen, d.h. Elektronen von der positiven Platte auf die negative Platte zu transportieren.



- Die zur Trennung aufgewandte Arbeit steckt in dem System der getrennten Ladungen als elektrostatische potentielle Energie, die bei der Entladung wieder freigesetzt werden kann

Laden eines Kondensators



U_0 = Spannung der Spannungsquelle

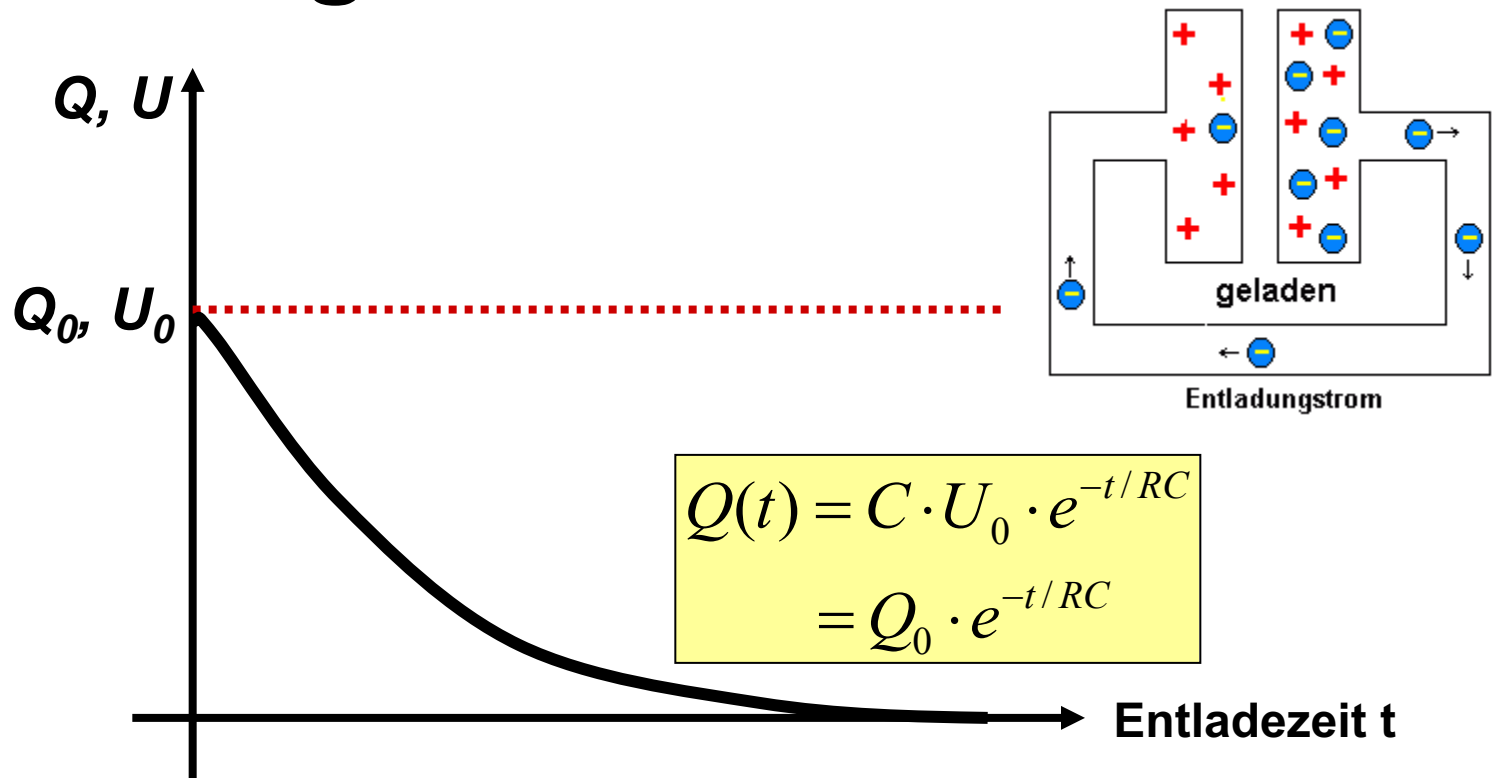
C = Kapazität des Kondensators

Q = Ladung auf den Platten

R = Ohmscher Widerstand

$\tau = R C$ = charakteristische Zeitkonstante

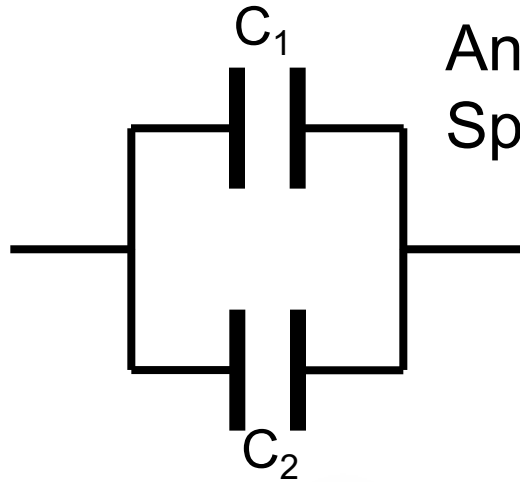
Entladung eines Kondensators



$$Q(t) = C \cdot U_0 \cdot e^{-t/RC}$$
$$= Q_0 \cdot e^{-t/RC}$$

U_0 = Spannung der Spannungsquelle
 C = Kapazität des Kondensators
 Q = Ladung auf den Platten
 R = Ohmscher Widerstand
 $\tau = R C$ = charakteristische Zeitkonstante

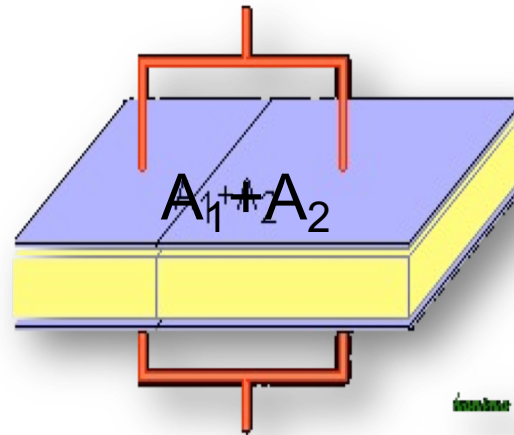
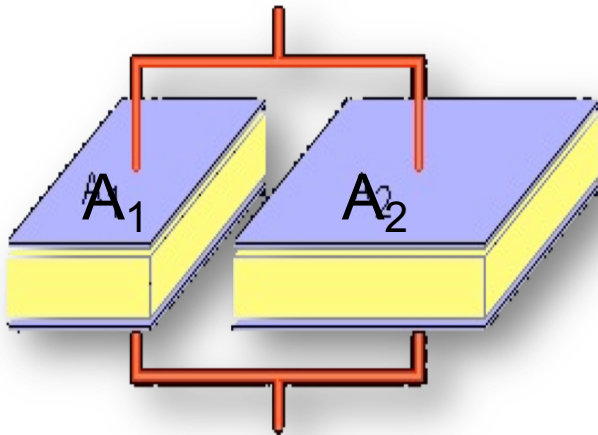
Parallelschaltung von Kapazitäten



An beiden Kondensatoren liegt die gleiche Spannung an !

$$C_{ges} = C_1 + C_2$$

Ersatzschaltbild



$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Fazit: Plattenfläche, auf der sich Ladungen ansammeln können, wird dadurch einfach größer

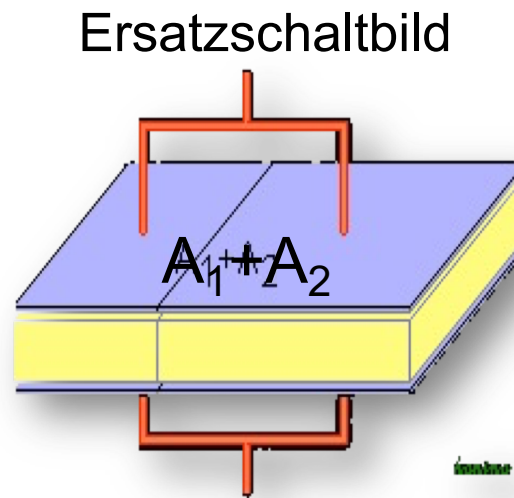
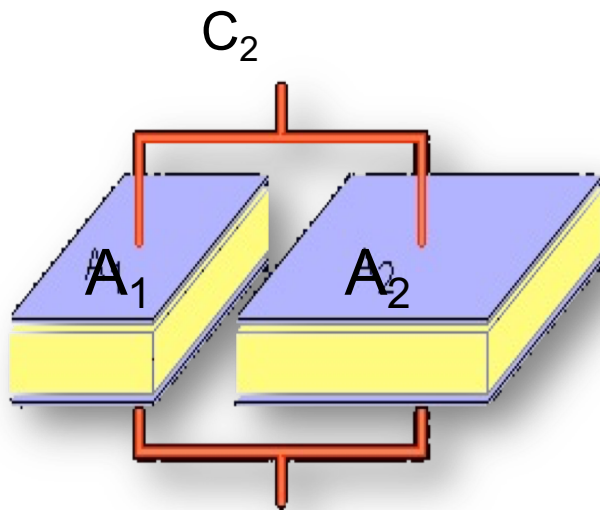
Parallelschaltung von Kapazitäten

$$C_{ges} = \epsilon_0 \cdot \frac{A_{ges}}{d} = \epsilon_0 \cdot \frac{A_1 + A_2}{d}$$

$$C_1 = \epsilon_0 \cdot \frac{A_1}{d}$$

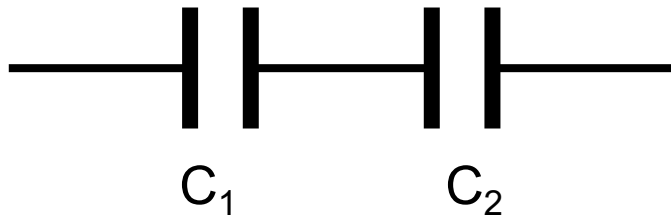
$$C_2 = \epsilon_0 \cdot \frac{A_2}{d}$$

$$C_{ges} = C_1 + C_2$$

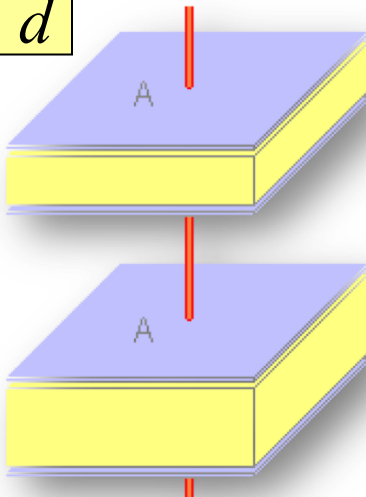


Reihenschaltung von Kapazitäten

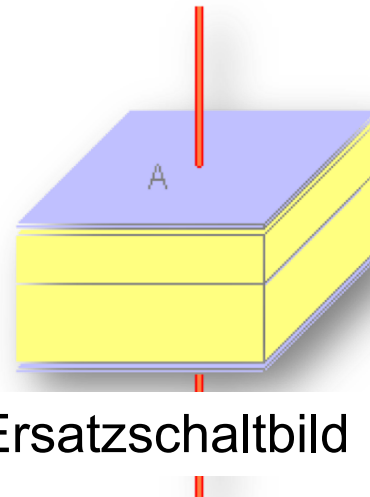
Reihenschaltung:



$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$



$$C_{ges} = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_{ges}} = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_1 + d_2} \Rightarrow \frac{1}{C_{ges}} = \frac{d_1 + d_2}{\varepsilon_0 A}$$
$$C_1 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_1} \Rightarrow \frac{1}{C_1} = \frac{d_1}{\varepsilon_0 A}$$
$$C_2 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_2} \Rightarrow \frac{1}{C_2} = \frac{d_2}{\varepsilon_0 A}$$



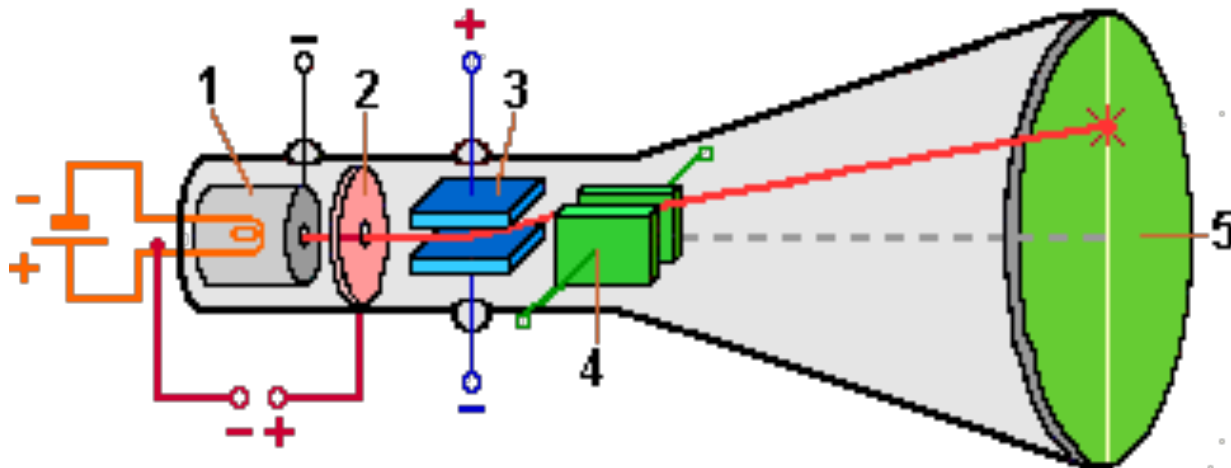
$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Wo spielen freie Ladungen im elektrischen Feld eine Rolle?

Elektronen im Vakuum:

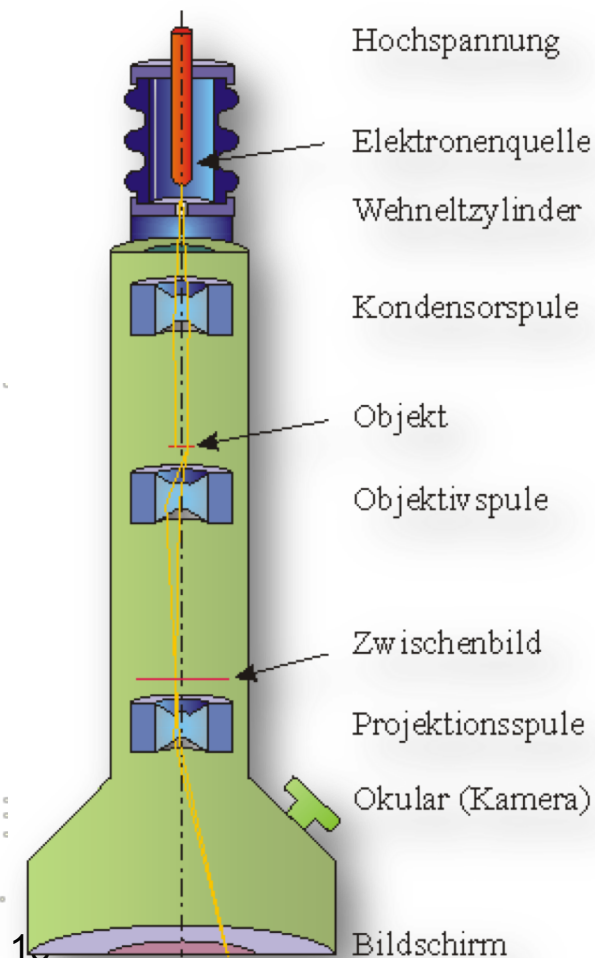
- Röntgenröhre
- Elektronenmikroskop
- Braunsche Röhre im Oszilloskop

Millikanversuch: Bestimmung von e^-



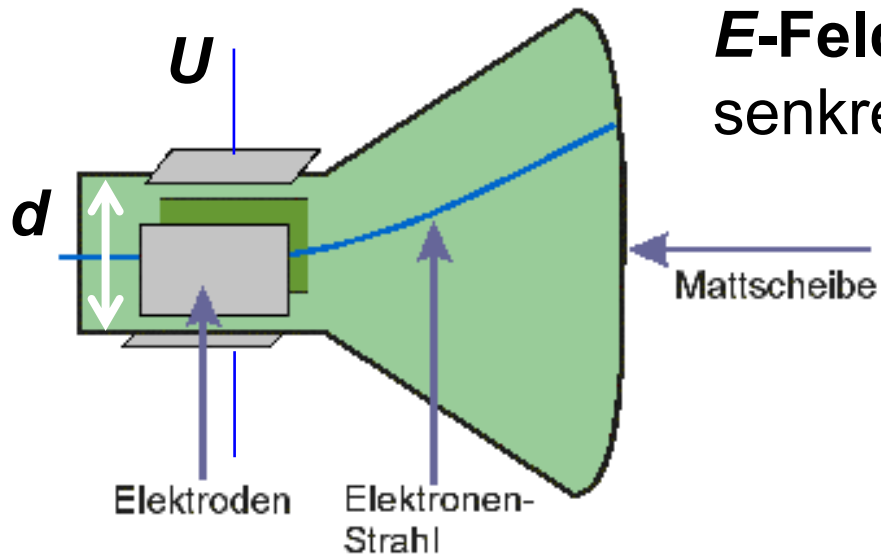
Braunsche Röhre

Elektronenmikroskop



Grüniger, 2002

Braunsche Röhre: Funktionsweise & Ablenkung



E -Feld:

senkrecht zur Bewegungsrichtung

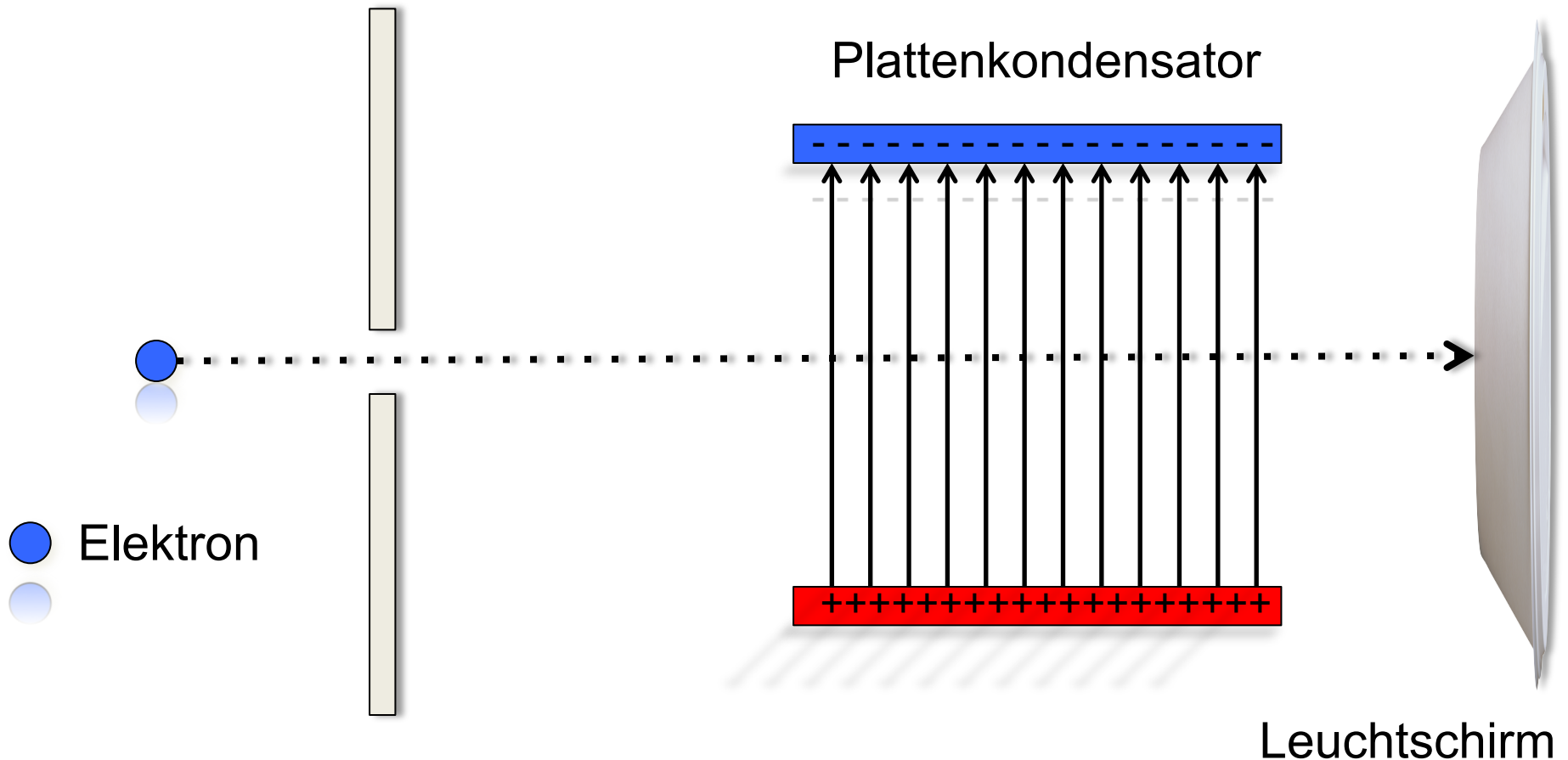
$$E = \frac{U}{d}$$

Plattenpaar: Ablenkung des Elektronenstrahls

- ① Liegt an den senkrecht zur Elektronenstrahlrichtung stehenden Plattenpaaren keine Spannung an, so passiert sie der Strahl geradlinig
- ② Wird von außen eine Spannung U angelegt, so bildet sich zwischen den Platten (Abstand d) ein homogenes elektrisches Feld aus: **Kraft!**
- ③ Die resultierende **Ablenkung** die ein Elektron innerhalb der Platten erfährt ist **direkt proportional zur angelegten Plattenspannung U**

Braunsche Röhre: Ablenkung

Elektronenstrahl wird durch elektrisches Querfeld abgelenkt

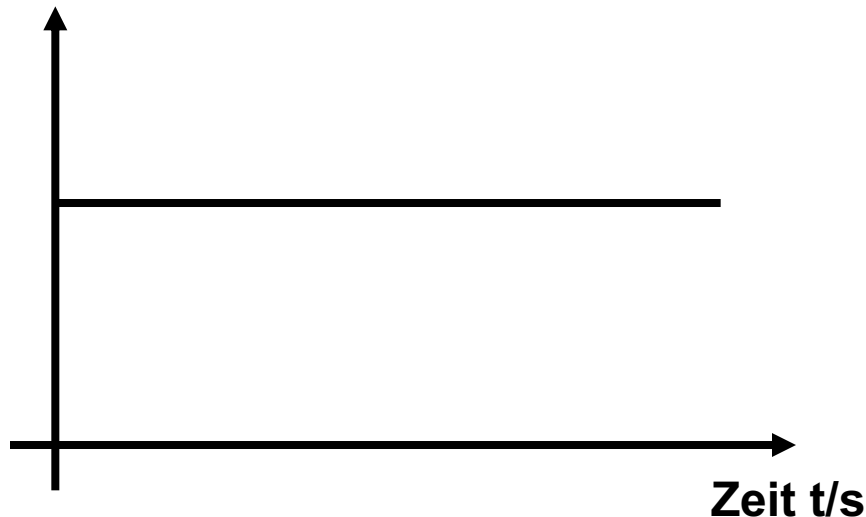


Gleichstromkreis (dc)

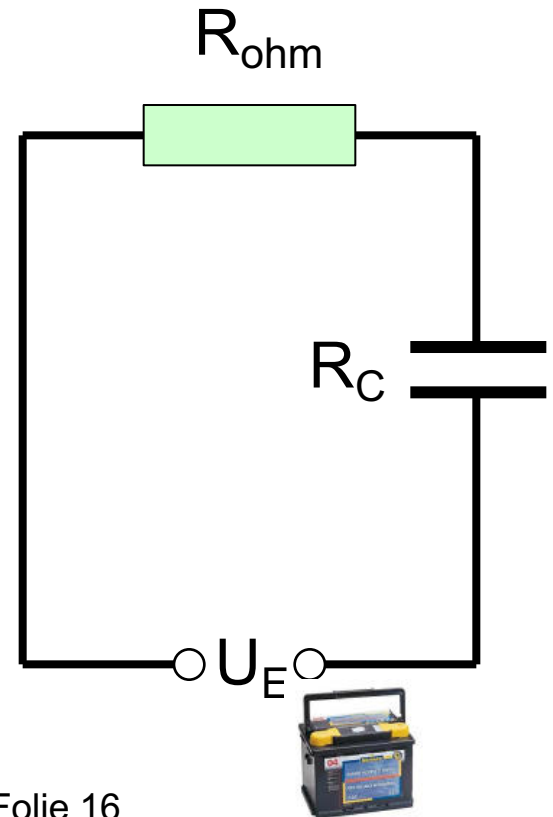
Gleichstromkreis (dc):

Vorzeichen der beiden Pole der Spannungsquelle ändert sich nicht, d.h. der eine ist immer positiv und der andere immer negativ geladen

Spannung U /V



$$U = U(t) = \textit{konstant}$$

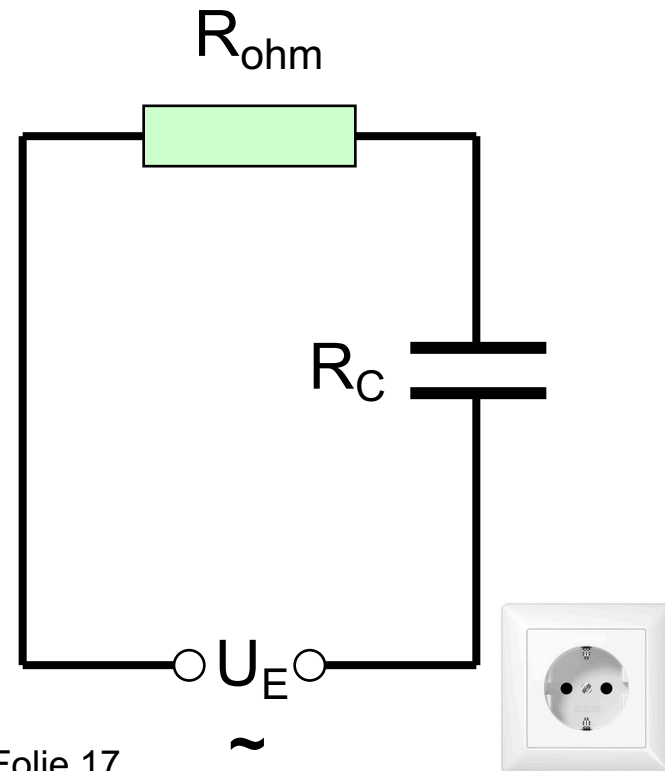
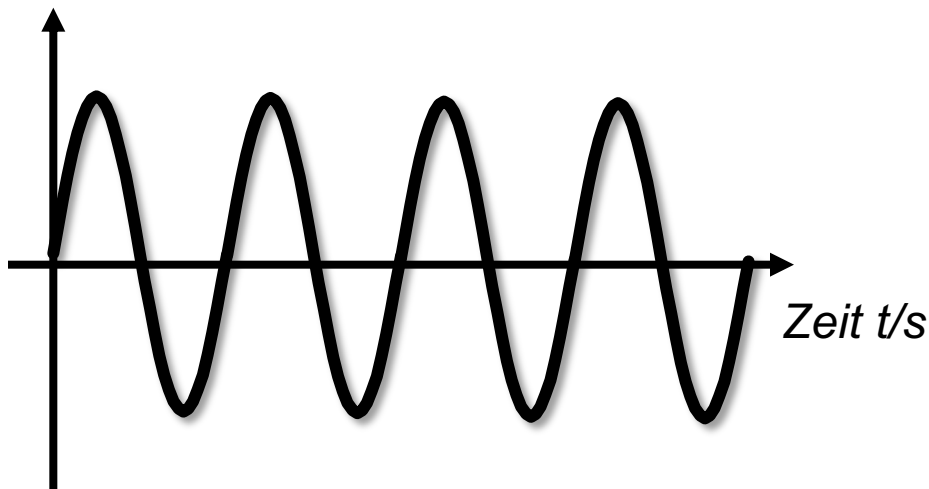


Wechselstromkreis (ac)

Wechselstromkreis (ac):

- Im Gegensatz zum Gleichstrom ändern beim Wechselstrom die Ladungsträger periodisch ihre Richtung
- Stromrichtung kehrt mit der Zeit periodisch um, d.h. die Pole der Spannungsquelle **wechseln periodisch ihr Vorzeichen**

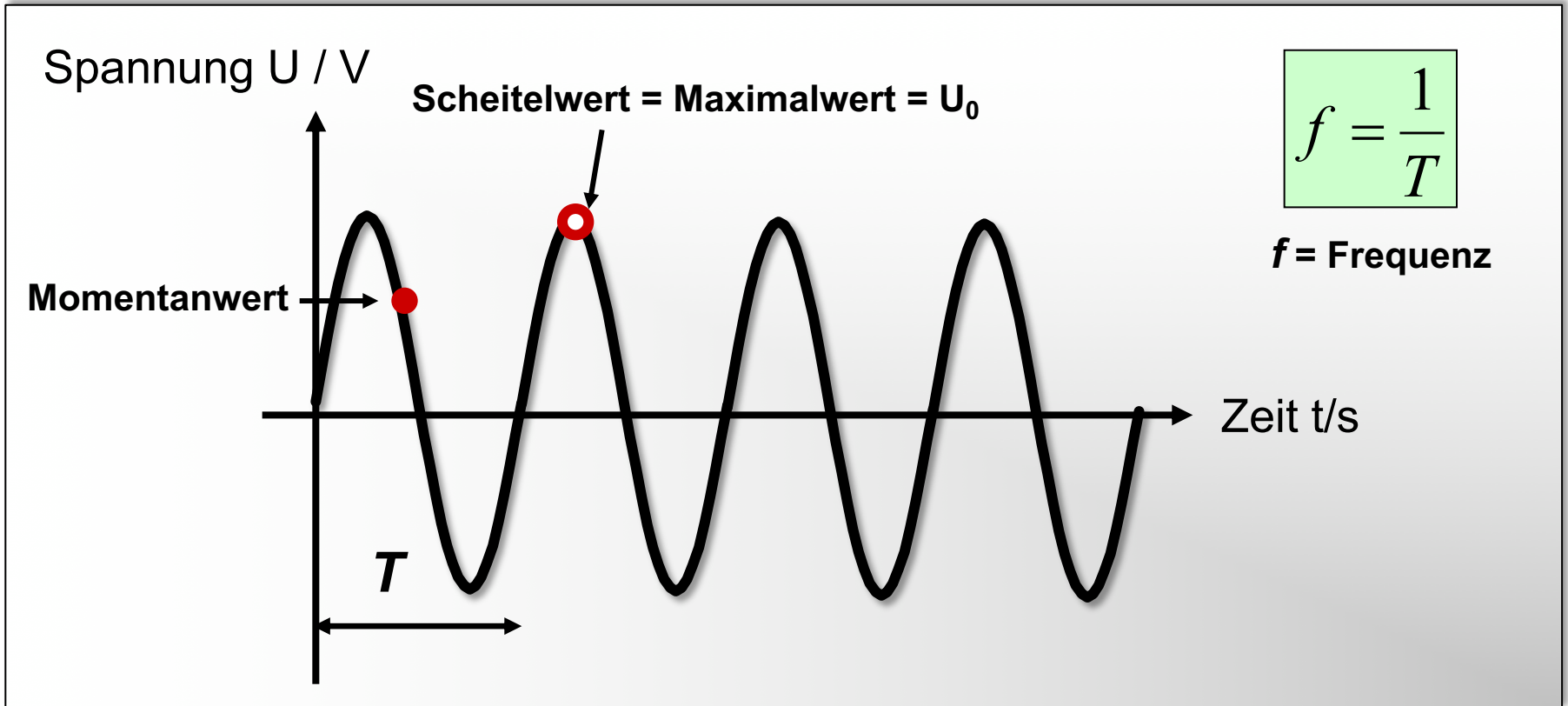
Spannung U / V



Wechselstromkreis (ac)

Wechselstrom (ac), „sinusförmig“:

Momentan-, Scheitel- und Effektivwerte für Strom und Spannung



Periodendauer T = Zeit zwischen 2 gleichartigen Punkten im Spannungsverlauf. In Europa beträgt die Netzfrequenz 50 Hz ($T=20\text{ms}$), in USA 60 Hz.

Wechselstromkreis (ac)

Wechselstrom (ac), „sinusförmig“:

$$f = \frac{1}{T} \longrightarrow \omega = 2\pi \cdot f$$

f = Frequenz ω = Kreisfrequenz

Vollständig beschriebene(r) Wechselspannung/Wechselstrom:

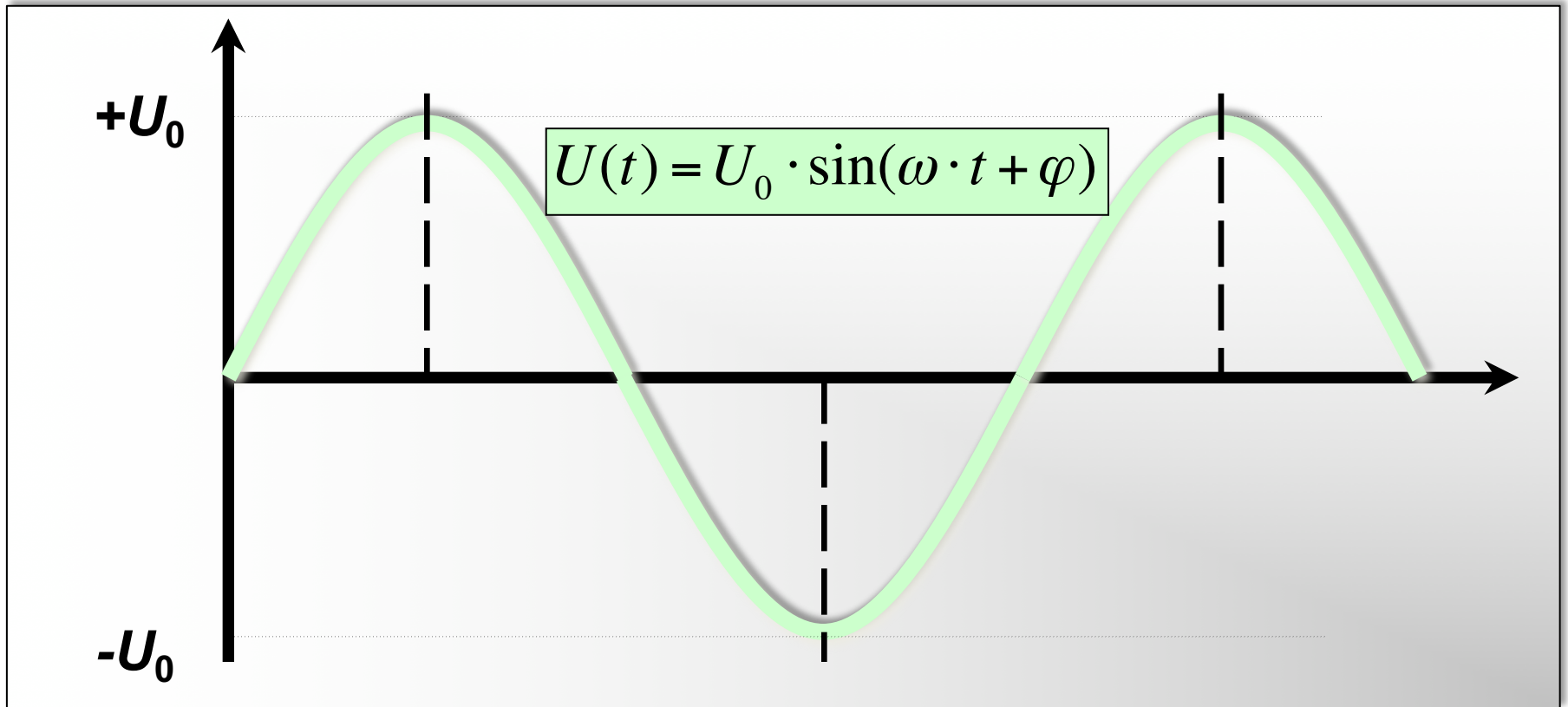
$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

φ = Phase

$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi')$$

ϕ' = Phase

Sinusförmige Schwingung



U_0 Amplitude

ω Kreisfrequenz [ω] = 1/s

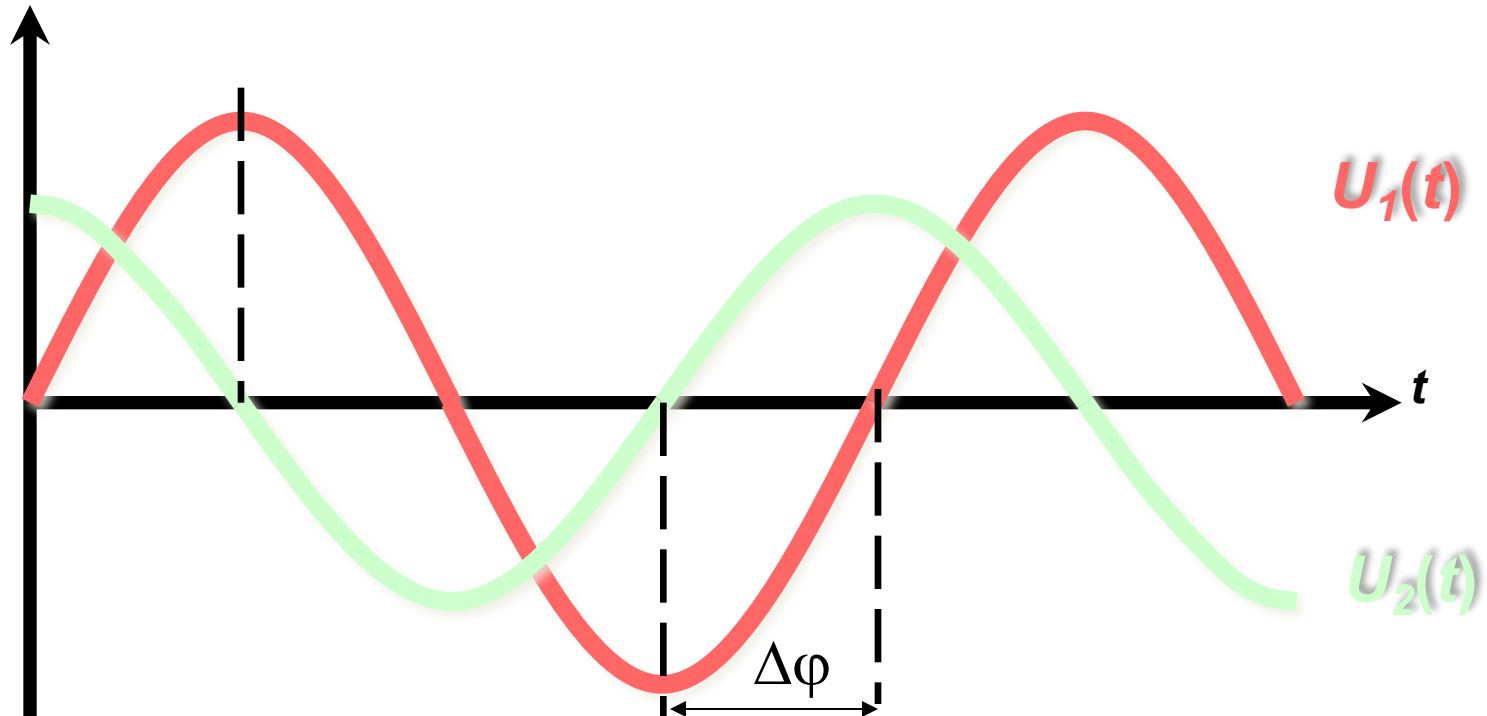
f Frequenz [ν] = 1/s = 1Hz (Hertz)

T Periodendauer [T] = s

φ Phasenverschiebung

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Phase



$$U_1(t) = U_{01} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1)$$

$$U_2(t) = U_{02} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_2)$$

$$\Delta\phi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad \text{Phasenverschiebung}$$