Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

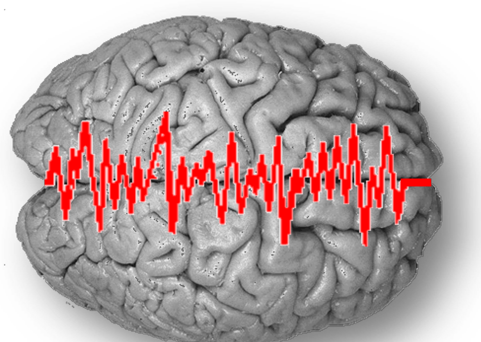
(PFMF-V); 09410100

Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

Elektrizitätslehre Teil 3

Am 04.05.2021

Dr. Simon Moser
Lehrstuhl für Exp. Physik IV,
Universität Würzburg
simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de



Ohmscher Widerstand

Spunge Ohm
1787-1854

<u>Definition:</u>

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

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

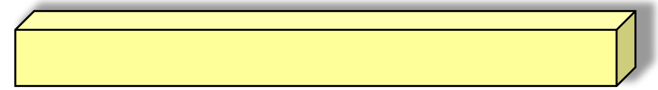
Ohmsches Gesetz

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)

Widerstand eines elektrischen Leiters

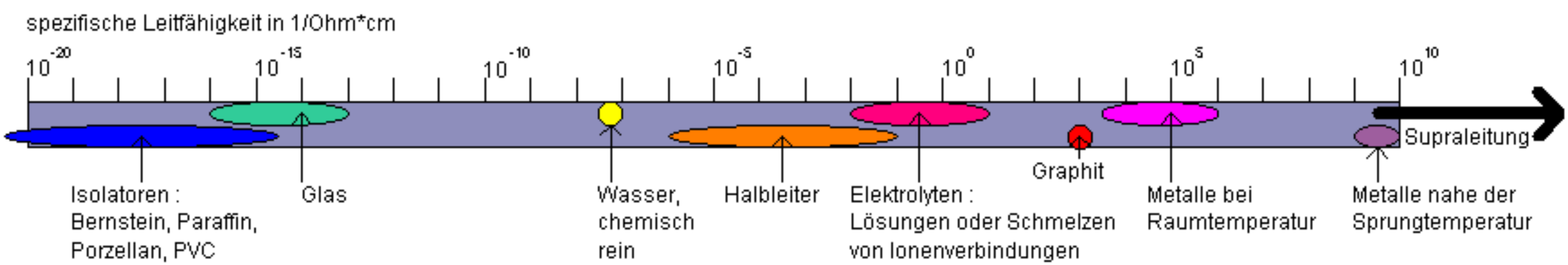
① Der Widerstand eines Leiters (z.B. eines Drahts) hängt vom verwendeten Material, der Länge *L* [m] und seiner Querschnittsfläche *A* [m²] ab



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

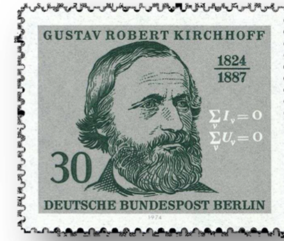
$$R = \rho \cdot L / A$$

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



30 Zehnerpotenzen !!!

Kirchoffsche Regel 1



Knotenregel:

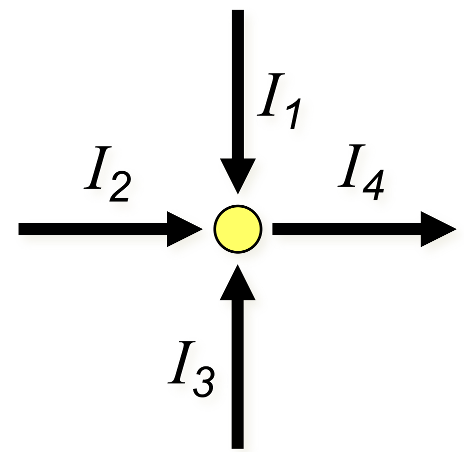
Knoten = Stelle in der Schaltung, wo mehrere stromführende Drähte zusammenlaufen

Summe aller Ströme, die auf einen **Knoten zufließen**, ist genau so groß wie die Summe aller Ströme, die von ihm **abfließen**:

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

Oder, wenn man die zufließenden Ströme positiv & die wegfließenden Ströme negativ rechnet:

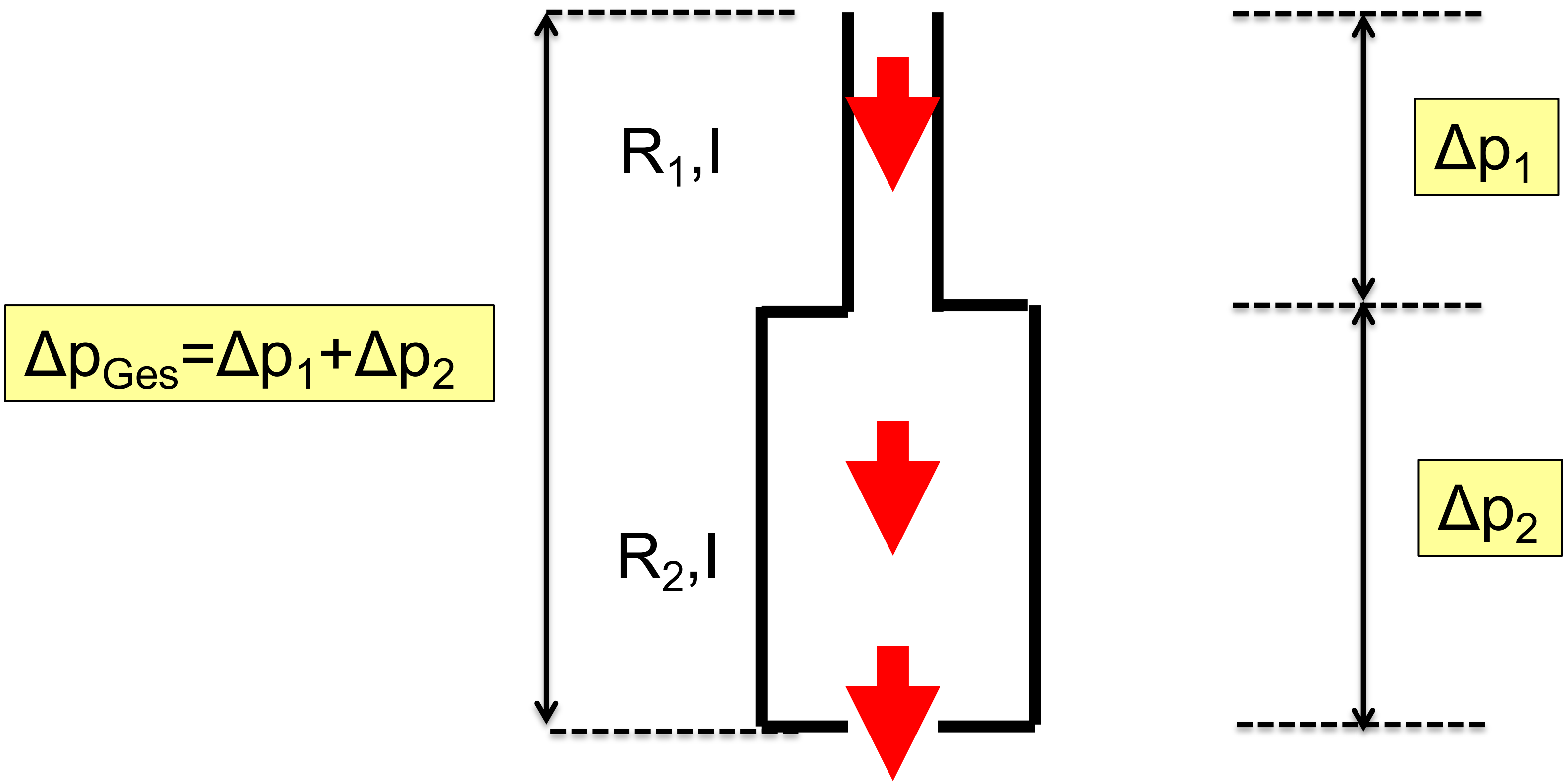
$$\sum_{j} I_{j} = 0$$



$$I_4 = I_1 + I_2 + I_3$$

Knotenregel = Ladungserhaltung !!!
(keine Quellen/Senken)

Kirchoffsche Regel 2,
Rückblick Hydrodynamik



Kontinuitätsgleichung: *I* =const.

Kirchoffsche Regel 2

Maschenregel:

Masche = geschlossener Stromkreis

Maschenregel besagt, dass die **Summe** der an den Bauteilen abfallenden **Spannungen Null** ist:

$$\sum_i U_i = 0$$

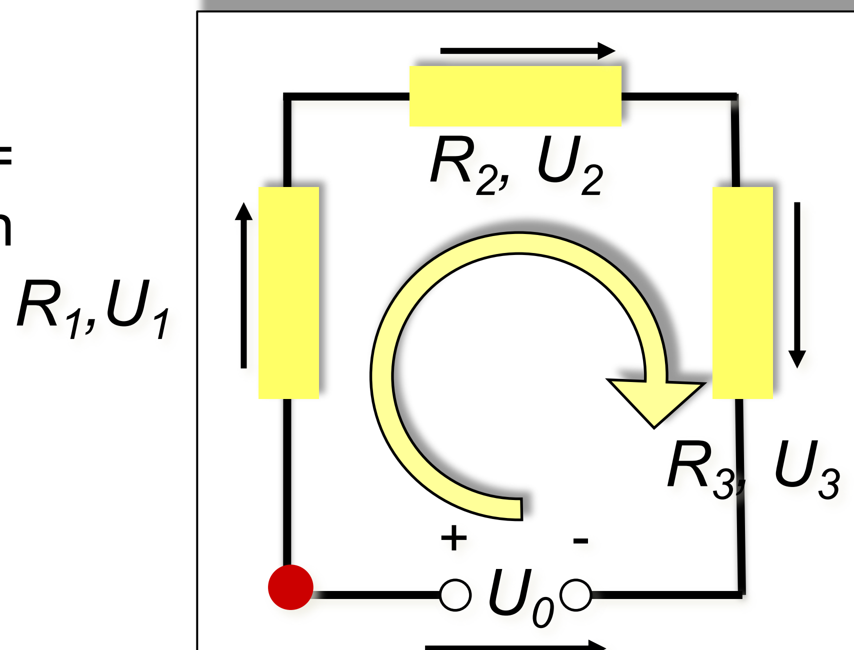
Energie, die eine Ladung in der Spannungsquelle erhält, ist gleich den Energien, welche sie auf einem Weg zum anderen Pol bei den Widerständen verliert!

In einer Masche gilt:

Größe der treibenden Spannung = Summe aller Spannungsabfälle an den Widerständen:

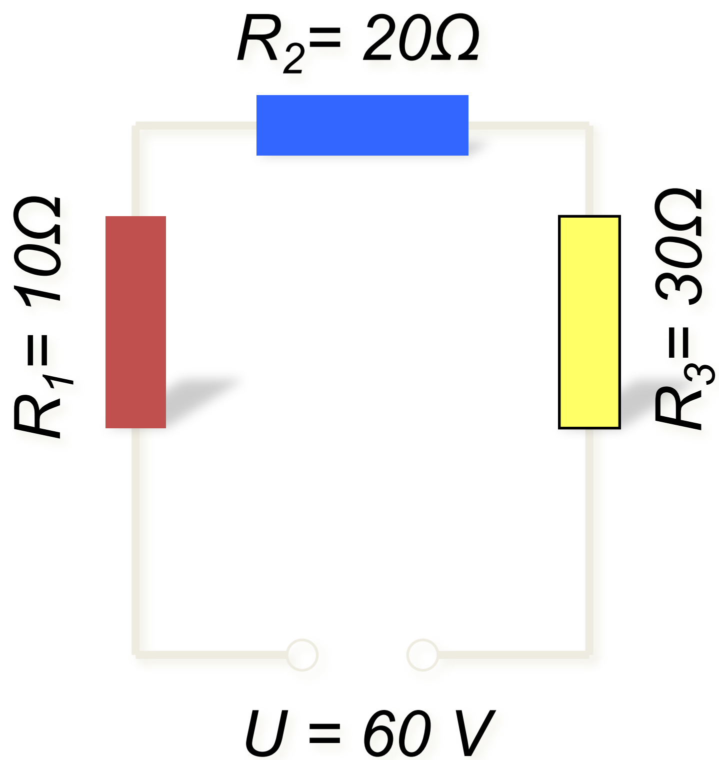
$$U_0 = \sum_k I \cdot R_k$$

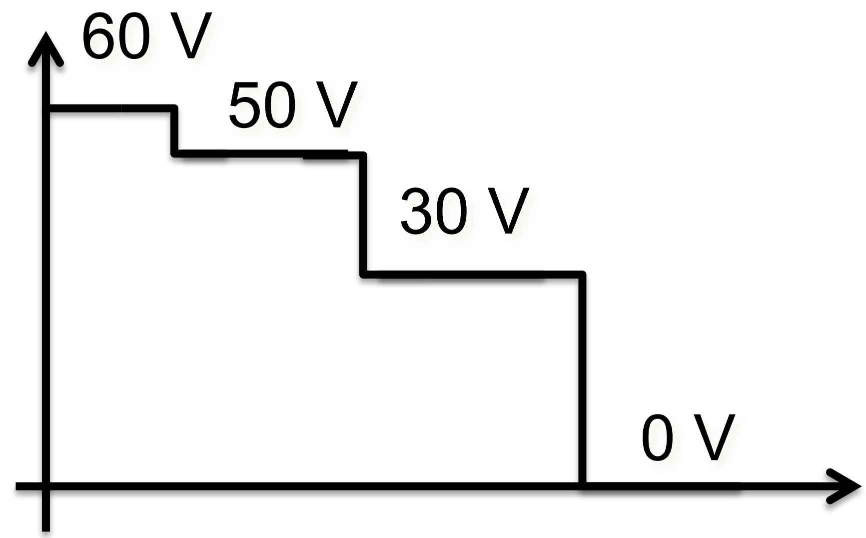
Maschenregel =
Erhaltung der Energie !!!



$$U_0 - U_1 - U_2 - U_3 = 0$$

Verschalten von Ohmschen Widerständen





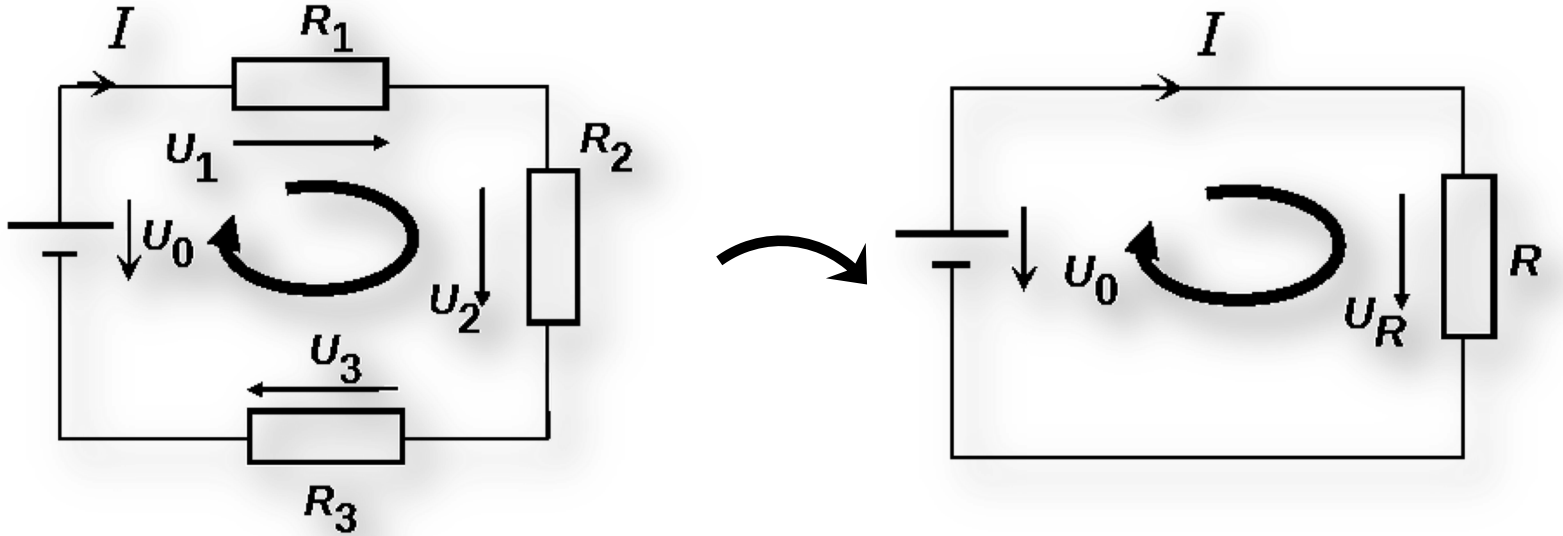
Spannungsabfall entlang dreier Widerstände:

1) Stromstärke $I = U/R_{ges} = 1A$
2) **Summe** der Spannungsabfälle entspricht der Spannung der Spannungsquelle

Reihen-/Serienschaltung

<u>**Forderung:**</u>

Die Widerstände R_1, R_2 und R_3 sollen so durch einen Widerstand R so ersetzt werden, dass in dem Kreis der **gleiche Strom *I*** fließt.

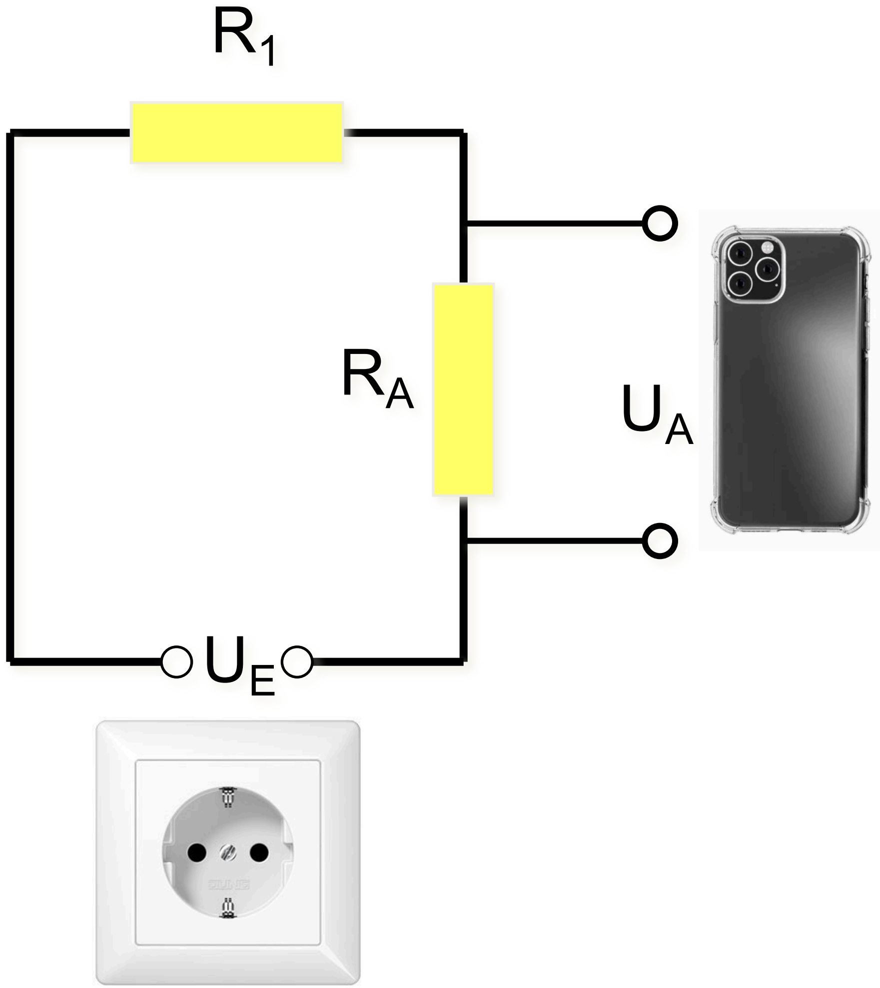


$$U_0 = U_1 + U_2 + U_3$$
$$= I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 = I \cdot R$$

$$\Rightarrow R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots = \sum_i R_i$$

Gesamtwiderstand = Summe der Teilwiderstände

Spannungsteiler/Potentiometer

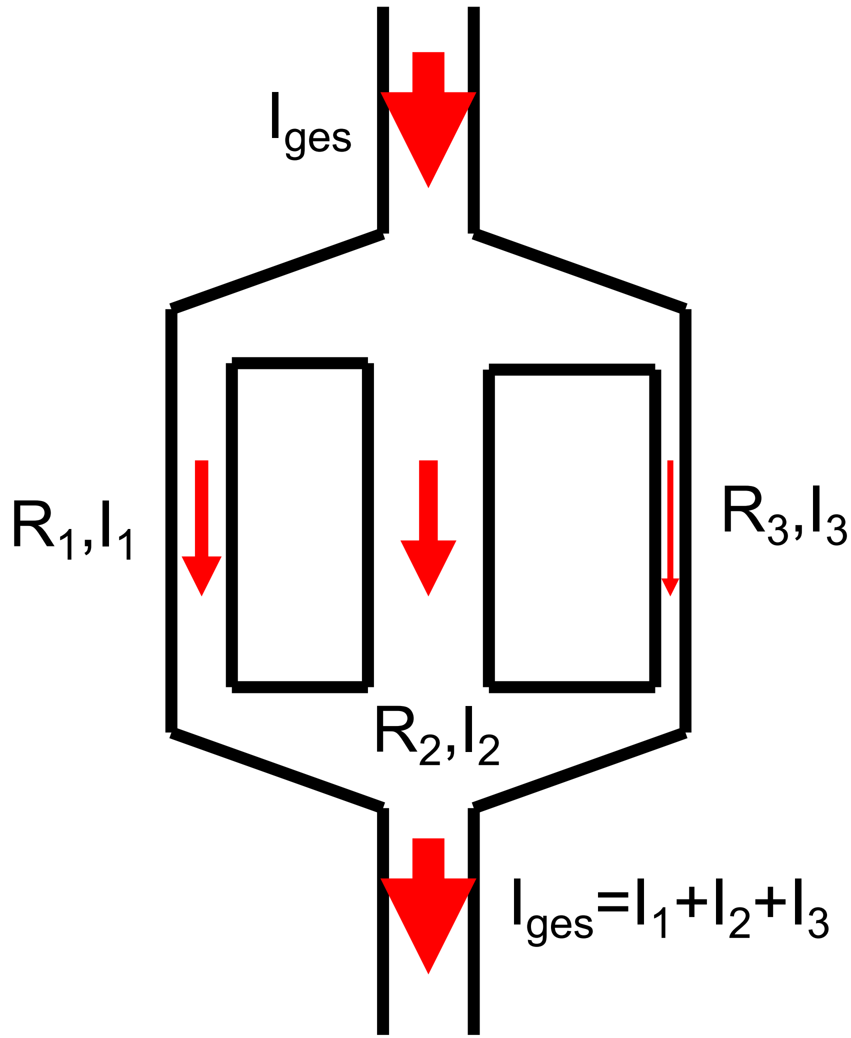


Nach Kirchhoff 1:

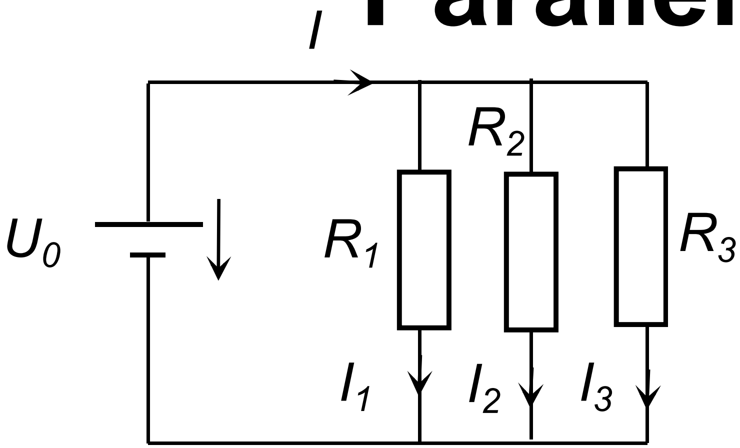
$$I = \frac{U_E}{R_{ges}} = \frac{U_E}{R_1 + R_A} = \frac{U_A}{R_A}$$

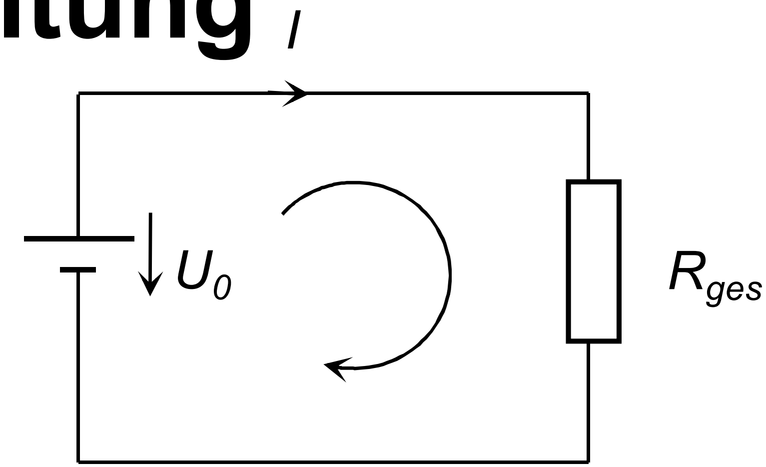
$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_A}{R_{ges}}$$

Parallelschaltung
Rückblick Hydrodynamik



Parallelschaltung





Knotenregel: $I = I_1 + I_2 + I_3$

Masche: $U_0 = I \cdot R_{ges}$

Maschenregel: $U_0 = I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_3$

Daraus folgt:

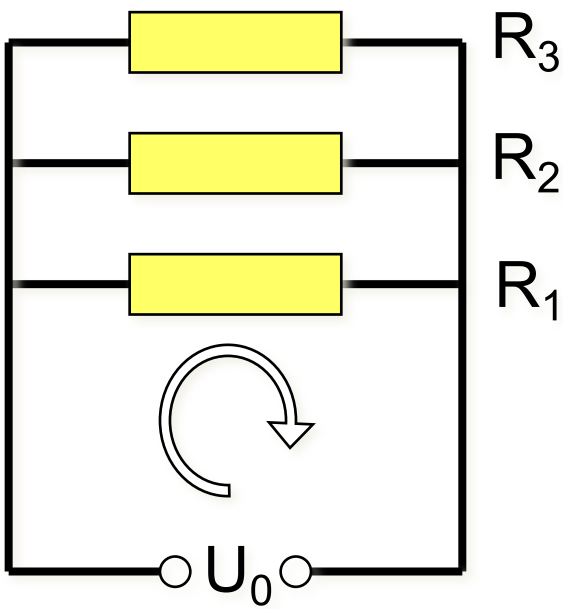
$$I = \frac{U_0}{R_1} + \frac{U_0}{R_2} + \frac{U_0}{R_3} = \frac{U_0}{R_{ges}}$$

Forderung: gleicher Strom in beiden Kreisen:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

Parallelschaltung

Parallelschaltung:



$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

Parallelschaltung von Widerständen

$$G_{ges} = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots = \sum_i G_i$$

Leitwert

Kehrwert des Gesamtwiderstands =
Summe der Kehrwerte der Teilwiderstände

Energieumsatz & Elektrische Leistung

Was wir bereits wissen: Um eine Ladung *Q* in einem elektrischen Feld *E* von einem Punkt zum einem anderen Punkt zu bringen, erfordert die **Arbeit** *W*:

$$\boxed{W = Q \cdot U}$$

U = Potentialdifferenz

Bekannt: ***Leistung = Arbeit/Zeit***

$$\boxed{W = Q \cdot U \Rightarrow \frac{W}{t} = \frac{Q}{t} \cdot U = I \cdot U}$$

$$\boxed{\Rightarrow P = I \cdot U}$$

Elektrische Leistung

$$\left[P\right] = V \cdot A = Watt \ \mathrm{W}$$

Elektrische Arbeit

Leistung = Arbeit pro Zeitintervall
Gesamte Elektrische Arbeit = Leistung mal Zeit

$$\boxed{W_{elektrisch} = U \cdot I \cdot t}$$

$[W_{el}]$ = V A s = Ws = J (Joule)

Gebräuchliche Einheit: kWh Kilowattstunde

1kWh = 1000 Wh = 3.6 10^6 J

Elektrische Energie wird in kWh verrechnet (1kWh ~ 0.20€)

1. 1kWh = 25 Stunden Brenndauer einer 40W Glühlampe
2. 225 Handyladungen
3. 1 Stunde mit 1000W Staubsauger

Standby Betrieb: 8-17% des Gesamtverbrauchs (Netzteile etc.)
In Deutschland: ca. 1 Kernkraftwerk für Standby-Versorgung

Ohmsche Leistung

An einem **Ohmschen Widerstand** wird die gesamte Leistung in **Wärme** umgewandelt = **Verlustleistung**

$$\boxed{P = U \cdot I}$$

Unter Verwendung der Definition des Widerstandes kann man direkt aus Strom oder Spannung die in einem Widerstand umgesetzte Leistung berechnen:

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

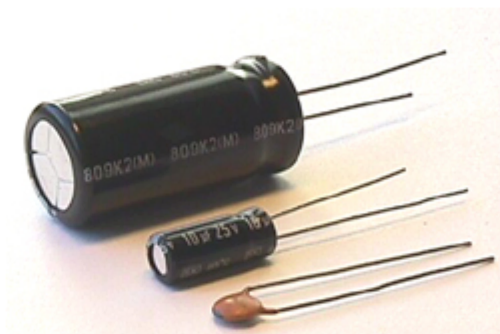
$$\boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$

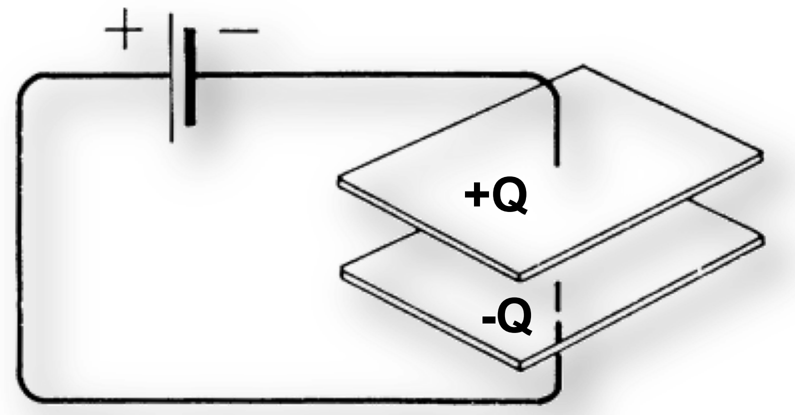
und mit $U = I \cdot R$ folgt:

$$\boxed{P = I^2 \cdot R}$$

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.



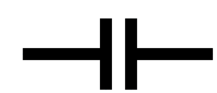


Kapazität C ([C] = As/V = F = Farad) eines Kondensators gibt an, wieviel Ladung *Q* bei einer bestimmten angelegten Spannung *U* auf ihm gespeichert werden kann:

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

Kondensator ist ein Ladungsspeicher!

Elektr. Schaltzeichen



Kondensator

$$\boxed{C = \frac{Q}{U}} \qquad \left(Einheit: \frac{C}{V} = Farad = F\right)$$

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**

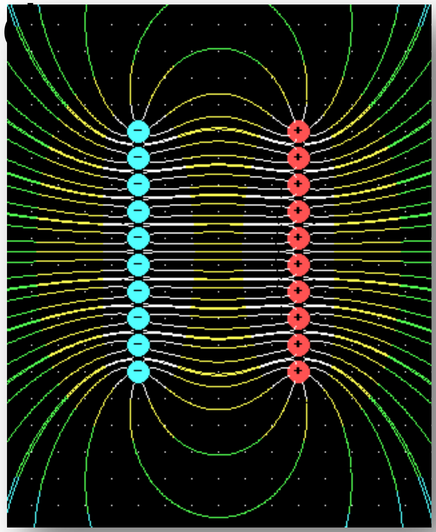
Kondensator

Handelt es sich speziell um einen Plattenkondensator, so
gilt mit A = Plattenfläche, d = Plattenabstand:

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

ε_0 = elektr. Feldkonstante

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



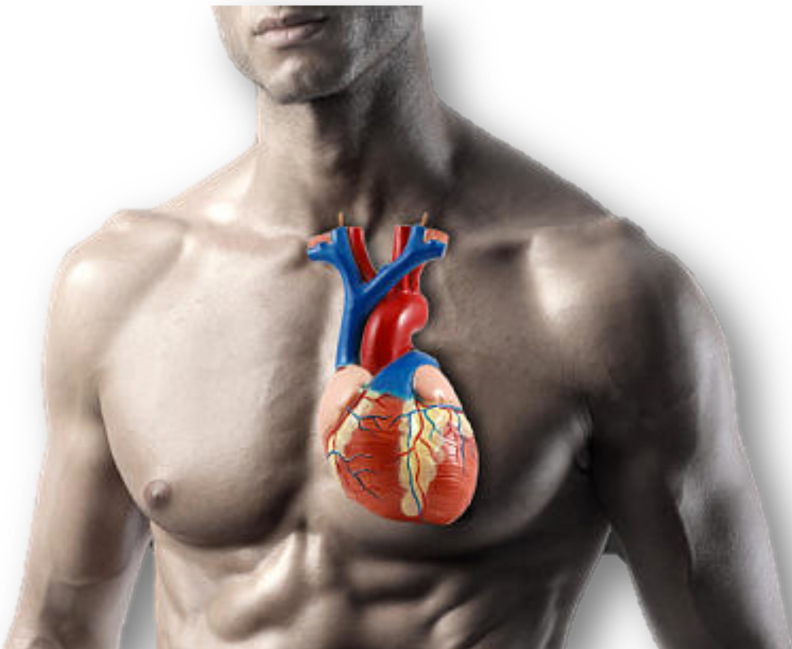
E-Feld in & um einen Plattenkondensator

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

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

Defillibrator-DEFI

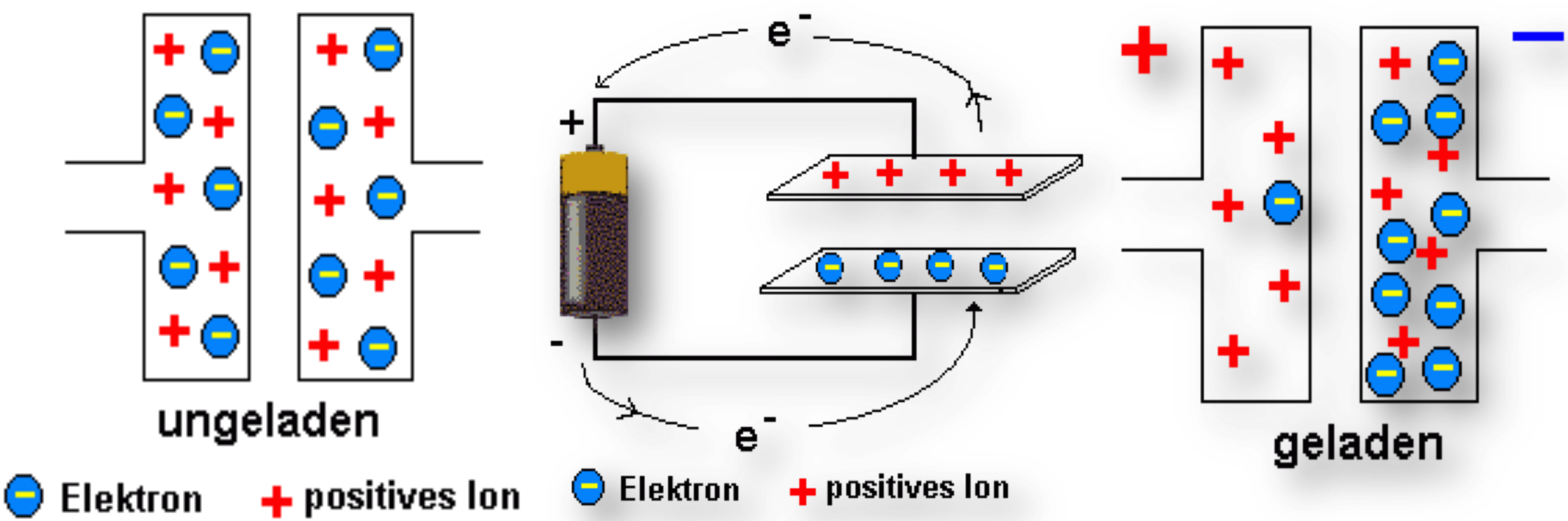
- Der plötzliche Herzstillstand ist die Todesursache Nr. 1. Die häufigste Ursache eines Kreislaufstillstandes ist das Kammerflimmern
- Wiederbelebung durch **Stromstöße** bei Personen mit Herzstillstand



- 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 !!!

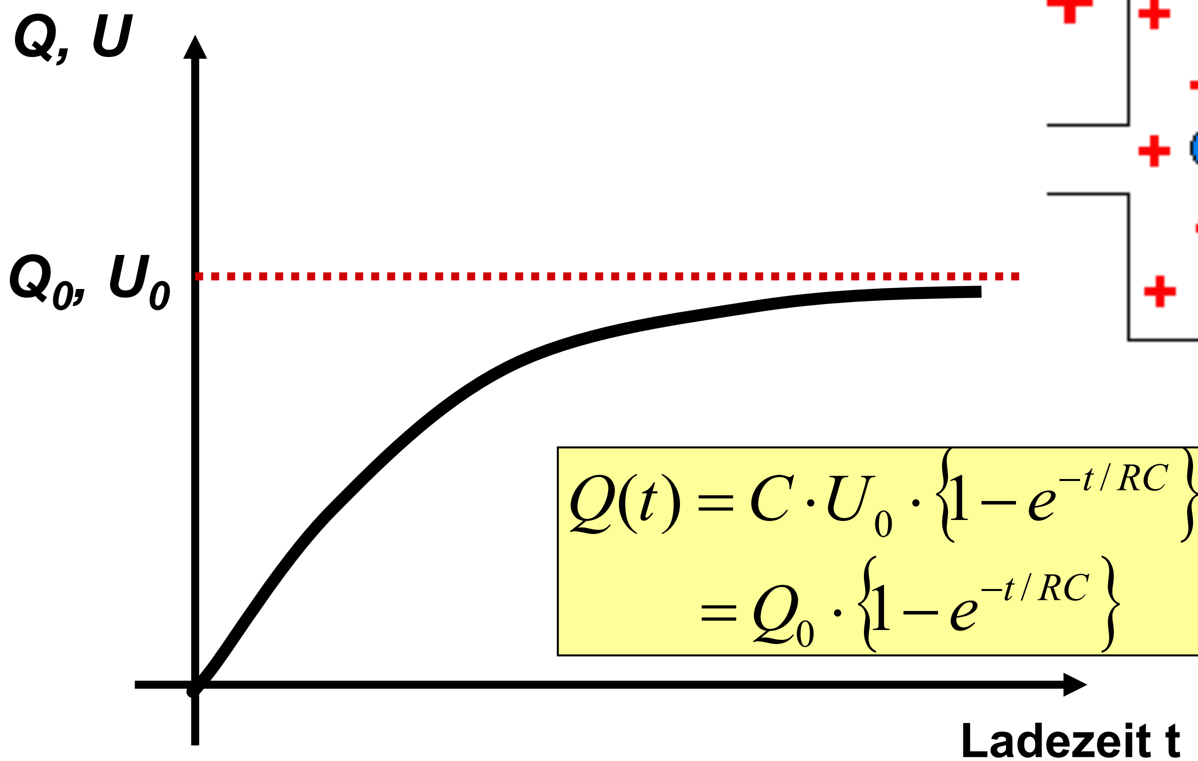
Laden eines Kondensators

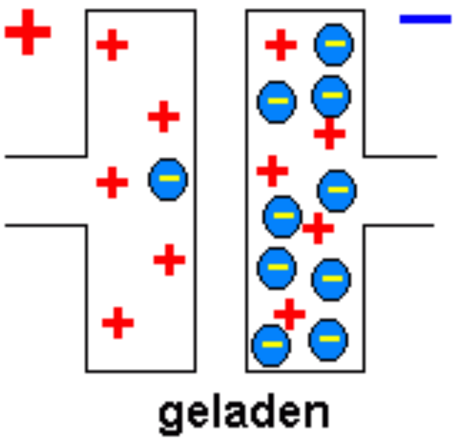
- Aufladen erfolgt durch eine Spannungsquelle, z.B. Batterie, die dabei chemische Energie verliert.
- Die äußere Arbeit, die beim Aufladen verrichtet wird, besteht darin, die Ladungen zu trennen, d.h. Elektronen von der positiven Platte auf die negative Platte zu transportieren.



- 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

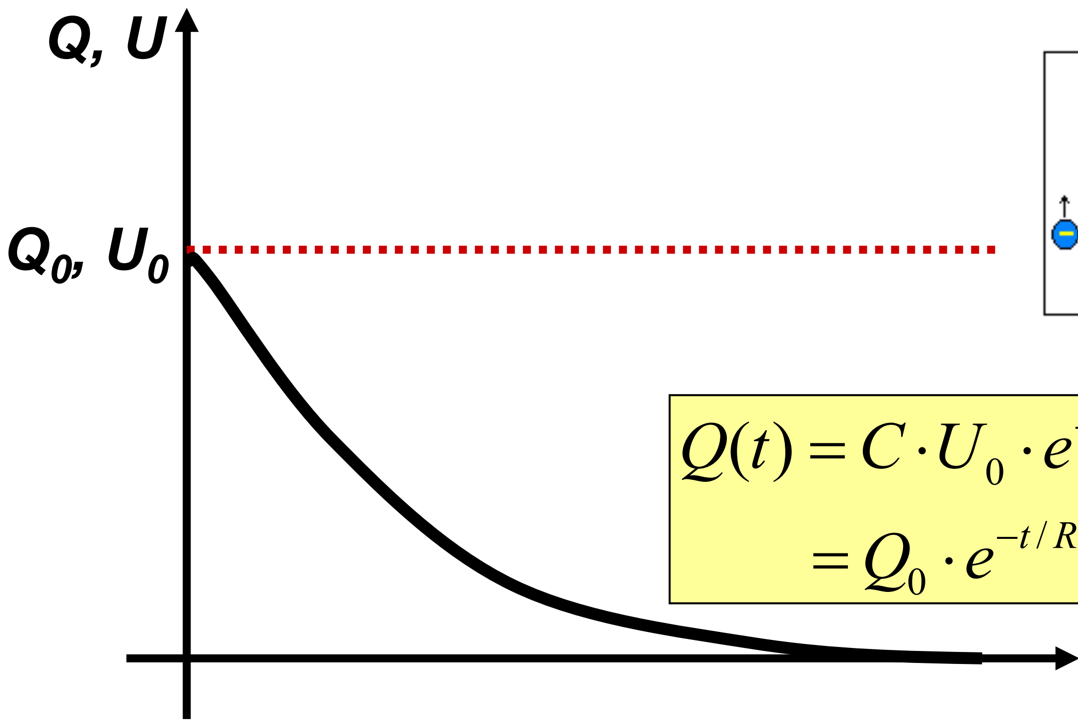


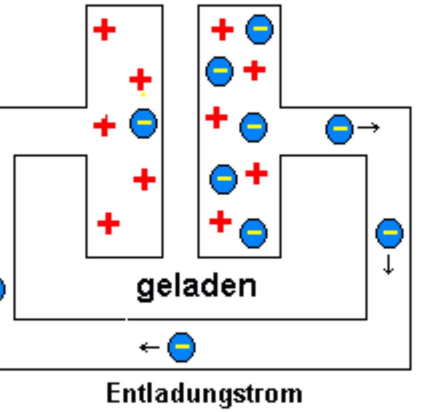


$$Q(t) = C \cdot U_0 \cdot \left\{1 - e^{-t/RC}\right\}$$
$$= Q_0 \cdot \left\{1 - e^{-t/RC}\right\}$$

U_0 = Spannung der Spannungsquelle
C = Kapazität des Kondensators
Q = Ladung auf den Platten
R = Ohmscher Widerstand
τ = *R C* = charakteristische Zeitkonstante

Entladung eines Kondensators

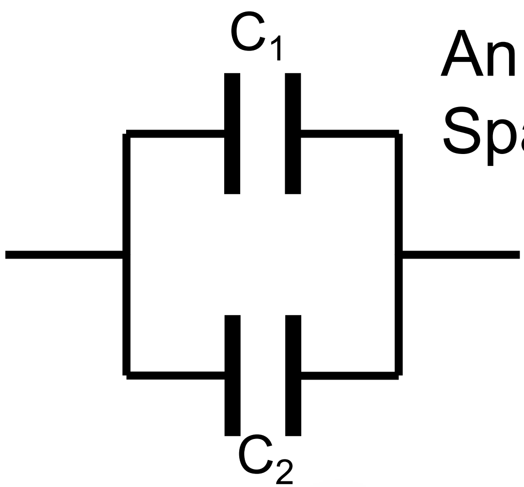




$$Q(t) = C \cdot U_0 \cdot e^{-t/RC}$$
$$= Q_0 \cdot e^{-t/RC}$$

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

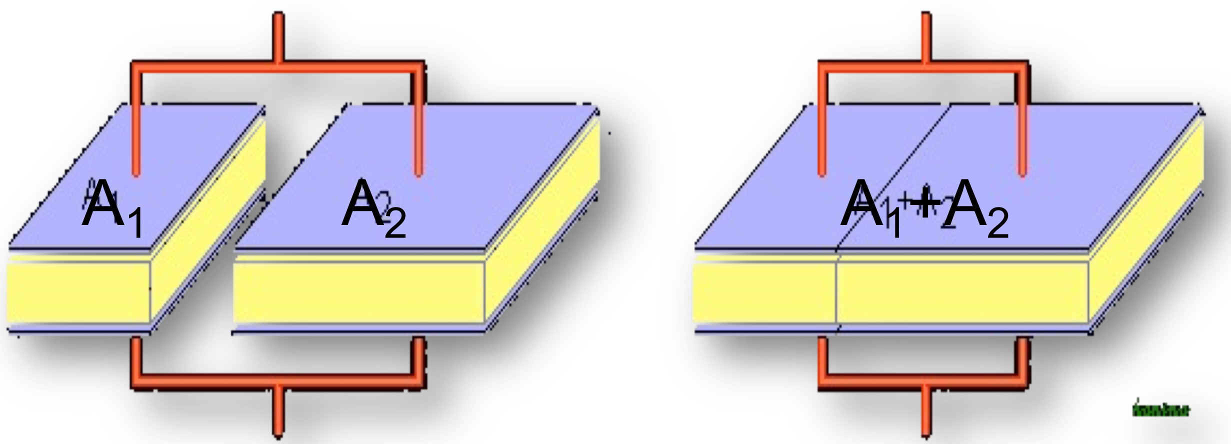
Parallelschaltung von Kapazitäten



An beiden Kondensatoren liegt die gleiche Spannung an !

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

Ersatzschaltbild



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

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

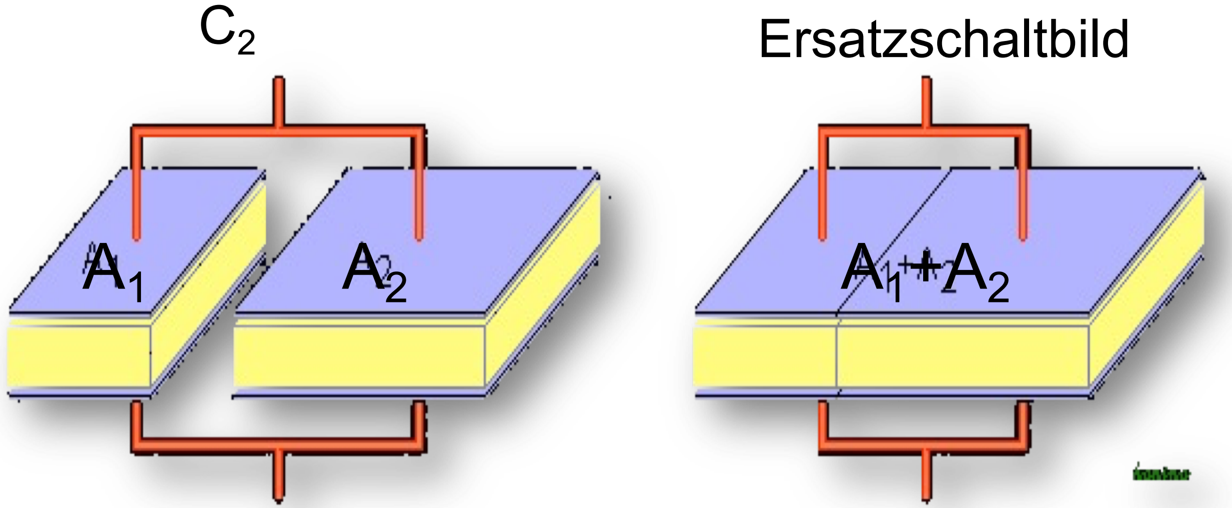
Parallelschaltung von Kapazitäten

$$C_{ges} = \varepsilon_0 \cdot \frac{A_{ges}}{d} = \varepsilon_0 \cdot \frac{A_1 + A_2}{d_1 + d_2}$$

$$C_1 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A_1}{d}$$

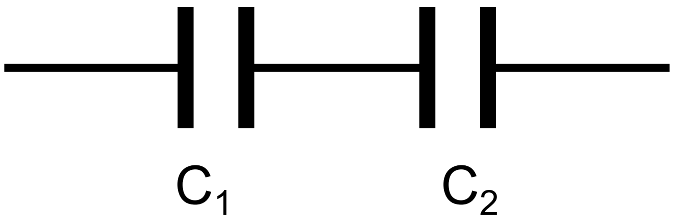
$$C_2 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A_2}{d}$$

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



Reihenschaltung von Kapazitäten

Reihenschaltung:

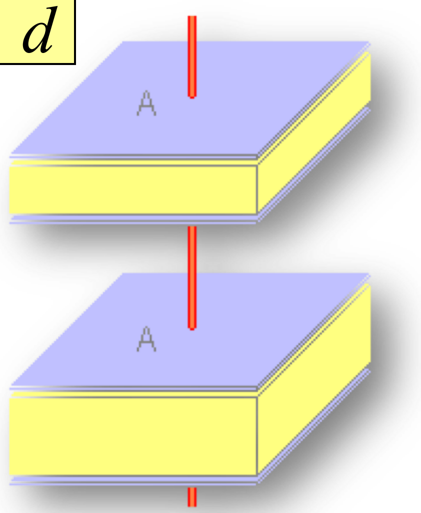


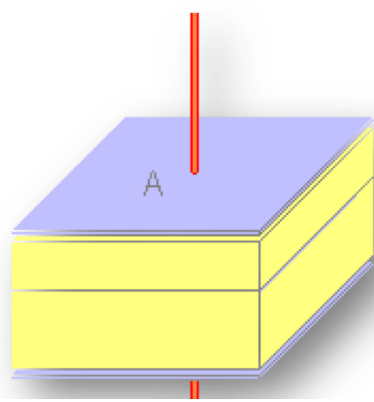
$$C_{ges} = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_{ges}} = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_1 + d_2} \Rightarrow \frac{1}{C_{ges}} = \frac{d_1 + d_2}{\varepsilon_0 A}$$

$$C_1 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_1} \Rightarrow \frac{1}{C_1} = \frac{d_1}{\varepsilon_0 A}$$

$$C_2 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_2} \Rightarrow \frac{1}{C_2} = \frac{d_2}{\varepsilon_0 A}$$

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





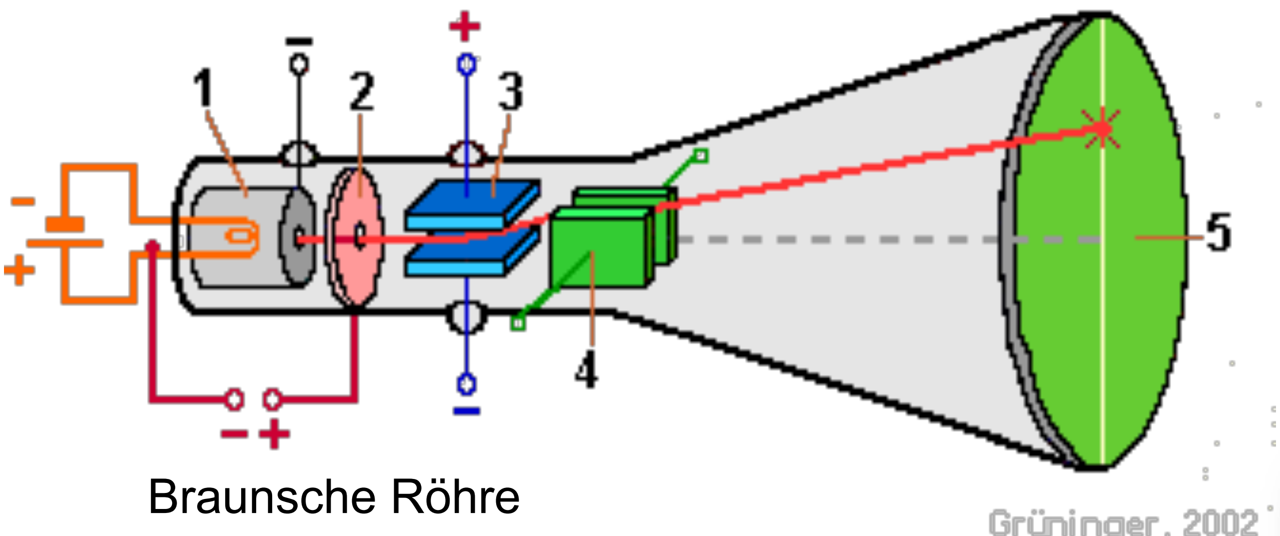
Ersatzschaltbild

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

Wo spielen freie Ladungen im elektrischen Feld eine Rolle?

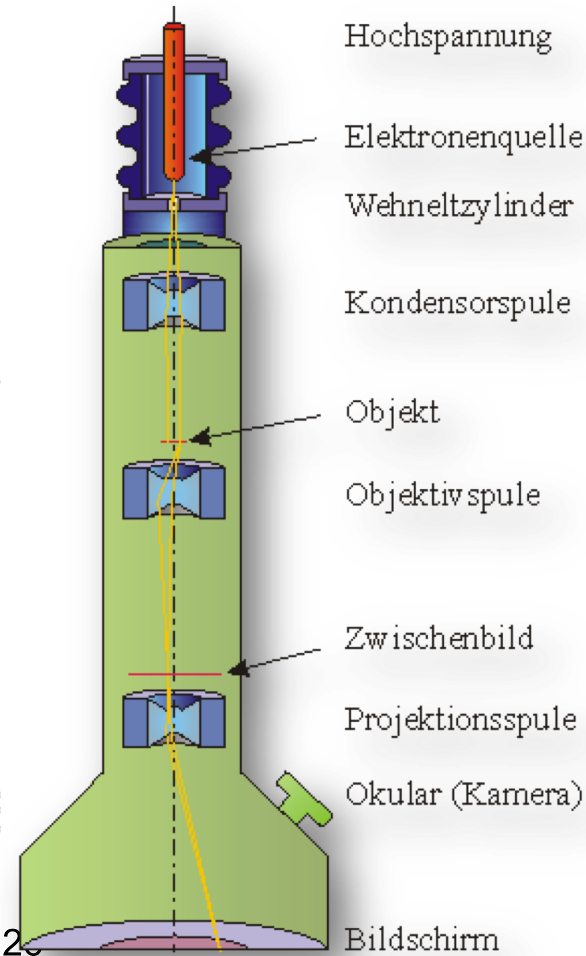
Elektronen im Vakuum:
- Röntgenröhre
- Elektronenmikroskop
- Braunsche Röhre im Oszilloskop

Millikanversuch: Bestimmung von e^-

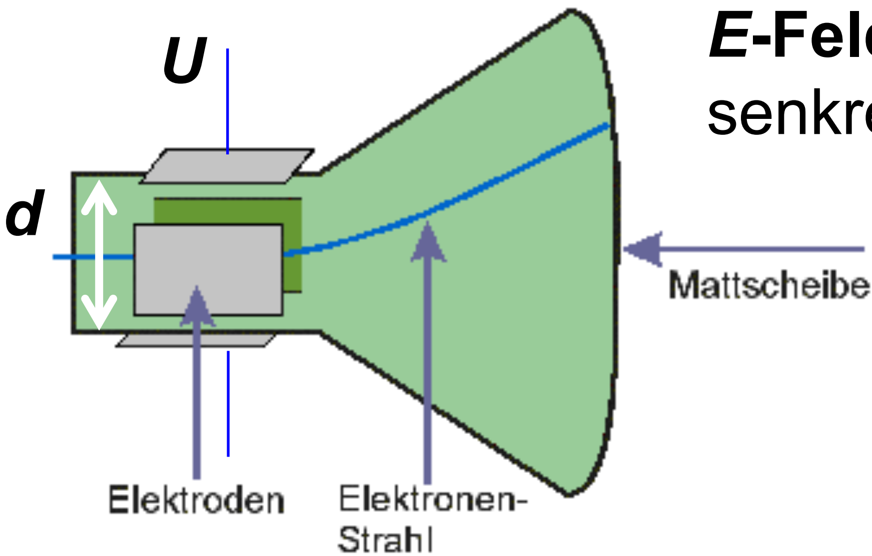


Braunsche Röhre

Elektronenmikroskop



Braunsche Röhre: Funktionsweise & Ablenkung



***E*-Feld:**
senkrecht zur Bewegungsrichtung

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

Plattenpaar: Ablenkung des Elektronenstrahls

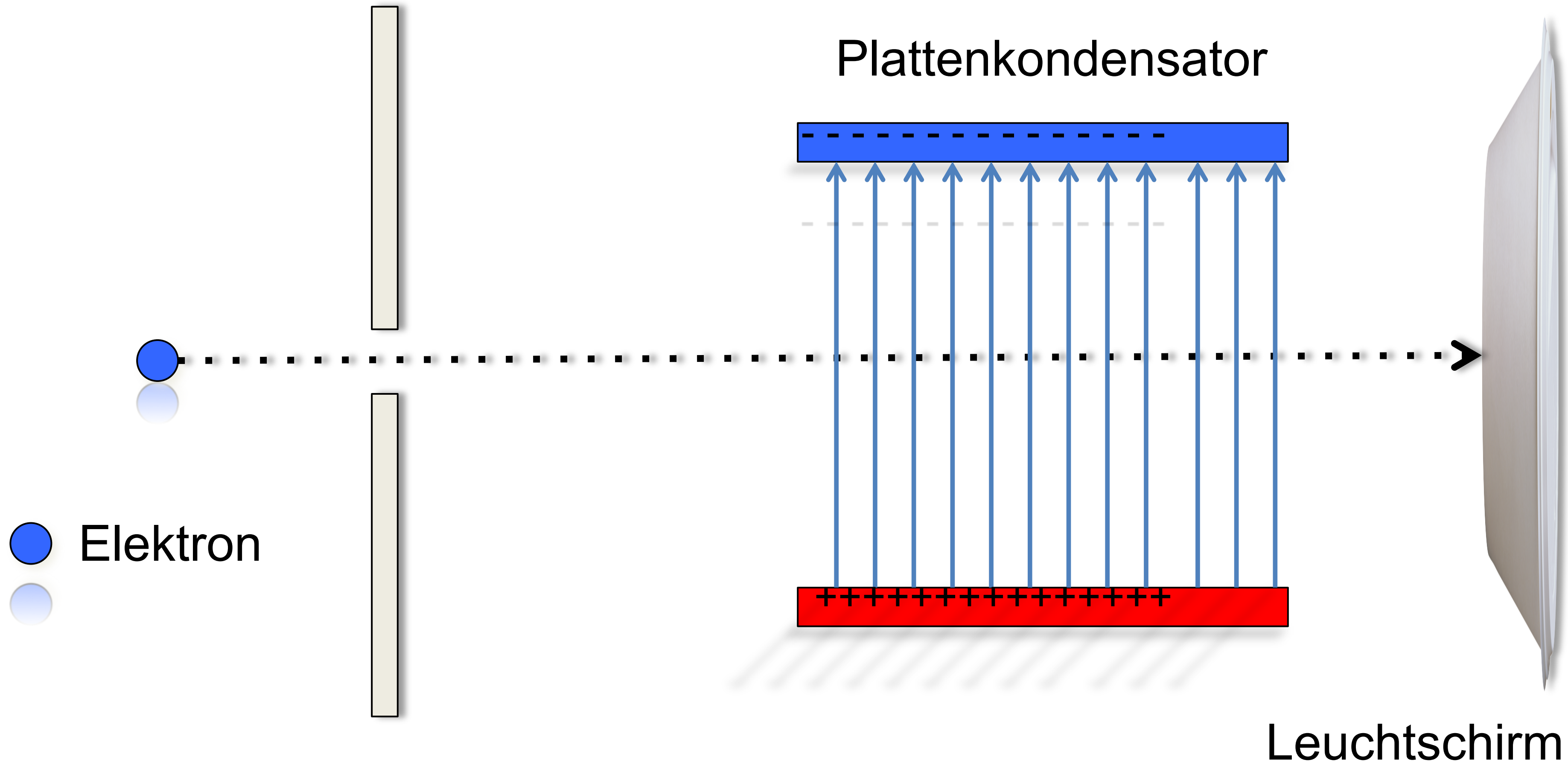
① Liegt an den senkrecht zur Elektronenstrahlrichtung stehenden Plattenpaaren keine Spannung an, so passiert sie der Strahl geradlinig

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

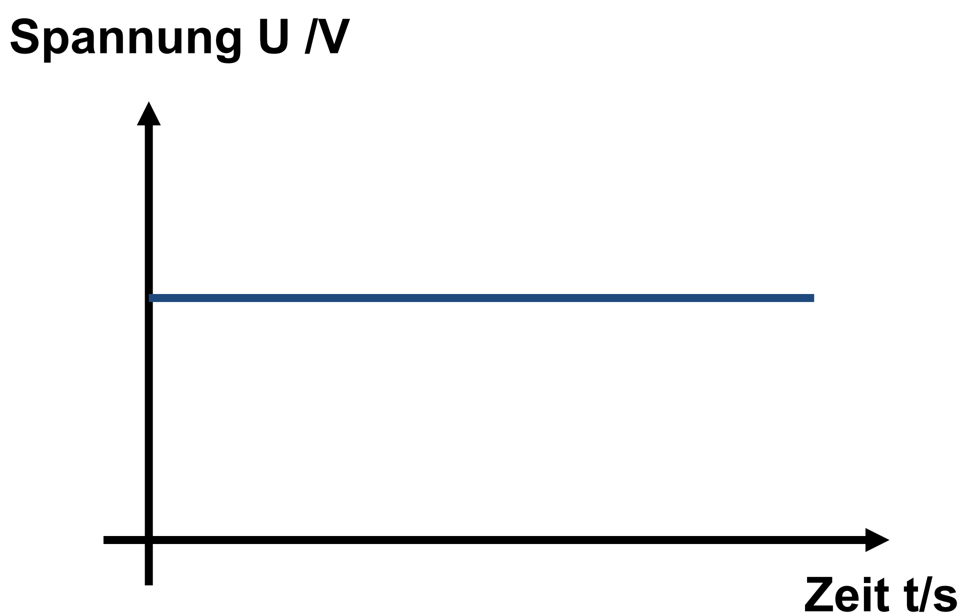
Elektronenstrahl wird durch elektrisches Querfeld abgelenkt

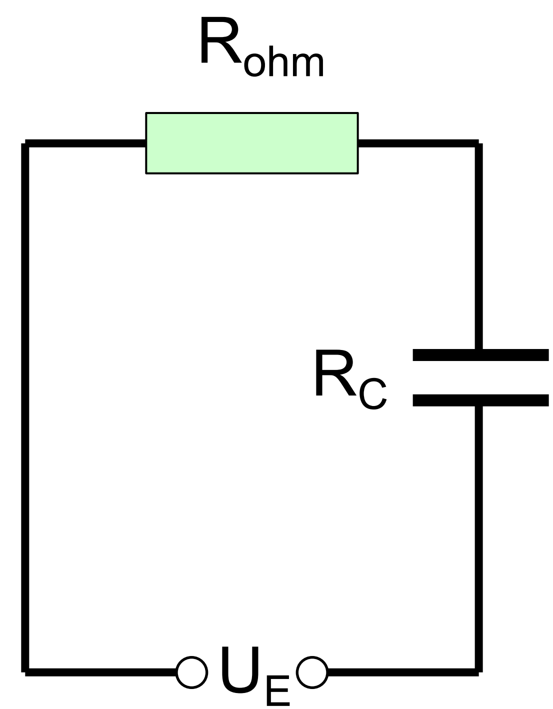


Gleichstromkreis (dc)

Gleichstromkreis (dc):

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



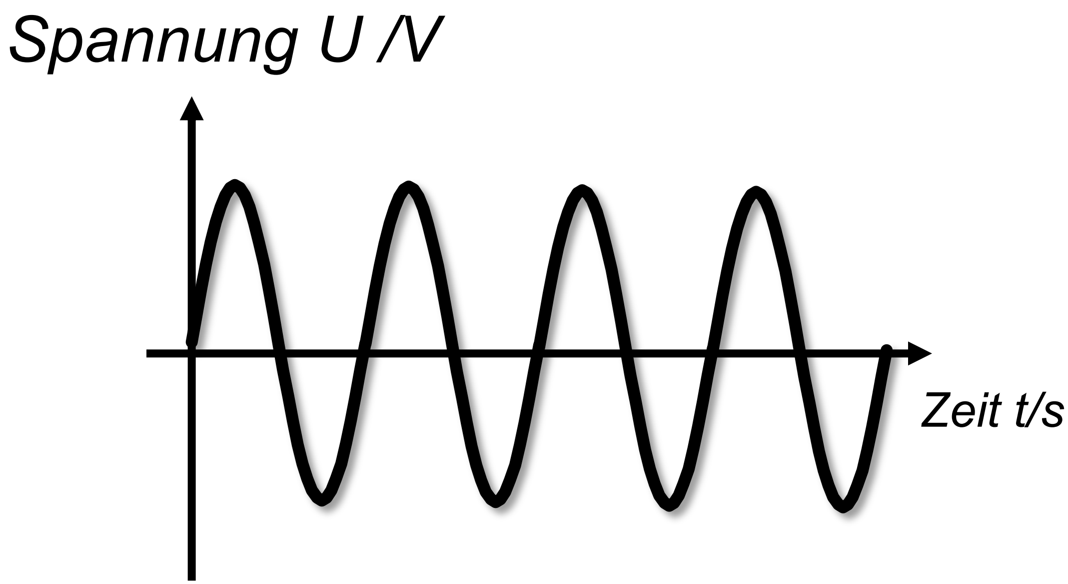


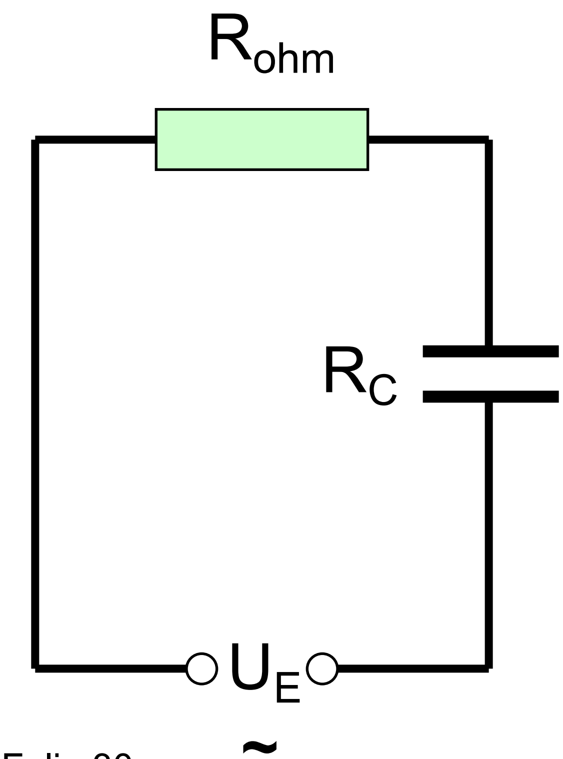
U = U(t) = konstant

Wechselstomkreis (ac)

Wechselstromkreis (ac):

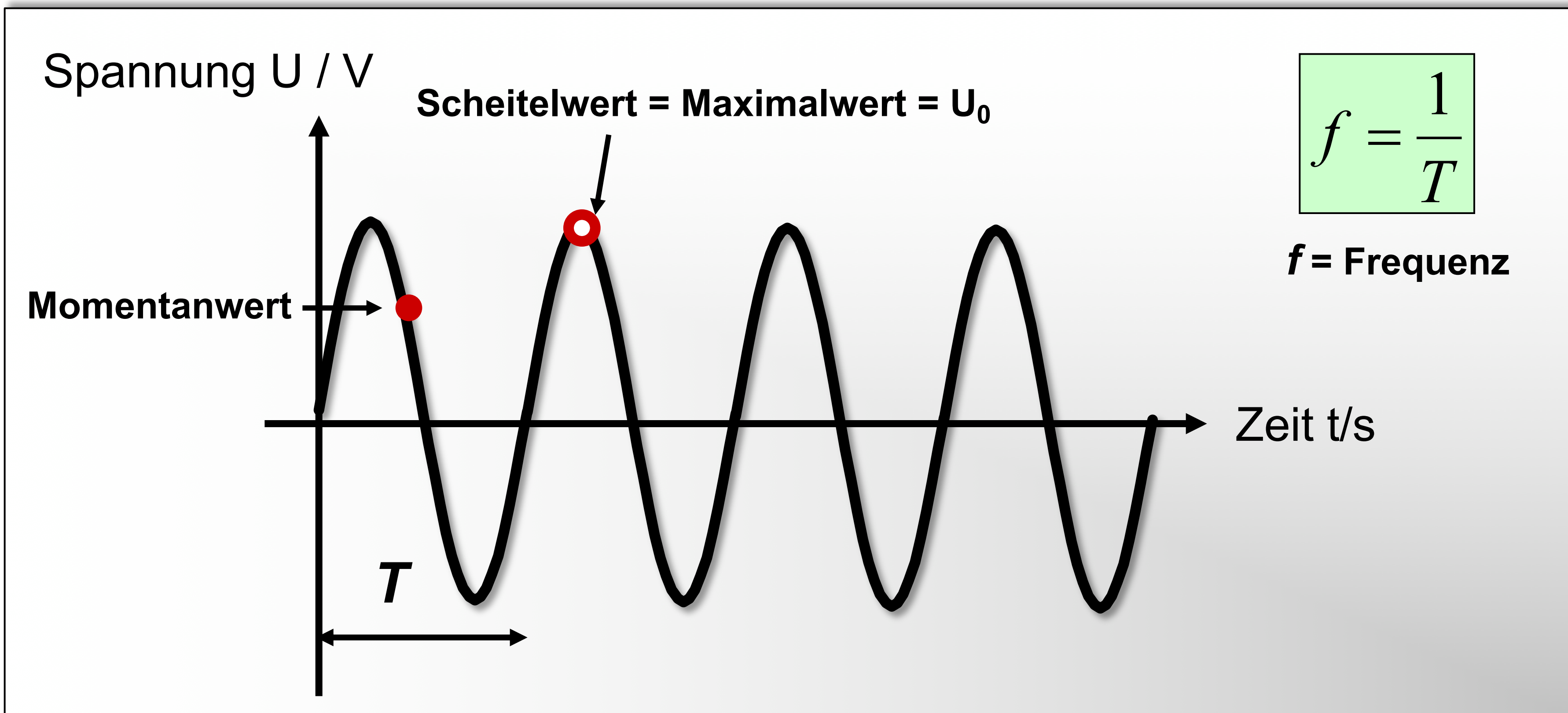
- Im Gegensatz zum Gleichstrom ändern beim Wechselstrom die Ladungsträger periodisch ihre Richtung
- Stromrichtung kehrt mit der Zeit periodisch um, d.h. die Pole der Spannungsquelle wechseln periodisch ihr Vorzeichen





Wechselstomkreis (ac)

<u>Wechselstrom (ac), „sinusförmig“:</u>
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=20ms), in USA 60 Hz.

Wechselstomkreis (ac)

Wechselstrom (ac), „sinusförmig“:

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

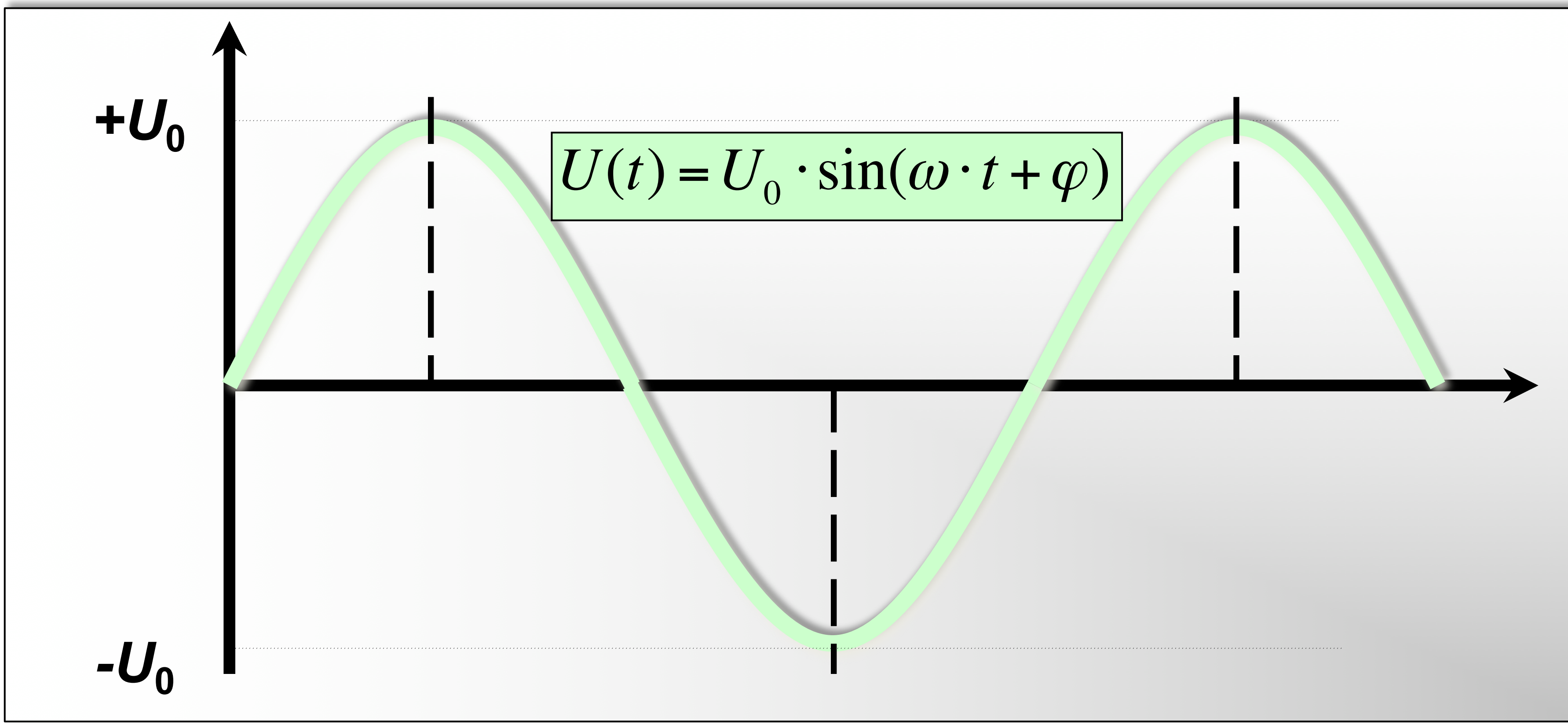
f **= Frequenz** ω **= Kreisfrequenz**

Vollständig beschriebene(r) Wechselspannung/Wechselstrom:

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

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

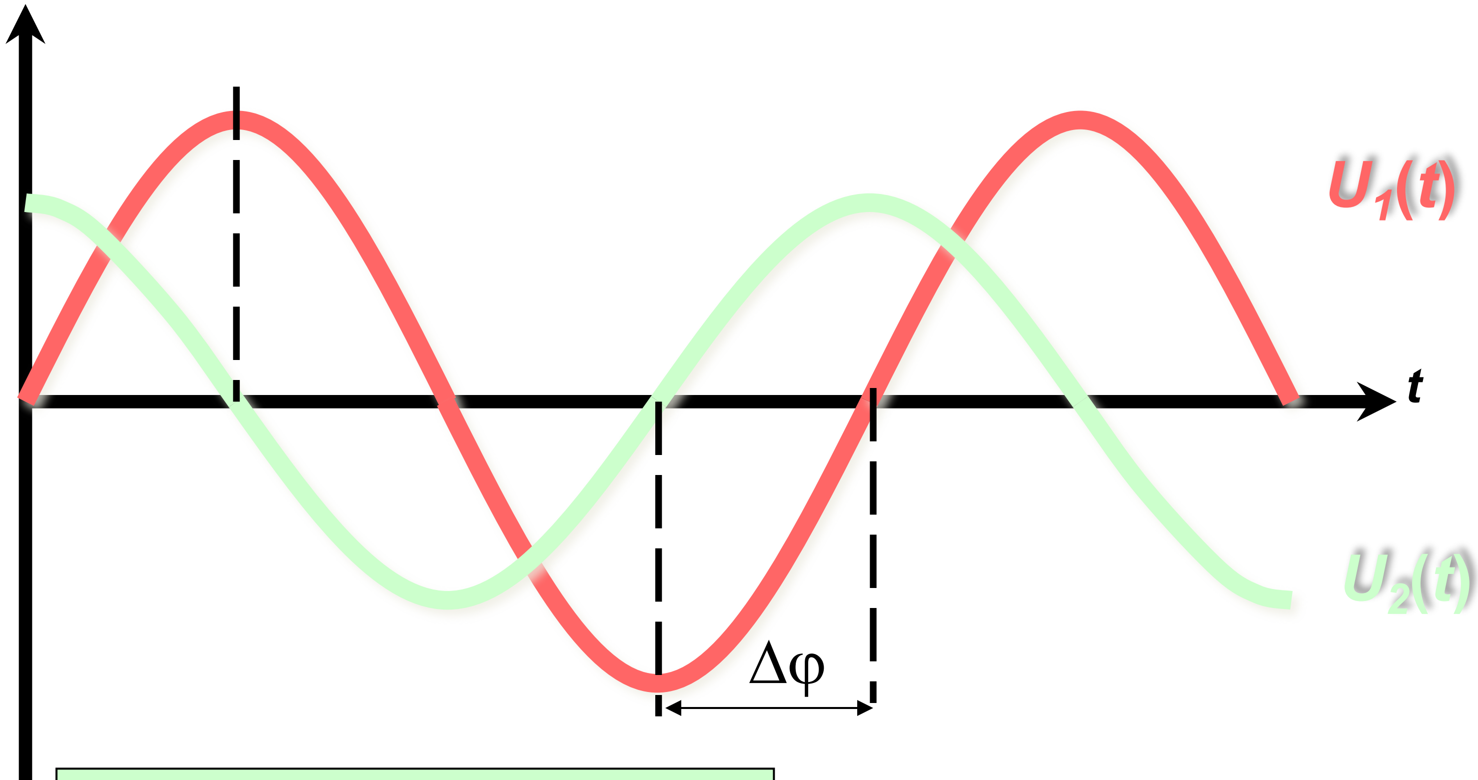
Sinusförmige Schwingung



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

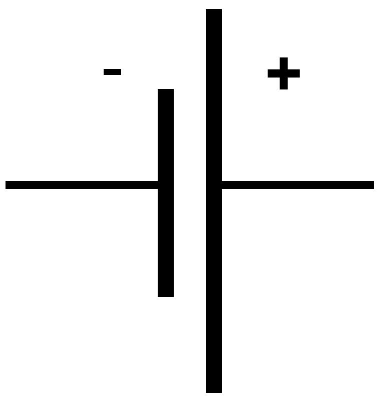


$$U_1(t) = U_{01} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1)$$
$$U_2(t) = U_{02} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_2)$$

$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ Phasenverschiebung

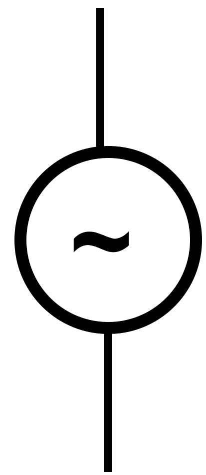
Wechselstomwiderstand

Bisher:



$U(t) = U_0 =$ konst.

Jetzt:



$U(t) = U_0 \sin(\omega t)$

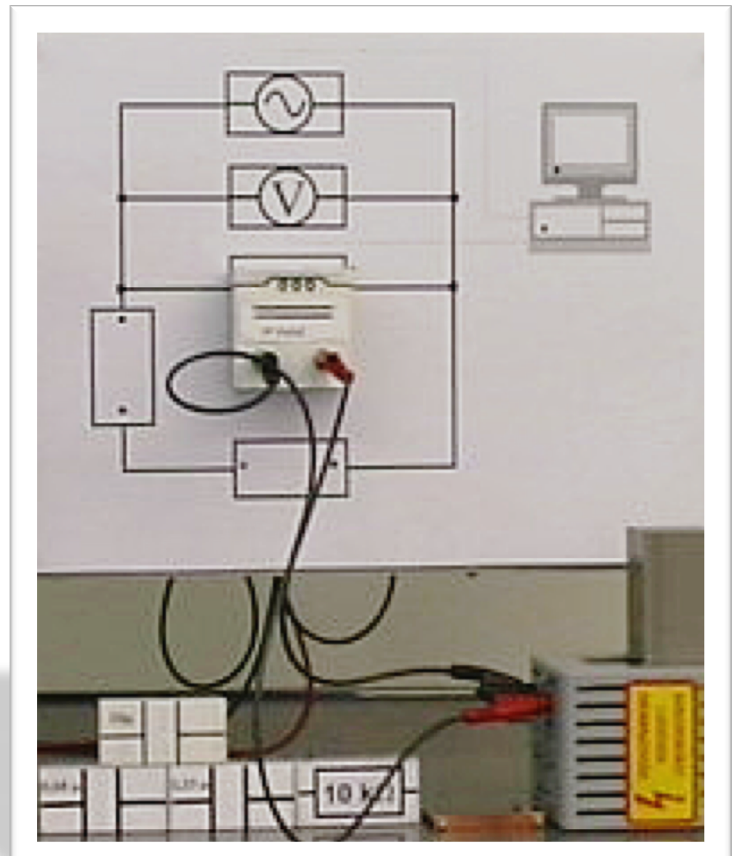
Wechselstromwiderstand

Gleichstromwiderstand R = Spannung/Strom

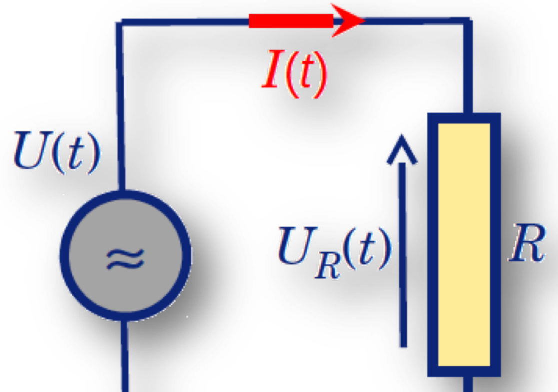
Frage: Wie groß ist der Widerstand in Abhängigkeit von der Frequenz für

- Ohm‘schen Widerstand R ?
- Kondensator C ?
- Spule L ?

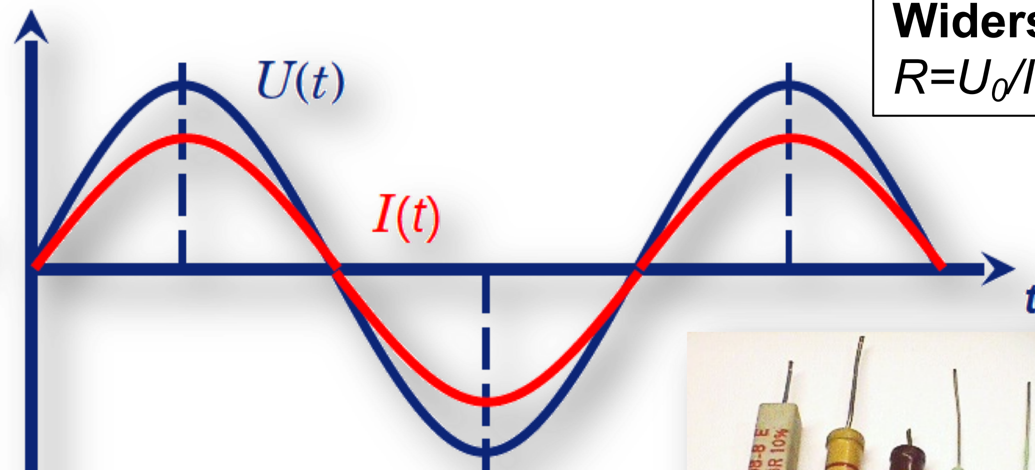
Frequenzgang?



Strom- und Spannungsverlauf an einem ohm'schen Widerstand

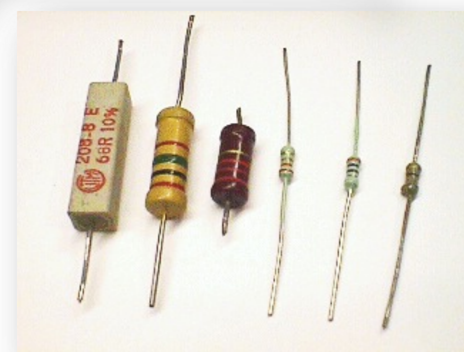


Maschenregel:
$U(t)-U_R(t) = 0$



Widerstand:
$R=U_0/I_0$

$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$
$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$



Beobachtung:
- Es fließt ein Strom
- Strom ist unabhängig von Frequenz

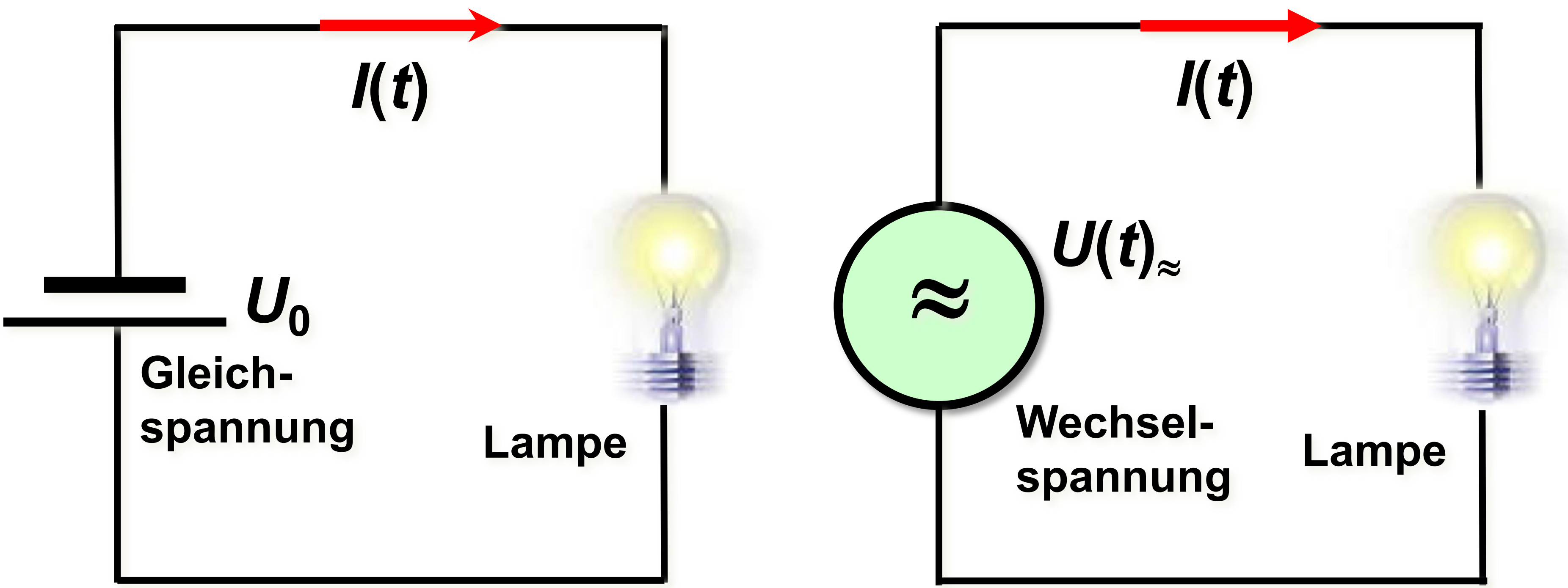
- Wechselspannung erzeugt Wechselstrom durch Widerstand
- Strom & Spannung sind **in Phase**
- Der ideale ohmsche Widerstand ist **frequenzunabhängig**

Leistung im ohmschen Bereich

Im ohmschen Bereich wird die gesamte elektrische Leistung in Stromwärme umgewandelt (Wirkungsgrad 100%):

$$P = U\,I = R\,I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Leistung bei Wechselströmen



Elektrische Leistung

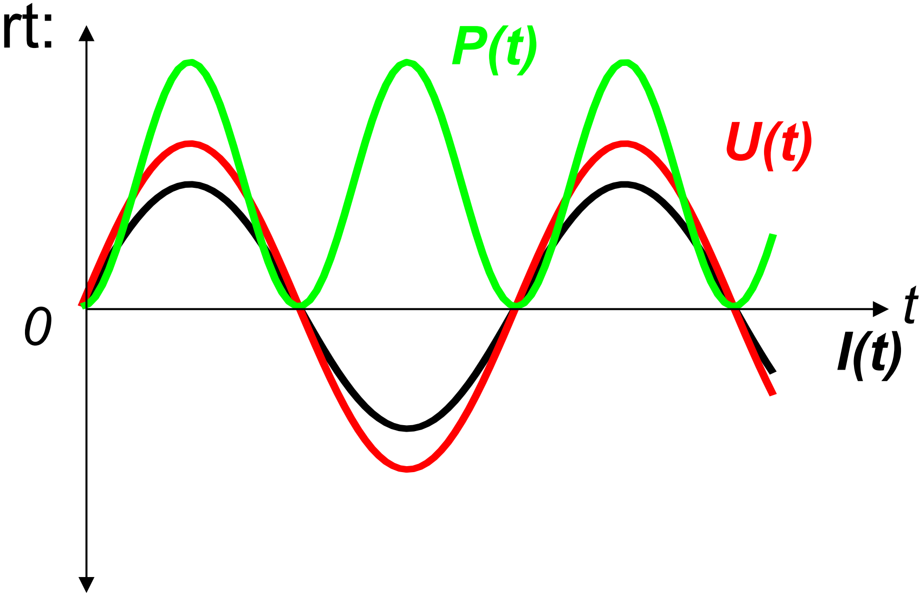
① **Definition:** $$P = U \cdot I$$

② **Ohmscher Verbraucher:**
Strom & Spannung in Phase

$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$
$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

① **Momentanleistung** oszilliert:

$$P(t) = U(t) \cdot I(t) =$$
$$= U_0 \sin(\omega t) \cdot I_0 \sin(\omega t)$$
$$= U_0 \cdot I_0 \sin^2(\omega t)$$
$$= R \cdot I_0^2 \sin^2(\omega t)$$



① **Zeitlicher Mittelwert:**

$$\langle P \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T P(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T R I_0^2 \sin^2(\omega t)\,dt = \frac{1}{2} R I_0^2$$

Glühlampen gleich hell

Gleichstromleistung $P_= = U_= I_=$

und

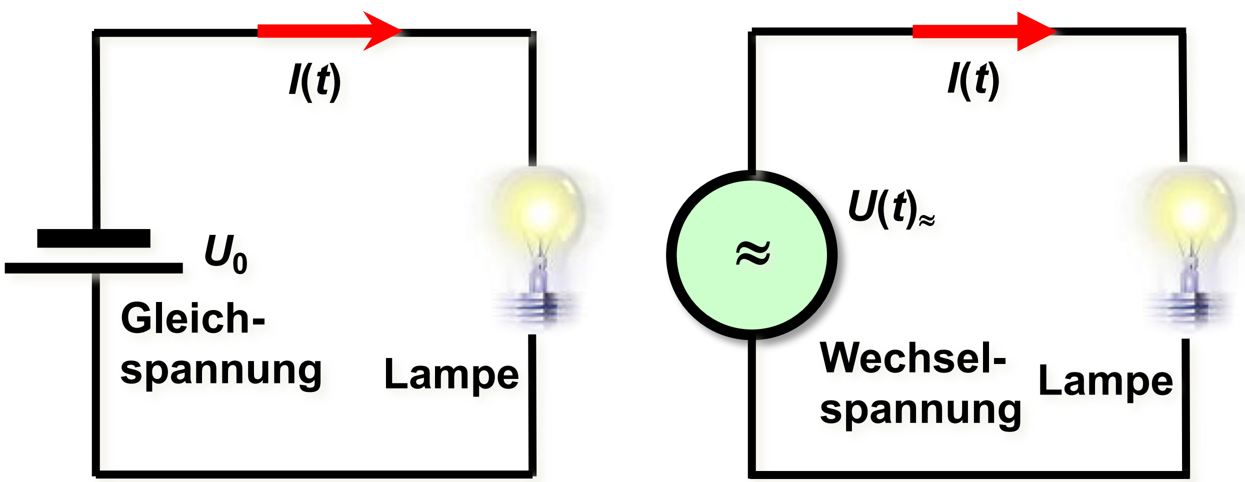
mittlere Wechselstromleistung $P_\sim = 1/2\ U_0\ I_0$

müssen gleich sein

Das ist genau dann der Fall, wenn

$U_0 = \sqrt{2}\ U_= \ \&\ I_0 = \sqrt{2}\ I_=$

Vergleiche Experiment:
$U_= = 20$ V
$U_0 = 28$ V $\sim \sqrt{2}\ U_=$



Wechselstromkreis (ac)

Effektivwerte:

- Effektivwerte stellen einen Zusammenhang zu Gleichströmen her
- Effektivwerte stellen die Werte dar, die ein Gleichstrom haben müsste, um in einem ohmschen Widerstand (R=const.) die gleiche Leistung umzusetzen wie der gegebene Wechselstrom
- Leistung im Wechselstromkreis:

$$\boxed{P = U_{eff} \cdot I_{eff}}$$

Für sinusförmige Wechselspannung:

$$\boxed{U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}} \qquad \boxed{I_{eff} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}}$$

U_0, I_0 = Scheitelwerte für Spannung, Strom

Effektivwert

① Das elektrische Netz liefert Wechselspannung mit einer Frequenz von 50 Hz & einer effektiven Spannung von 230V (Nennwert)

Gemessen Spitzenwert ~ 320V
Nennwert 230 V

$\longrightarrow$ 320/230 ~ 1.4 ~ √2

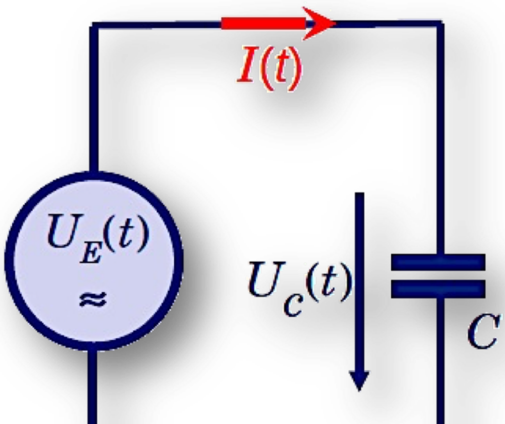
Bei Wechselspannungen wird oft der **Effektivwert** angegeben =
Wert, der die gleiche Leistung ergibt wie eine Gleichspannung:

$U_{eff} = U_0 /\sqrt{2} = 0.707\ U_0$ für sinusförmige Spannung

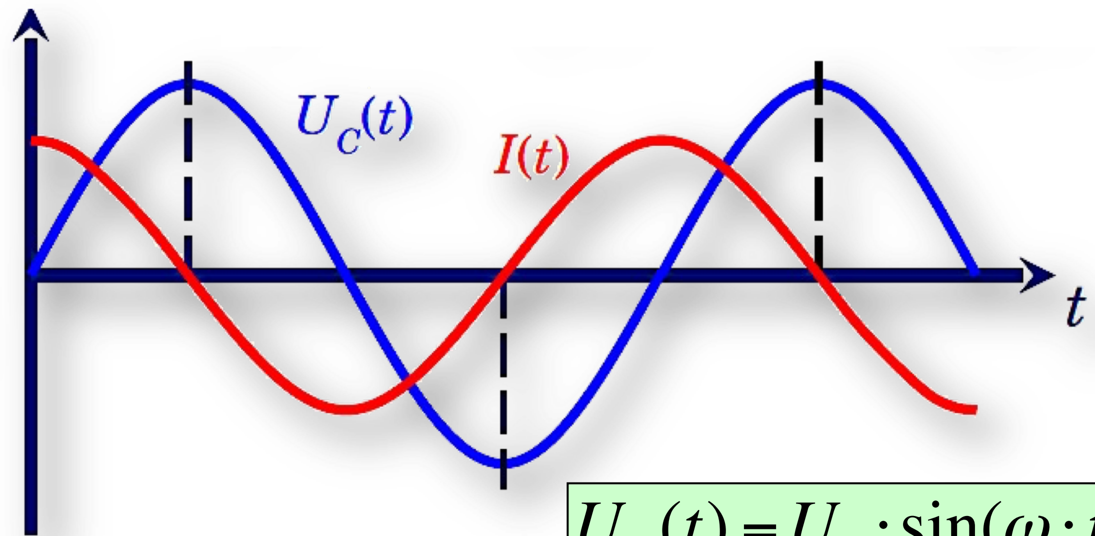
Spannung & Strommessgeräte zeigen normalerweise den Effektivwert an!

Für andere Spannungsformen gelten andere Proportionalitätsfaktoren

Strom- und Spannungsverlauf an einem Kondensator



Maschenregel:
$U(t) - U_C(t) = 0$



$$U_C(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Beobachtungen:
- Es fließt ein kontinuierlicher Strom
- Strom **nimmt mit** zunehmender von **Frequenz zu**
- Strom **nimmt mit** zunehmender von **Kapazität zu**

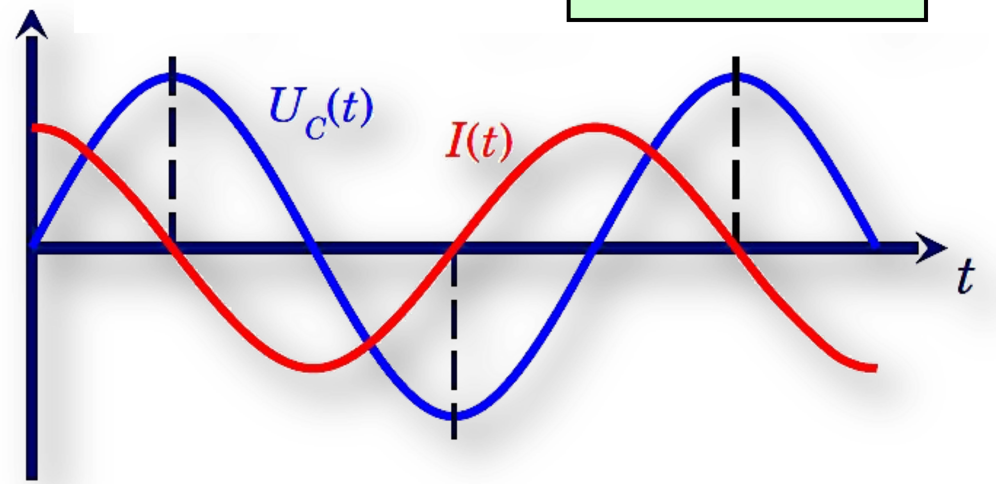
Strom- und Spannungsverlauf an einem Kondensator

Zur Erinnerung

1. Strom ist Änderung der Ladung pro Zeit:
2. Kondensatorladung = Kapazität x Spannung:
3. ➔ **Stromverlauf:**

$$I = dQ/dt$$
$$Q = C \cdot U_C$$

$$I(t) = C \cdot dU_C/dt$$
$$= \omega C U_0 \cos(\omega t)$$
$$= \omega C U_0 \sin(\omega t + \pi/2)$$

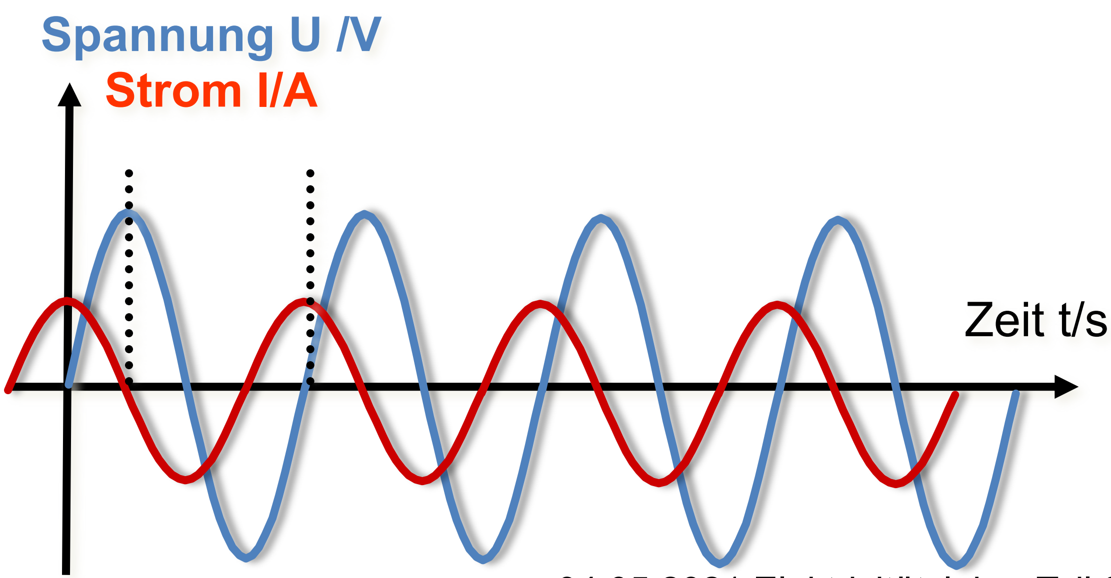


- Wechselspannung erzeugt Wechselstrom durch Kondensator
- **Strom eilt der Spannung um 90° voraus**
- Für Gleichspannung, d.h. $\omega = 0$, ist der Strom null

Strom- und Spannungsverlauf an einem Kondensator

$$C = \frac{Q}{U}$$ ⟶ $$dQ = C \cdot dU \Rightarrow I = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

- Strom proportional zur Änderungsgeschwindigkeit dU/dt der Spannung
- ⟶ Wenn sich die Spannung nicht ändert, fließt kein Strom
- ⟶ Wenn die Spannungsänderung am größten ist, fließt maximaler Strom



Strom eilt Spannung um eine viertel Periode voraus:

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

$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + 90^o)$$

Blindwiderstand eines Kondensators

Kondensator:

- **Blindwiderstand** = „Ohmsche Beschreibung“ eines Widerstands
- Kondensatorspannung: $\boxed{U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)}$
- Kondensatorstrom:

$$\boxed{I = C \cdot \frac{dU}{dt} = C \cdot \frac{d}{dt}\left[U_0 \cdot \sin(\omega t)\right] = C \cdot U_o \omega \cdot \cos(\omega t) = I_0 \cdot \cos(\omega t)}$$

- **kapazitive Widerstand:**

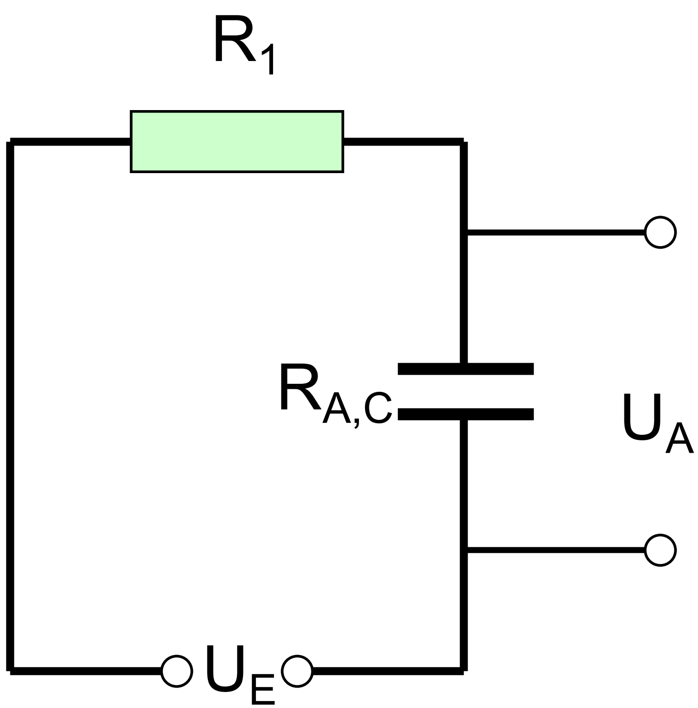
$$\boxed{X_C = \frac{U_0}{I_0} = \frac{U_0}{\omega \cdot C \cdot U_0} = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C}}$$

- Blindwiderstand: **Im zeitlichen Mittel wird keine Leistung umgesetzt!**

RC Tiefpass

Tiefpass:

Spannungsteiler-Verhältnis ist **frequenzabhängig**

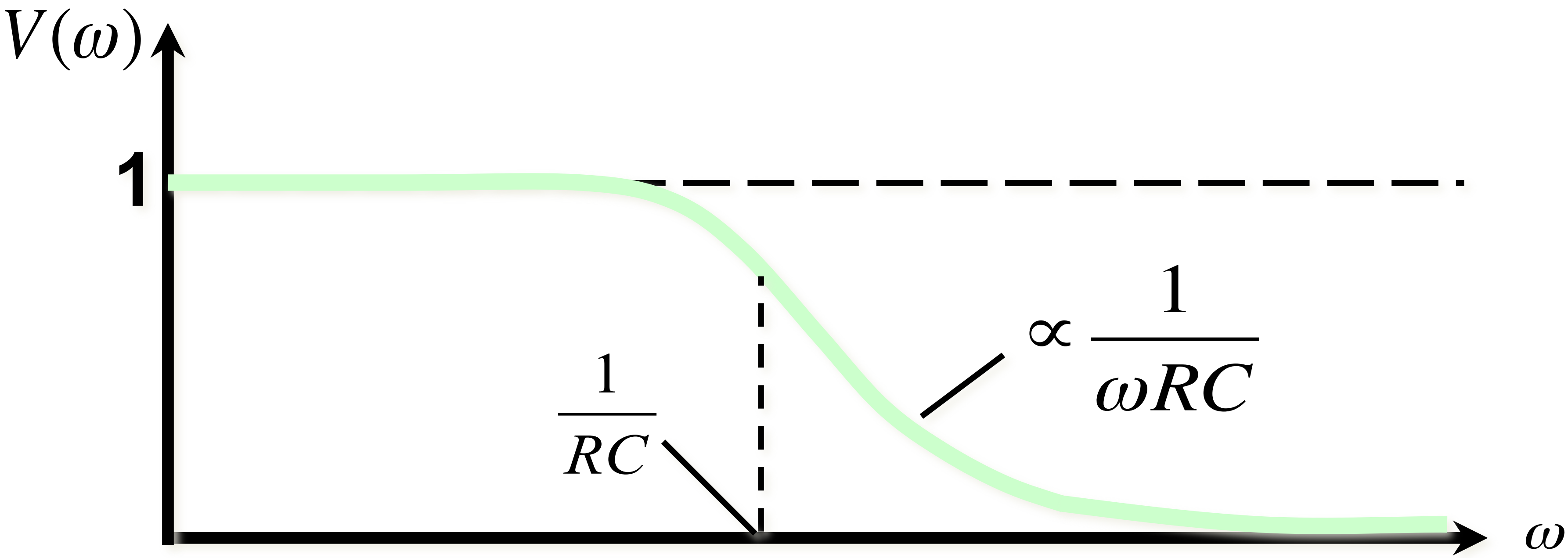


$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{X_C}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}}$$

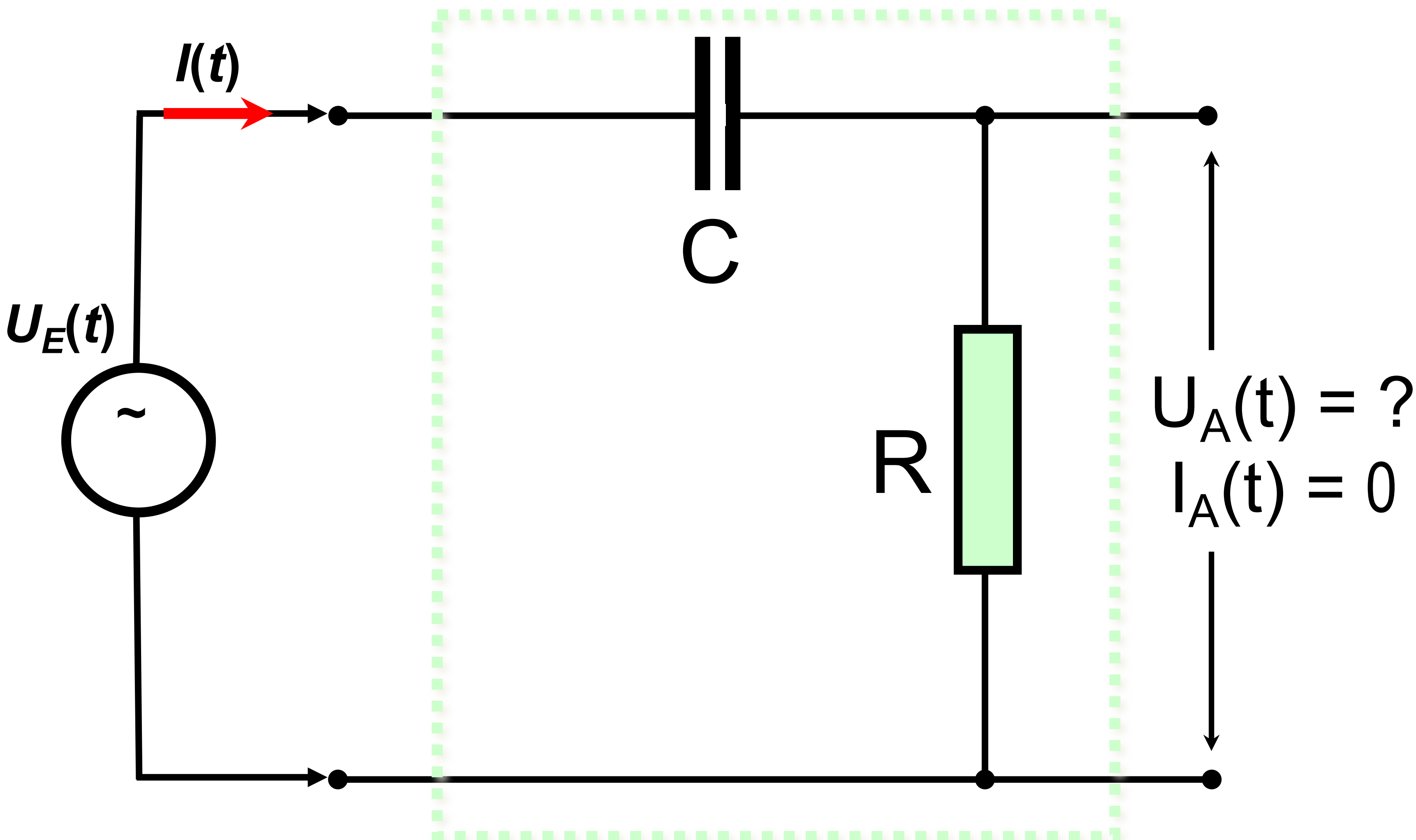
Gleichung geht für hohe Frequenzen gegen 0, für kleine Frequenzen gegen 1

Frequenzgang eines Tiefpasses



- **Frequenzgang** = Verhältnis von Ausgangs zu Eingangsspannung als Funktion der Frequenz
- Werden die tiefen Frequenzen ohne Abschwächung (V = 1) übertragen so spricht man von einem **Tiefpass**
- Tiefe Frequenzen $X_C = 1/\omega C >> R$ $V \sim 1$
- Hohe Frequenzen $X_C = 1/\omega C << R$ $V \sim 0$

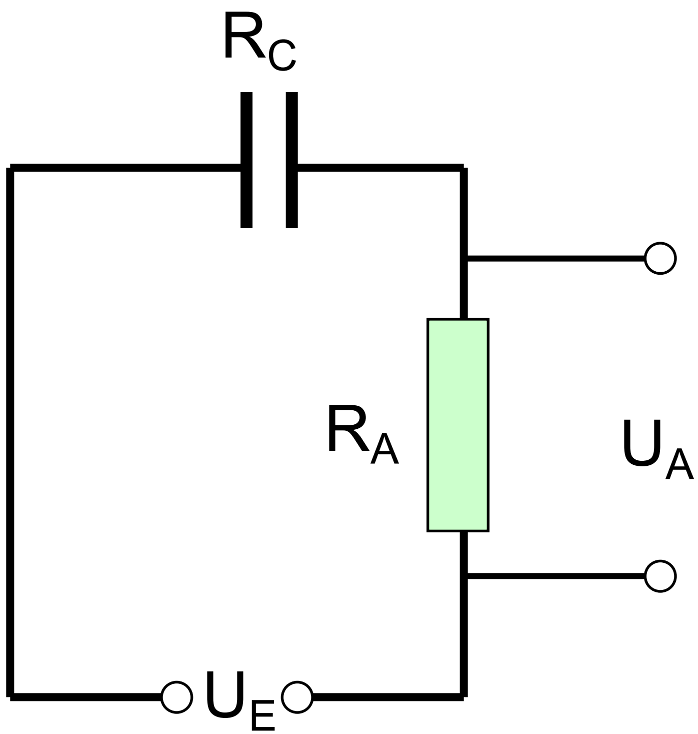
RC Hochpass



RC Hochpass

Hochpass:

Spannungsteiler-Verhältnis ist frequenzabhängig

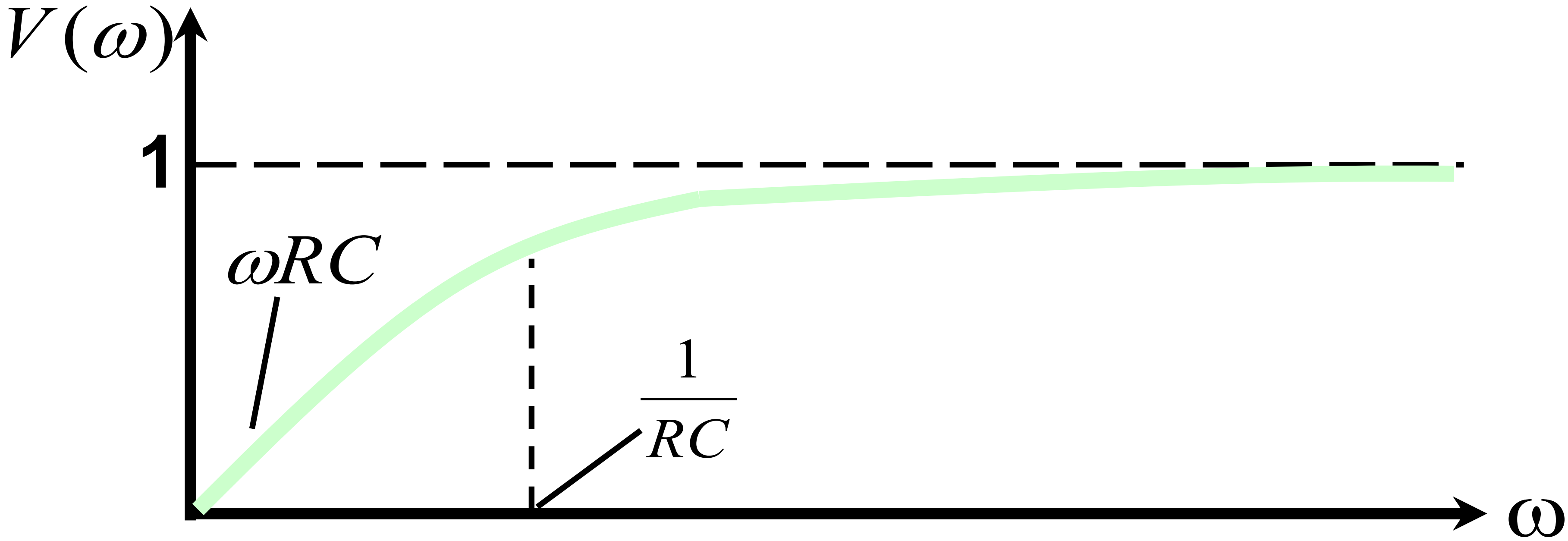


$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{R}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega \cdot R \cdot C)^2}}}$$

Formel geht für hohe Frequenzen gegen 1, für kleine Frequenzen gegen 0

Frequenzgang eines Hochpasses



Werden die hohen Frequenzen ohne Abschwächung (V = 1) übertragen so spricht man von einem **Hochpass**

E1 Oszilloskop

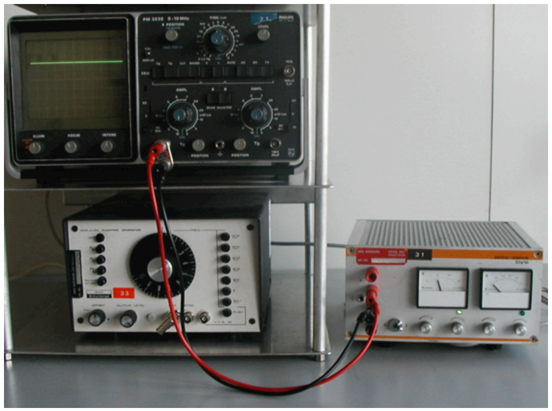
Horizontale Achse (x-Achse): Zeitachse

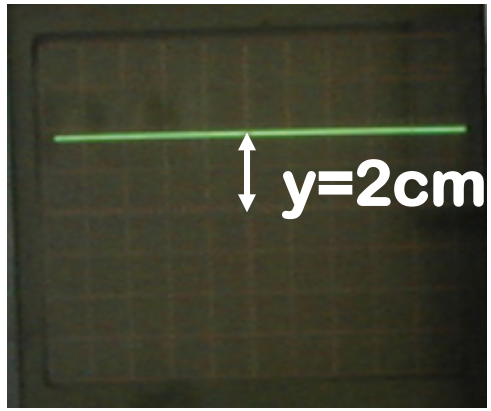
$$\boxed{t = v_t \cdot x(t)}$$

Vertikale Achse (y-Achse): Spannungsachse

$$\boxed{U = v_U \cdot y(U)}$$

Messung von Gleich- und Wechselspannung mit dem Oszilloskop

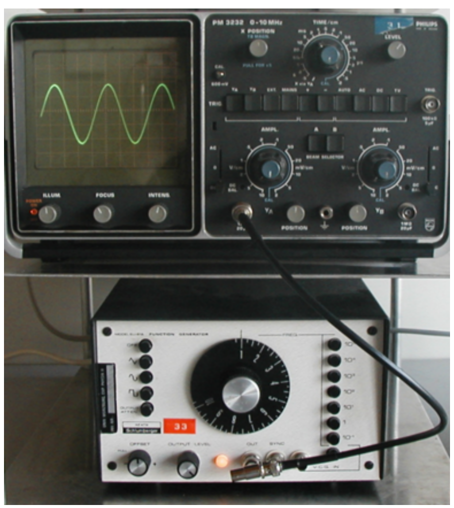


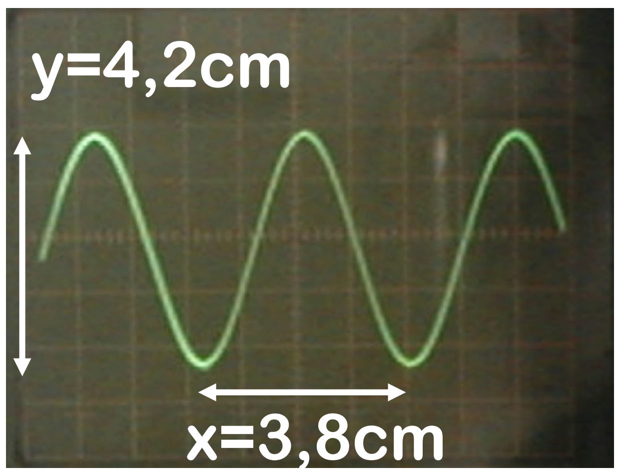


Gleichspannung

v_U= 5V/cm

U = 2cm*5V/cm=10V





Wechselspannung

v_U=5V/cm v_t=2ms/cm

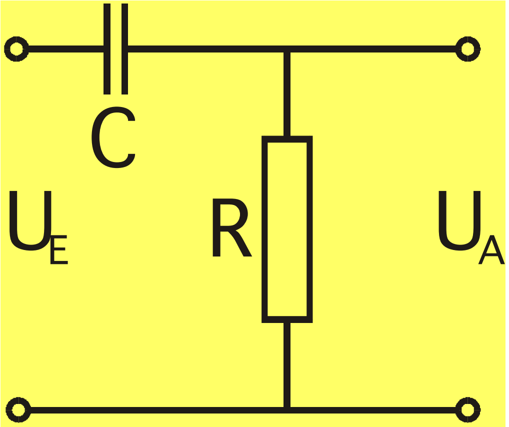
2Û = 4,2cm*5V/cm = 21V

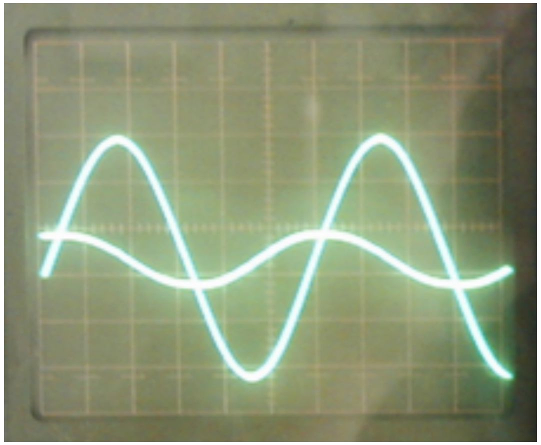
T = 3,8cm*2ms/cm = 7,6ms

f = 1/T = 132 Hz

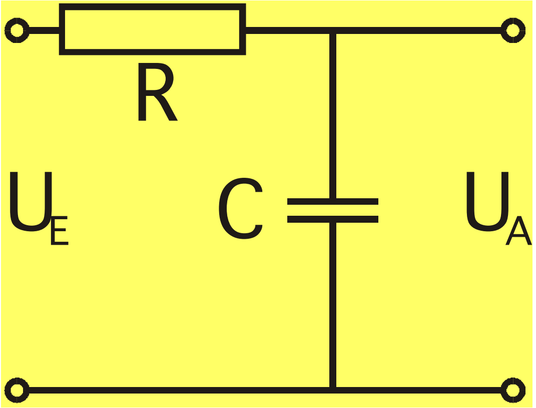
Übertragung einer sinusförmigen Spannung an Hoch-und Tiefpass

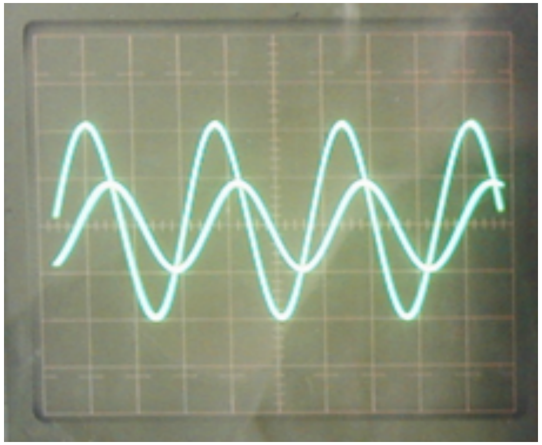
Hochpass





Tiefpass





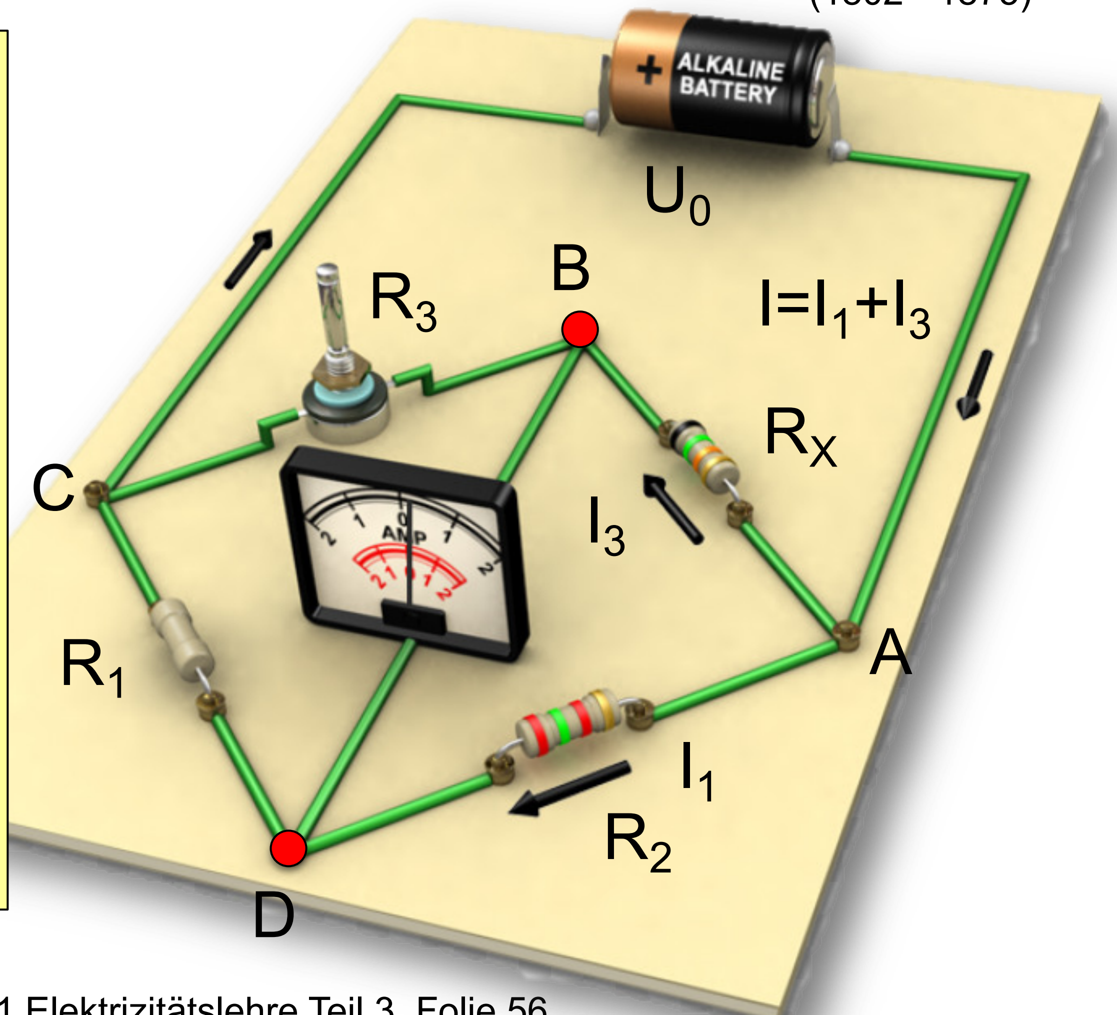
Wheatstone'sche Brücke

W.B. wird zur Messung eines unbekannten Widerstands R_X verwendet: z.B. Bauteilcharakterisierung

Charles Wheatstone
(1802 - 1875)

Grundidee:

1. Widerstände R_1, R_2, R_3 exakt bekannt
2. Strommessgerät vergleicht die Potentiale zwischen den roten Punkten D & B
3. R_3 ist ein variabler Widerstand & wird so eingestellt, dass das Strommessgerät null anzeigt
4. Bei Potentialgleichheit, wird kein Strom fließen!



Wheatstone'sche Brücke

R_3 wird so lange abgeglichen, so dass kein Strom mehr fließt: *B & D* auf gleichem Potential, d.h.

$$\boxed{U_{AB} = U_{AD} \Rightarrow I_3 R_x = I_1 R_2}$$

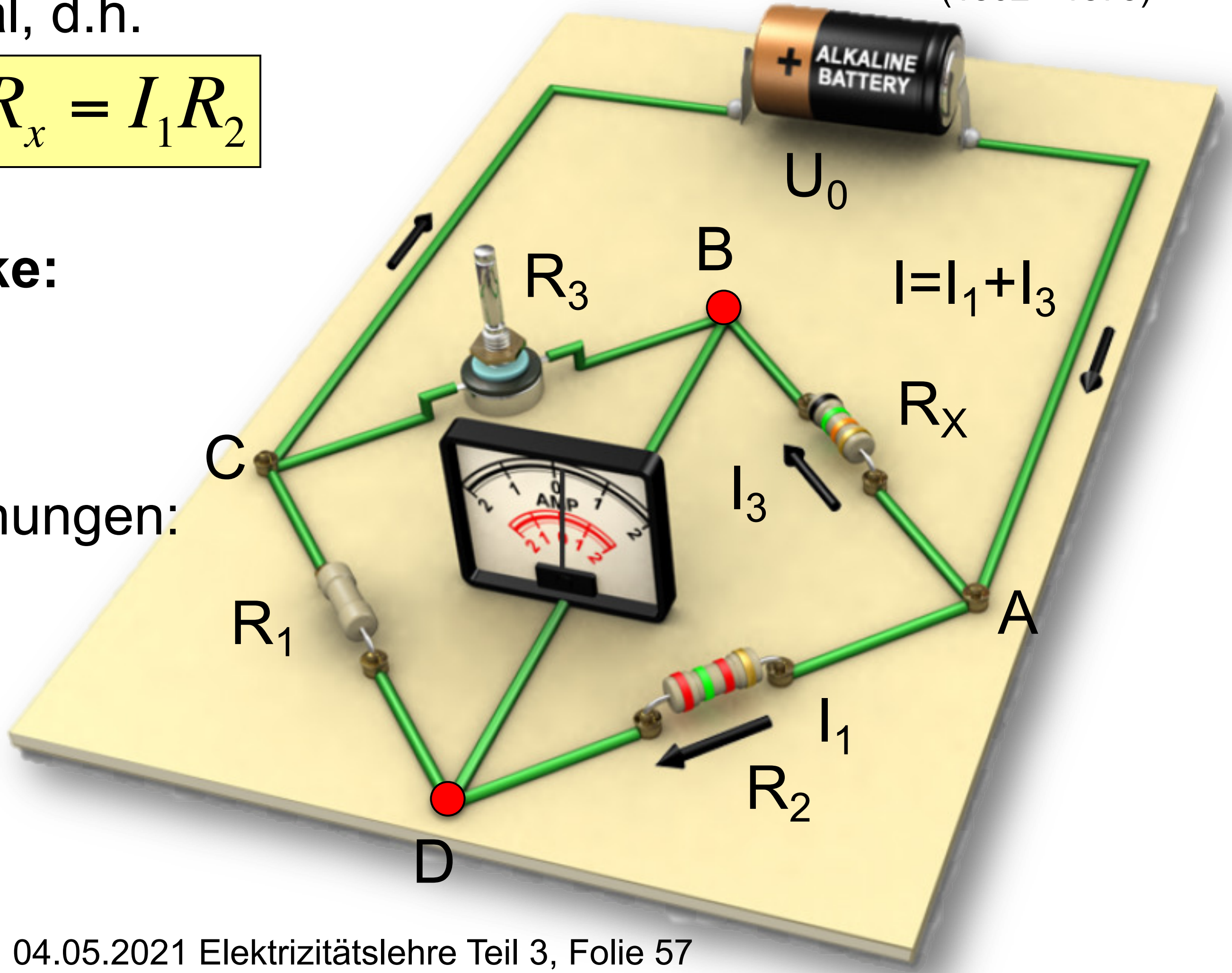
Charles Wheatstone
(1802 - 1875)

Abgeglichene Brücke:

$$\boxed{I_3 R_3 = I_1 R_1}$$

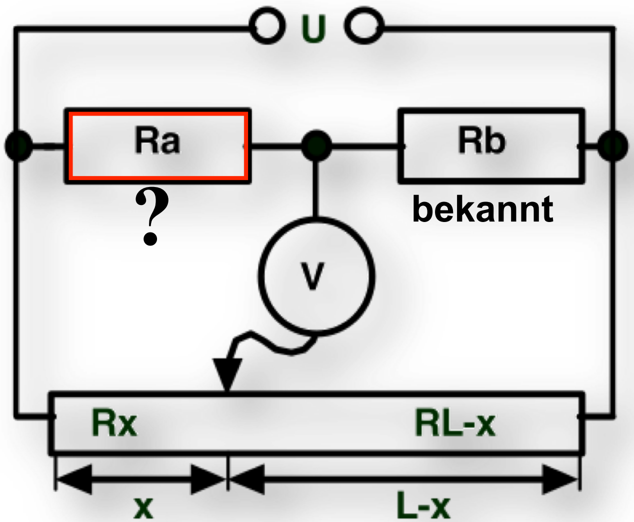
Division beider Gleichungen:

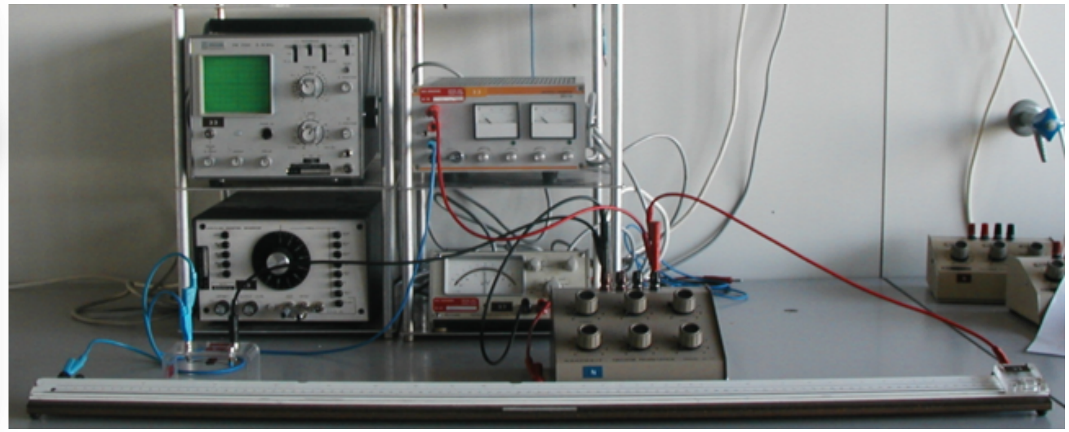
$$\boxed{R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3}$$



Bestimmung von Widerständen

Brückenmethode: Wheatstone-Brücke





Prinzip: Kompensation der Spannung V auf Null durch Einstellen eines kalibrierten Potentiometers

Dann gilt: $$\boxed{\frac{R_a}{R_b} = \frac{R_x}{R_{L-x}} = \frac{x}{L-x}} \Rightarrow \mathbf{R_a}$$