

Wiederholung vom 25.04.2019

- Dielektrika im elektrischen Feld

Polarisationsladungen $\rightarrow$ **Polarisation** $\vec{P}$

Dielektrizitätszahl ϵ_r

Suszeptibilität $\epsilon_r = 1 + \chi$

Kondensator mit Dielektrikum: $C \rightarrow \epsilon_r C$

- elektrische **Verschiebungsdichte** $\vec{D}$

1. Maxwellgleichung in Materie: $\text{div} \vec{D} = \rho_{(frei)}$

- Energiedichte im elektrischen Feld in Materie $w = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D}$

Themen heute

Der elektrische Strom

Stromdichte und Stromstärke

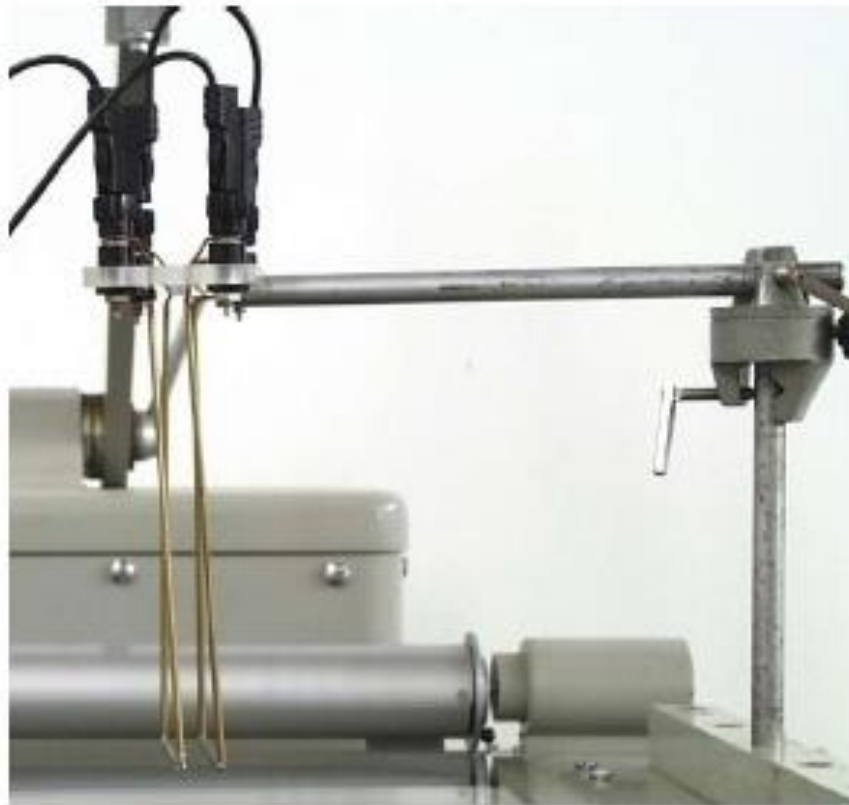
elektrischer (ohmscher) Widerstand **R**

Ohmsches Gesetz

elektrische Leistung

Bsp.: Aufladung/Entladung eines Kondensators

Elektrische Stromstärke und Stromtransport



*Demonstration: Kraftwirkung
elektrischer Ströme*

elektrische **Stromstärke** I

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad ; \quad [I] = 1\text{Ampere} = 1\text{A}$$

1 Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen elektrischen Stromes, der, durch zwei im Vakuum parallel im Abstand 1 Meter voneinander angeordneten, geradlinigen, unendlich langen Leitern von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigen Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern pro Meter Leiterlänge die Kraft 2×10^{-7} Newton hervorrufen würde.

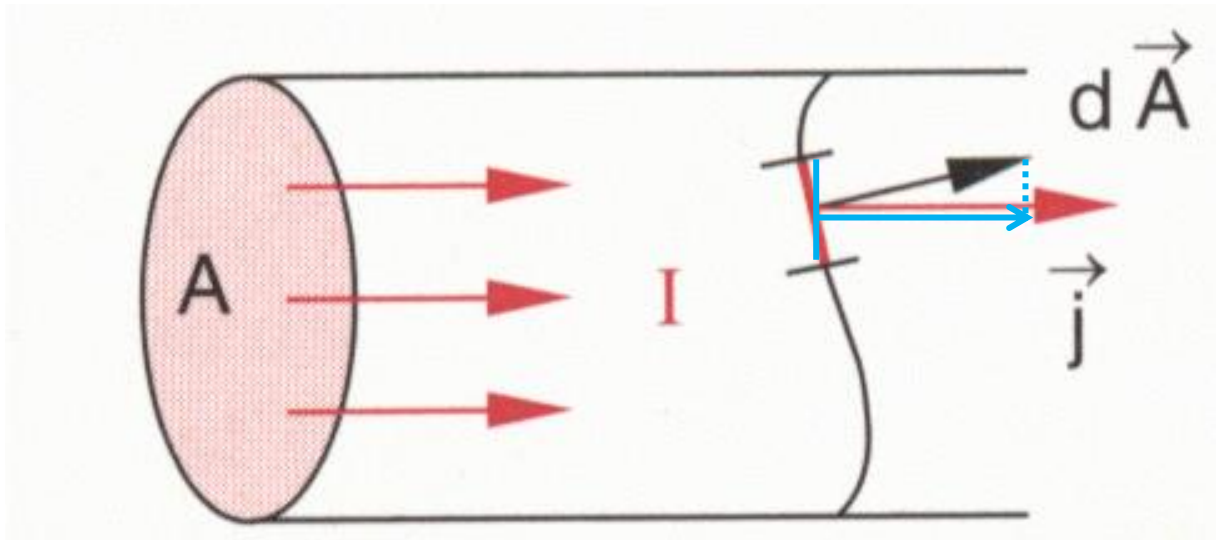
2. Der elektrische Strom

Die elektrische **Stromdichte** $\vec{j}$

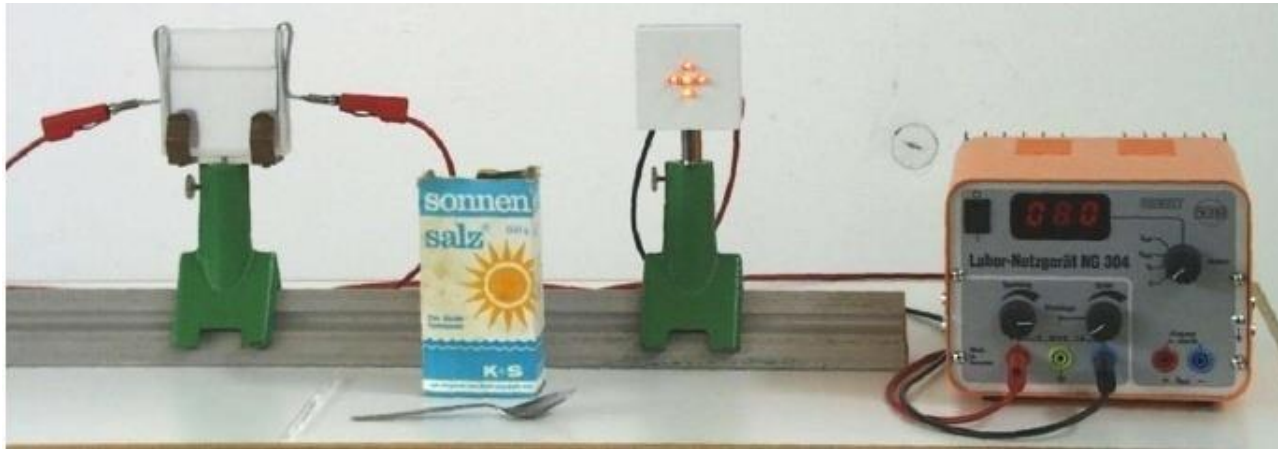
Stromdichte $\vec{j} = n \cdot q \cdot \langle \vec{v} \rangle$

nfreie Ladungsträgerdichte
 $\langle \vec{v} \rangle$mittlere Geschwindigkeit

Stromstärke $I = \frac{dQ}{dt} = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$



2. Der elektrische Strom



Demonstration: Strom durch freie Ladungsträger

Arten von Ladungsträgern - Leitungsmechanismen

- Elektronenleitung (Metalle)
- Ionenleitung (ionische Lösungen)
- gleichzeitige Elektronen- und Ionenleitung (Plasmen)
- Elektronen- und Löcherleitung (Halbleiter)

Elektrischer Widerstand

Ohmsches Gesetz

$$\vec{j} = \sigma_{el} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\rho_{el}} \cdot \vec{E}$$

mit σ_{el} ...elektrische **Leitfähigkeit**;

$$[\sigma_{el}] = 1AV^{-1}m^{-1} = 1\Omega^{-1}m^{-1}$$

ρ_{el} ...**spezifischer Widerstand**;

$$[\rho_{el}] = 1\Omega m$$

$$U = R \cdot I$$

mit $R = \frac{L \cdot \rho_{el}}{A}$...Ohmscher **Widerstand**;

$$[R] = 1\Omega m = 1\Omega$$

2. Der elektrische Strom

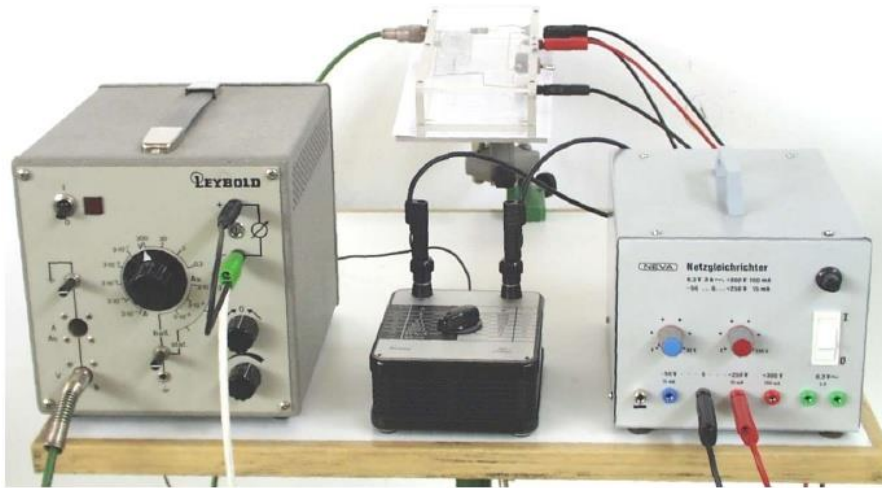
Material	$\rho_s / 10^{-6} \Omega \text{ m}$	Material	$\rho_s / \Omega \text{ m}$
Silber	0,016	Graphit	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Kupfer	0,017	Wasser mit	
Gold	0,027	10% H_2SO_4	$2,5 \cdot 10^2$
Zink	0,059	$\text{H}_2\text{O} + 10\%$	
Eisen	$\approx 0,1$	NaCl	$8 \cdot 10^2$
Blei	0,21	Teflon	$1 \cdot 10^{17}$
Queck-		Silikatglas	$5 \cdot 10^{15}$
silber	0,96	Porzellan	$3 \cdot 10^{16}$
Messing	$\approx 0,08$	Hartgummi	$\approx 10^{20}$

spezifischer Widerstand ρ_{el} einiger Materialien

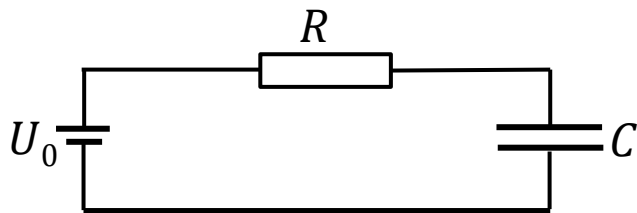
2 Der elektrische Strom

Beispiel Ohmsches Gesetz

Aufladen eines Kondensators C über einen Widerstand R



*Kondensator – Aufladung
und Entladen*



Aufladen des Kondensators ($I(t = 0) = I_0$)

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-t/\tau} \text{ mit } \tau = RC$$

$$U_C(t) = U_0(1 - e^{-t/\tau})$$

elektrische Leistung

Ein Strom I liefert bei zeitlich konstanter Spannung U die elektrische Leistung P

$$P = U \cdot I$$

Die Leistung P die durch einen ohmschen Widerstand R verbraucht wird ergibt sich zu

$$P = U_R \cdot I = I^2 \cdot R$$

Wiederholung vom 02.05.2019

- **Stromdichte** $\vec{j}$

$$\text{Stromstärke } I = \frac{dQ}{dt} = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

- Ohmscher Widerstand und **Ohmsches Gesetz**

$$\vec{j} = \sigma_{el} \cdot \vec{E}, \quad U = RI$$

- Elektrische Leistung $P = UI$
- Aufladen einer Kapazität über einen Widerstand
charakteristische Zeit: $\tau = RC$

Themen heute

Passive Bauelemente und Netzwerke

Induktivität L

Kirchhoffsche Regeln – Knoten und Maschenregel

Bsp.: Parallelschaltung von Widerständen
 Wheatstone-Brücke

Gleichspannung und **Wechselspannung**

Wechselspannungskreise mit ohmscher, kapazitiver und induktiver Last

Passive Bauelemente

elektronische Bauelemente - ohne Verstärkerwirkung
- ohne Steuerungsfunktion

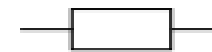
HIER:

Kapazität $U_C = \frac{1}{C} \cdot Q$

Schaltzeichen



Widerstand $U_R = R \cdot I = R \cdot \frac{dQ}{dt}$



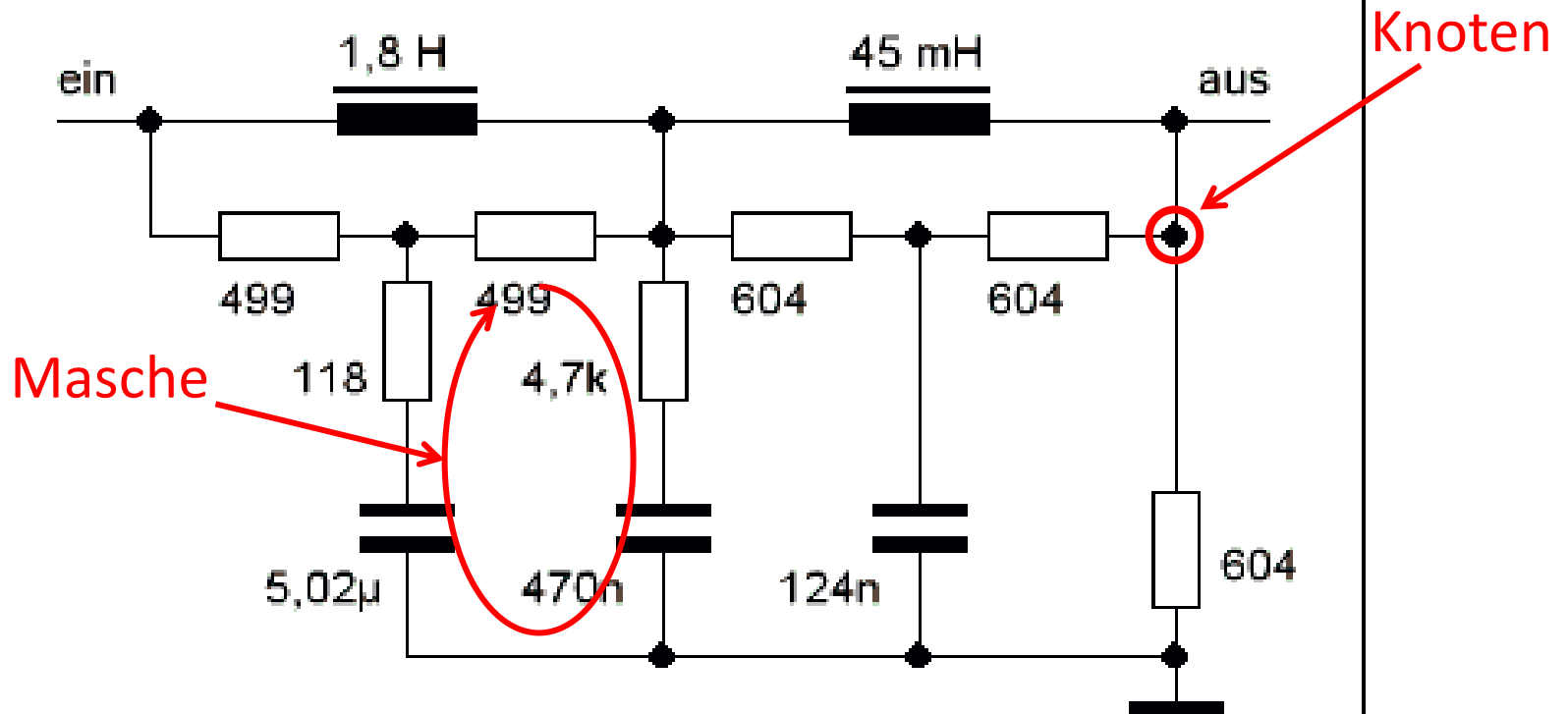
Induktivität $U_L = L \cdot \frac{dI}{dt} = L \cdot \frac{d^2Q}{dt^2}$



$$L \dots \text{Induktivität, } [L] = 1 \frac{Vs}{A} = 1 \text{Henry} = 1H$$

3. Passive Bauelemente und Netzwerke

Schaltung für unsymmetrisches 600-Ohm-RIAA-Netzwerk
mit den Einzelspulen 67.35-1800 und 67.35-45

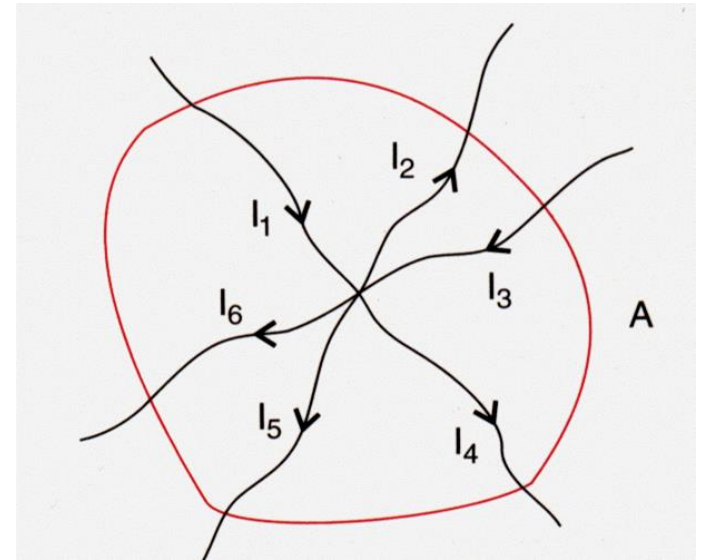


3. Passive Bauelemente und Netzwerke

Kirchhoffsche Regeln

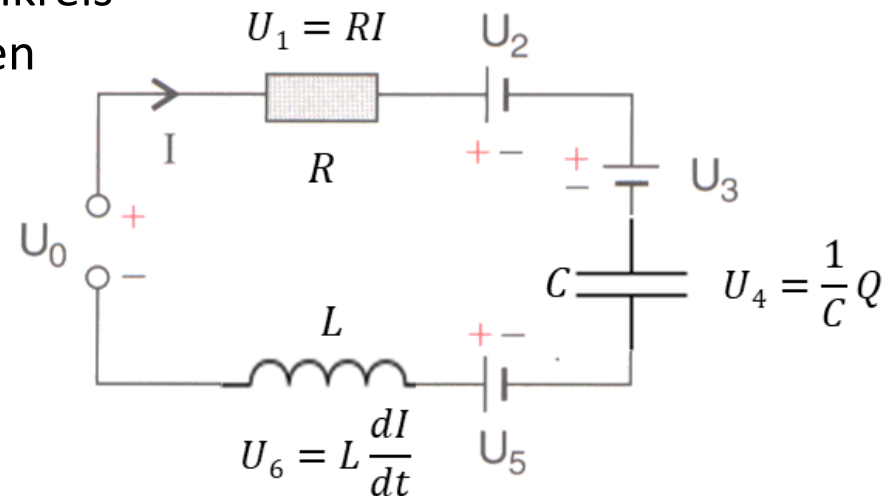
Knotenregel: Verzweigen sich mehrere Leiter in einem Punkt, so muss die Summe der einlaufenden Ströme gleich der Summe der auslaufenden Ströme sein:

$$\sum_i I_i = 0$$



Maschenregel: In jedem *geschlossenen* Stromkreis ist die Summe aller Verbraucherspannungen gleich der Generatorspannung

$$\sum_i U_i = 0$$



3. Passive Bauelemente und Netzwerke

Knoten- und Maschenregel:

Vorzeichenkonvention - „Quellen-/Erzeuger- Zählpfeilsystem

1. Strompfeile einzeichnen:

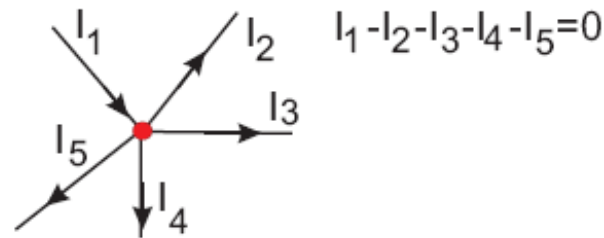
Batterie: Strompfeil zeigt vom “+” Pol weg.

R,L,C: willkürliche Richtung .

2. Knotenregel anwenden:

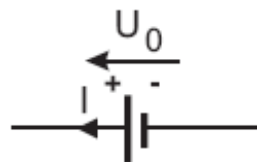
Die Summe aller Ströme in einen Knoten ist null.

Vorzeichen: Strompfeil zeigt in Richtung des Knotens: +, vom Knoten weg: -

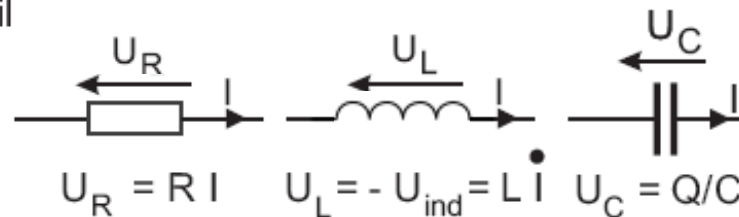


3. Spannungspfeile einzeichnen:

Batterie: vom “-” zum “+” Pol, also
Spannungspfeil || Strompfeil



R,L,C: antiparallel zum Strompfeil



4. Umlaufsinn der Maschen im Netzwerk: willkürlich wählen.

5. Maschenregel anwenden:

Bei einem Umlauf in einer Masche müssen sich die Spannungen zu null addieren.

Vorzeichen: Spannungspfeile im Umlaufsinn orientiert: +, entgegengesetzt: -

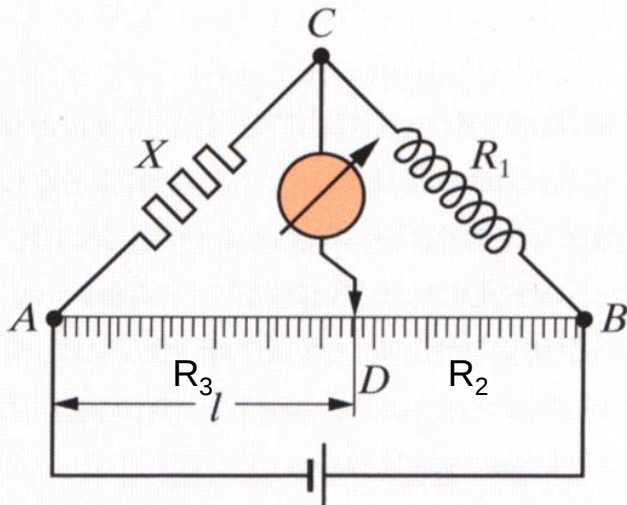
3. Passive Bauelemente und Netzwerke

Bsp. Kirchhoffsche Regeln

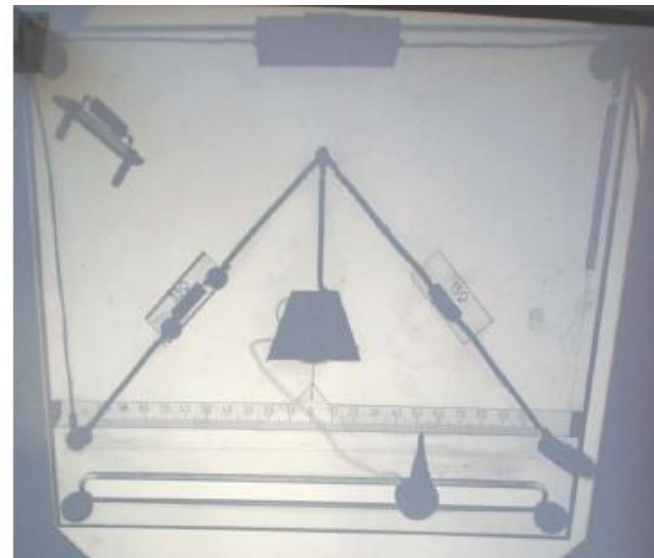
Serienschaltung Ohmscher Widerstände: $R_{Ges} = \sum_i R_i$

(Parallelschaltung Ohmscher Widerstände: $\frac{1}{R_{Ges}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$)

Wheatstonesche Brückenschaltung



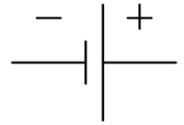
Wheatstone-Brücke mit Schleifendraht



Demonstration Wheatstonesche Brückenschaltung

Wechselspannungsquelle

bisher: $U = \textit{konstant}$, z. B. Batterie



jetzt (auch): Wechselspannungsquellen; hier: $U(t) = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$

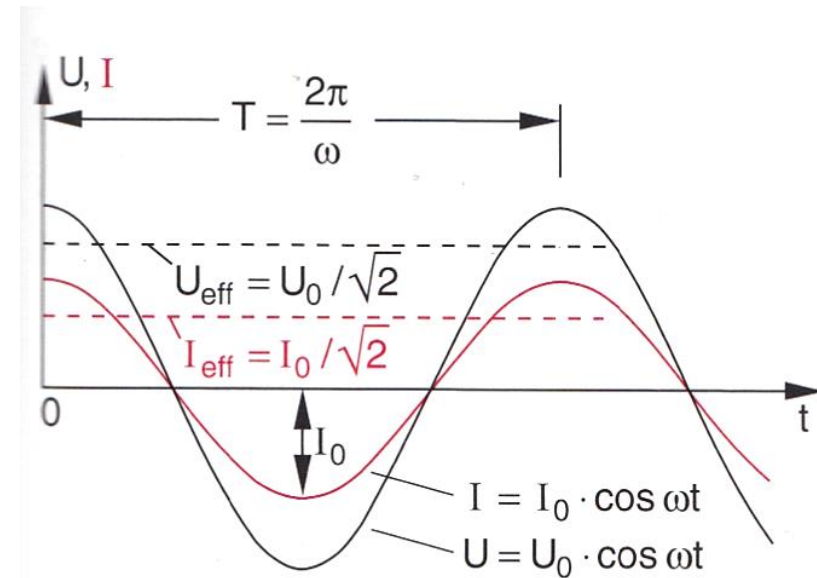


Wechselspannungsquelle mit **Ohmscher Last** R

$$I(t) = \frac{U_0}{R} \cos(\omega t + \varphi)$$

Momentanleistung: $P(t) = U_0 I_0 \cos^2(\omega t + \varphi)$

mittlere Leistung: $\bar{P} = \frac{1}{2} U_0 I_0 = U_{eff} I_{eff}$



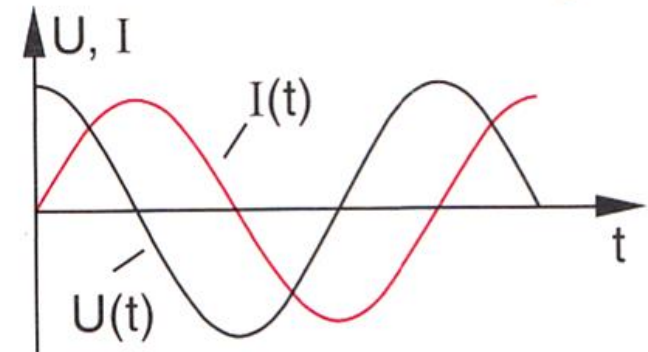
Induktive und kapazitive Last

i) Wechselspannungsquelle mit **induktiver Last** L :

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

$$\Rightarrow I(t) = \frac{U_0}{\omega L} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

induktiver Widerstand R_L : $R_L = i\omega L$



ii) Wechselspannungsquelle mit **kapazitiver Last** C :

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

$$\Rightarrow I(t) = U_0 \omega C \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

kapazitiver Widerstand R_C : $R_C = \frac{1}{i\omega L}$

