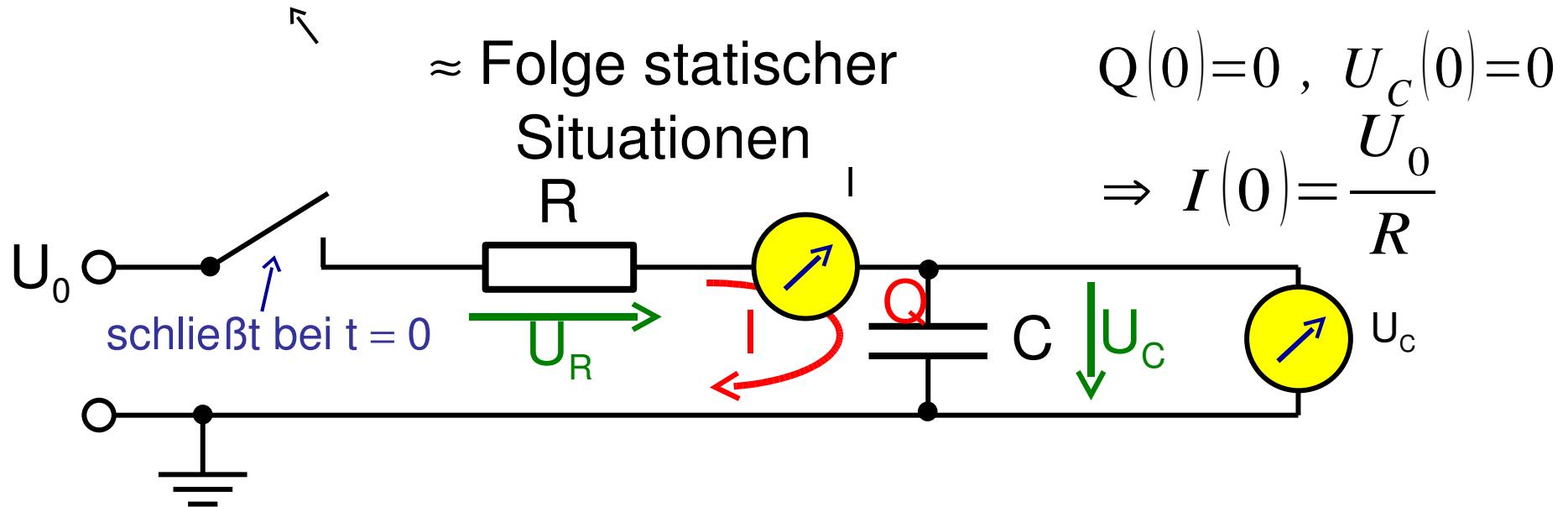


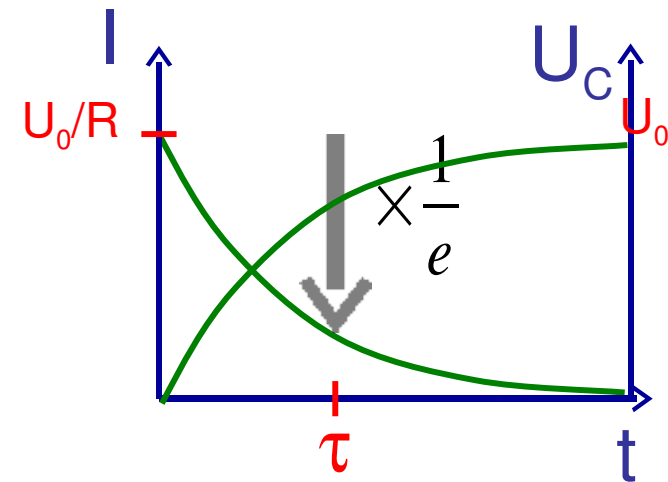
Beispiel: quasistatisches Auf-/Entladen eines Kondensators



$$U_0 = U_R + U_C = RI(t) + \frac{1}{C}Q(t)$$

$$0 = R\dot{I} + \frac{1}{C}\dot{Q} = R\dot{I} + \frac{1}{C}I \Rightarrow \dot{I} = -\frac{1}{RC}I$$

Lösung: $I(t) = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}, \tau = RC$



$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t I(\tilde{t}) d\tilde{t} = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

1.4.3. Stromleistung und Joulsche Wärme

Arbeit des E-Feldes:

$$W = Q(\phi_1 - \phi_2) = QU$$

Elektrische Leistung:

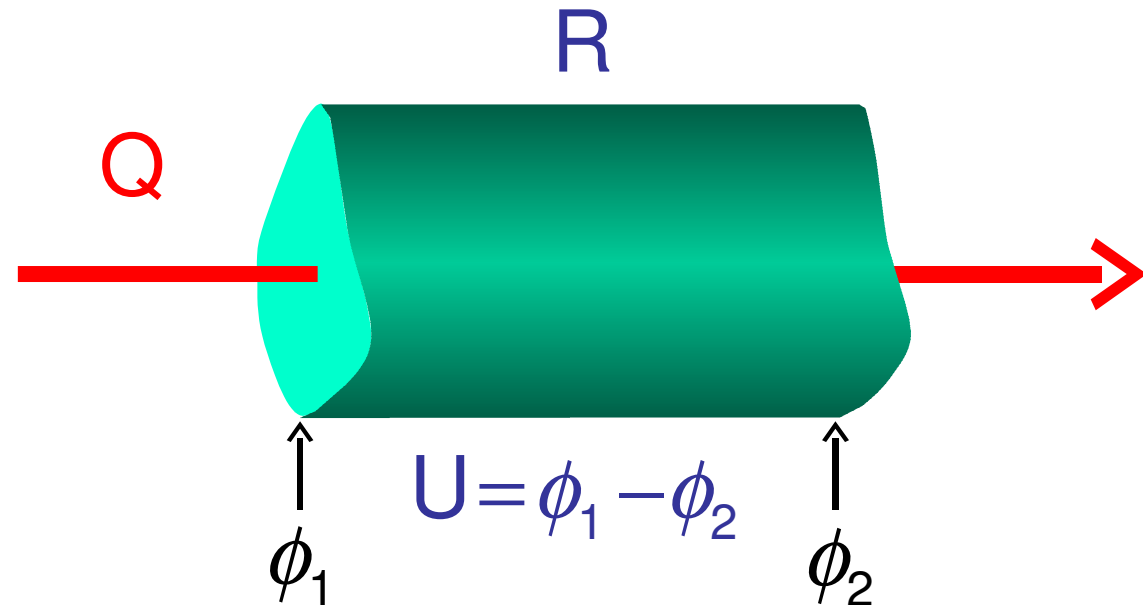
$$P = \frac{dW}{dt} = U \frac{dQ}{dt} = UI$$

\uparrow
 $U = \text{const.}$

Ohmsches Gesetz \Rightarrow

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

$$I = \text{const.} \Rightarrow P \propto R \quad , \quad U = \text{const.} \Rightarrow P \propto 1/R$$



Einheiten:

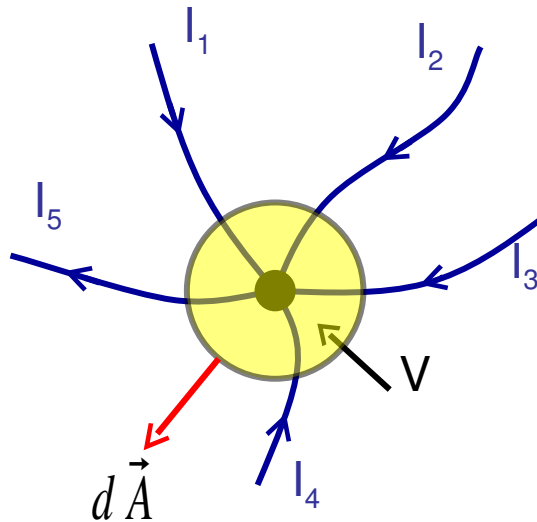
$$[P] = VA = W = \text{Watt}$$

$$[W] = Ws \quad , \quad 1Ws = 1J$$

1.4.4. Kirchhoffsche Regeln

Analyse von **Leiternetzwerken**, (allg.) **Widerständen**,
Spannungs- / Stromquellen, ...

a) Knotenregel: Knoten = punktförmige Leiterverbindung



$$I = \int \vec{j} d\vec{A} \Rightarrow$$

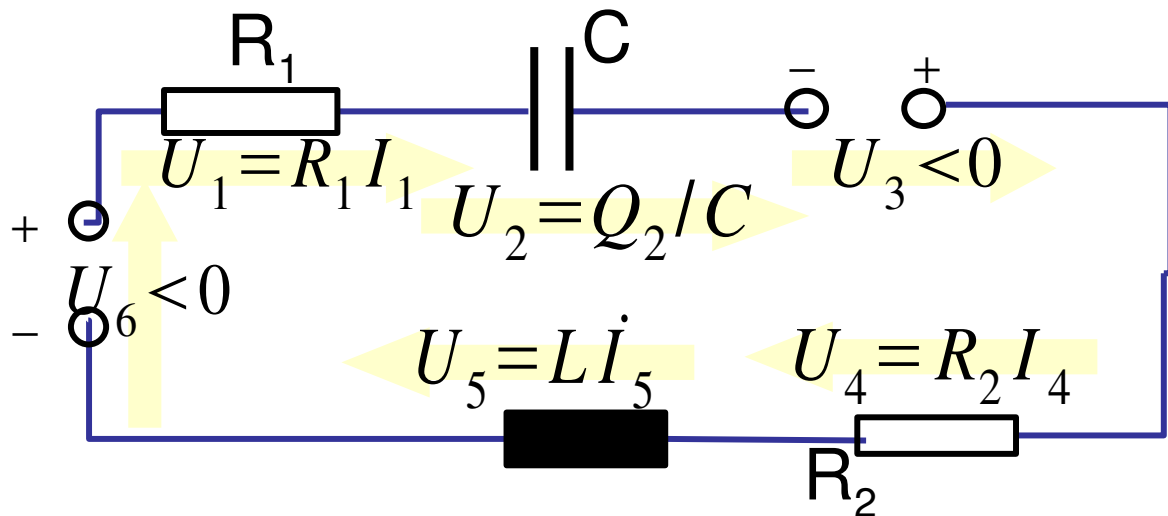
auslaufend: $I > 0$

einlaufend: $I < 0$

Ladungserhaltung \Rightarrow

$$\sum_{i \in \text{Knoten}} I_i = 0$$

b) Maschenregel: Masche = Schleife in der Schaltung

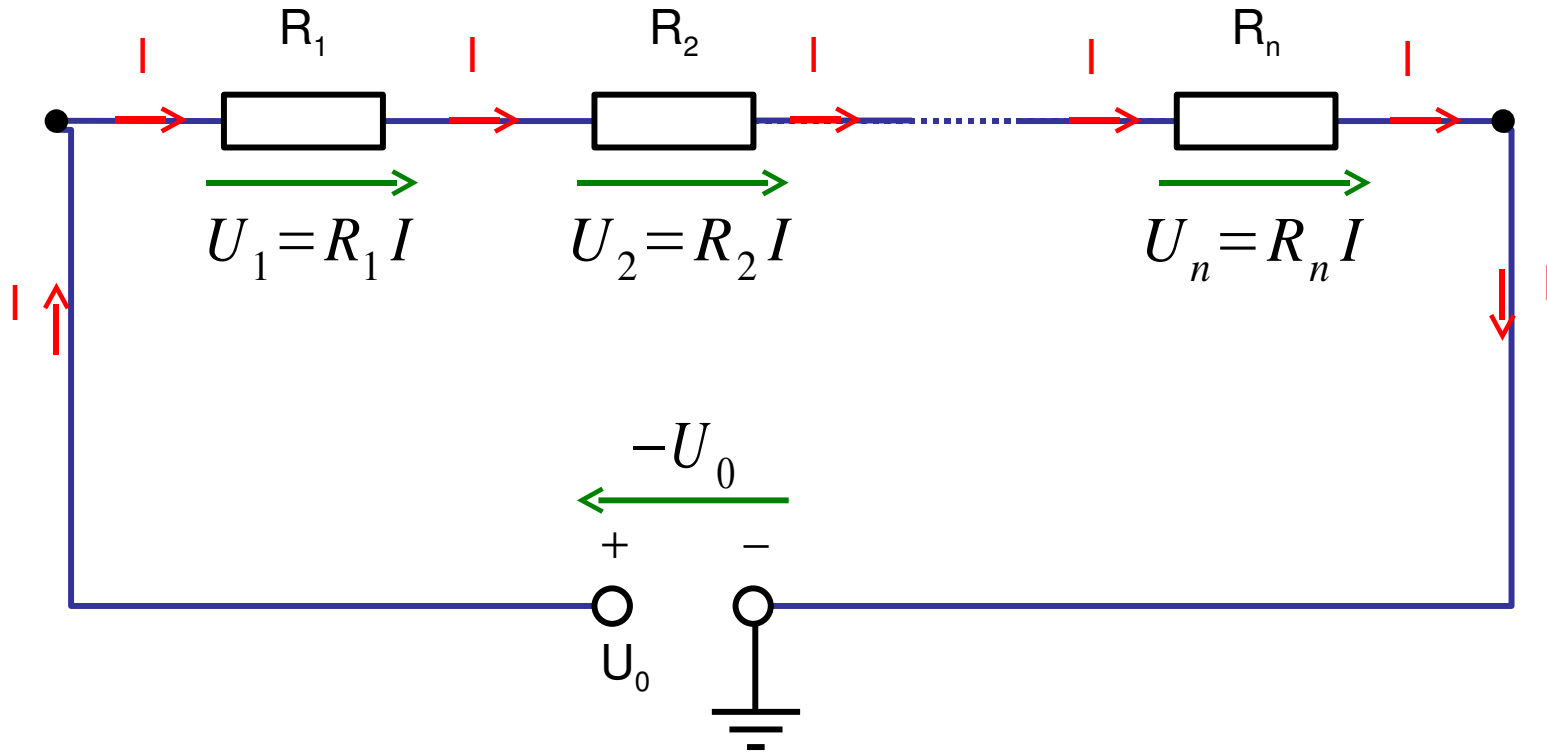


$$\oint \vec{E} d\vec{s} = 0$$

Masche

$$\Rightarrow \sum_{i \in \text{Masche}} U_i = 0$$

Anwendung (1): Reihenschaltung ohmscher Widerstände

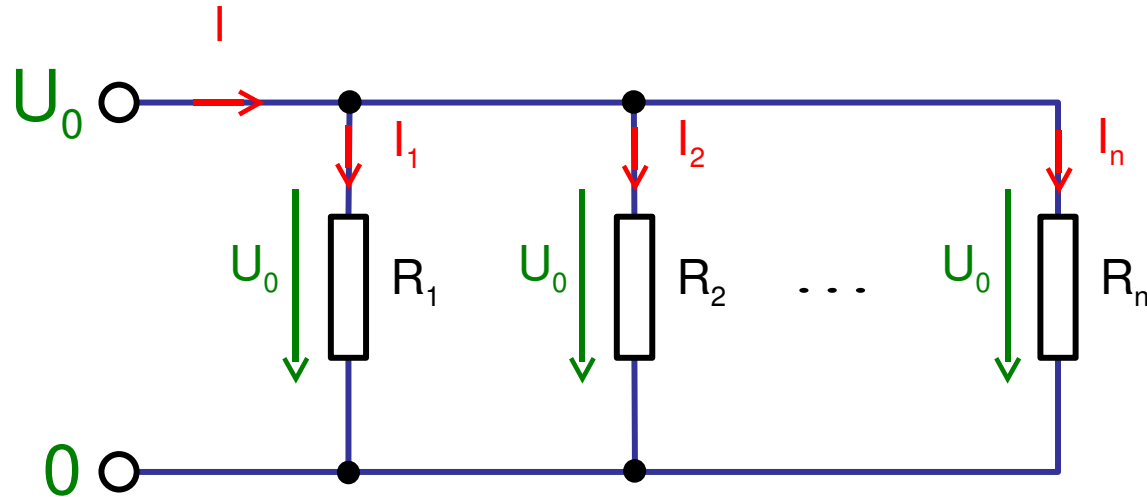


Maschenregel:

$$-U_0 + R_1 I + R_2 I + \dots + R_n I = 0 \Rightarrow U_0 = \underbrace{\left(\sum_{i=1}^n R_i \right)}_{R_{\text{tot}}} \cdot I$$

$$R_{\text{tot}} = \sum_i R_i$$

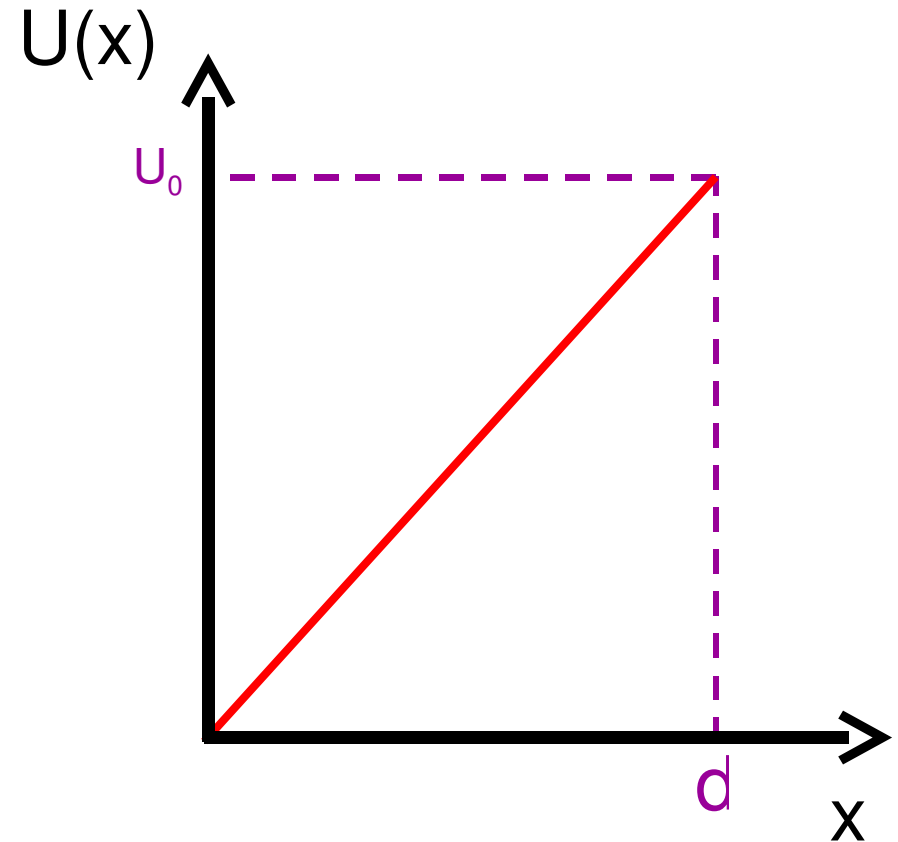
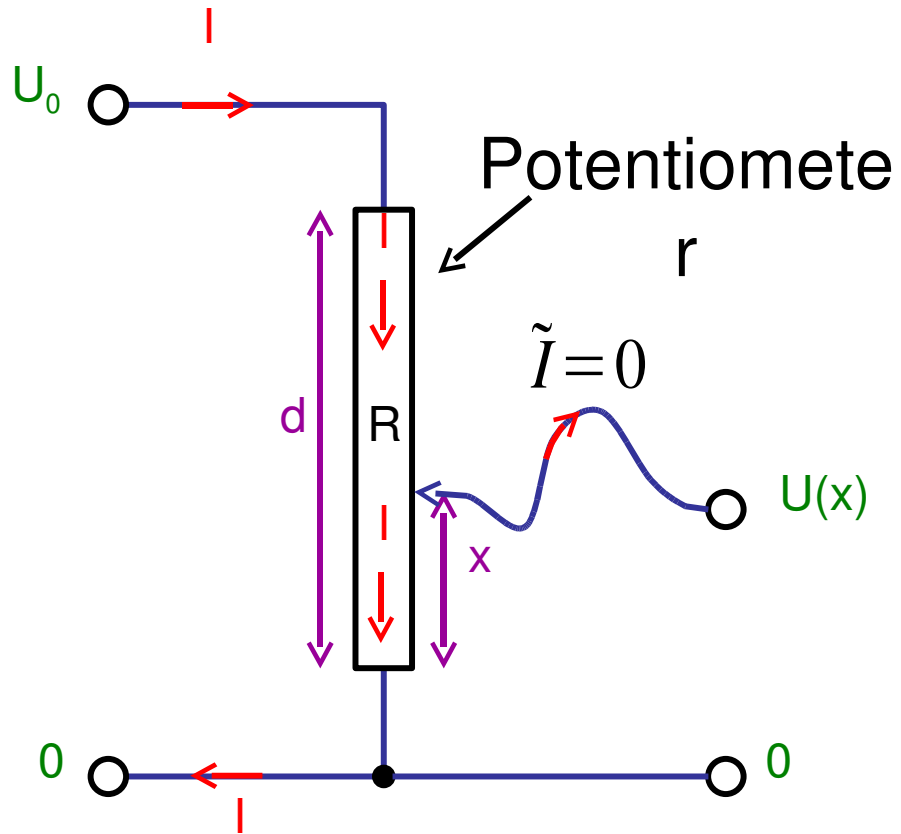
Anwendung (2): Parallelschaltung ohmscher Widerstände



Knotenregel: $-I + I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0 \Rightarrow \frac{U_0}{R_{\text{tot}}} = \sum_{i=1}^n \frac{U_0}{R_i}$

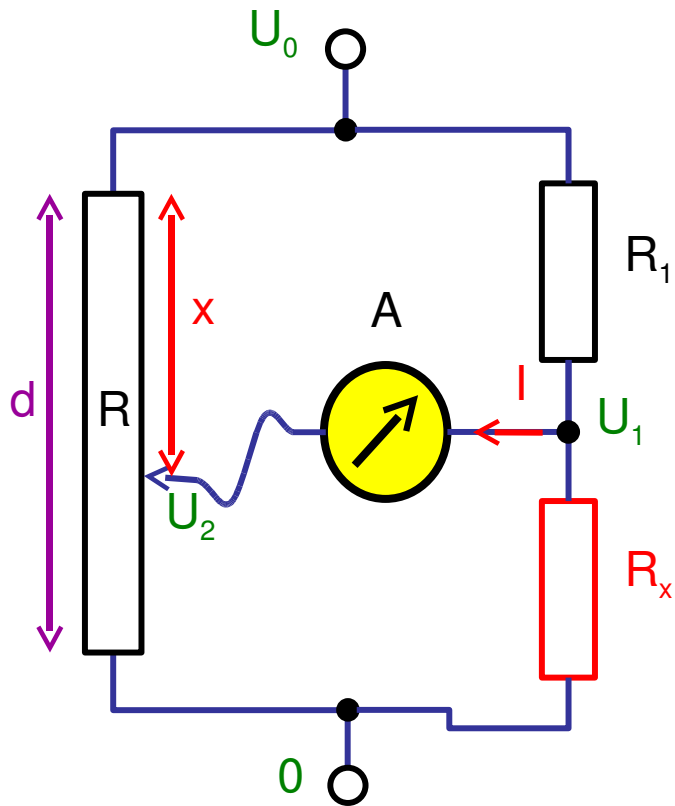
$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

Anwendung (3): Spannungsteiler



$$U(x) = I \cdot \left(\frac{x}{d} R \right) = \frac{x}{d} \cdot U_0$$

Anwendung (4): Wheatstonesche Brückenschaltung



Nullabgleich: $I = 0 \Leftrightarrow U_1 = U_2$

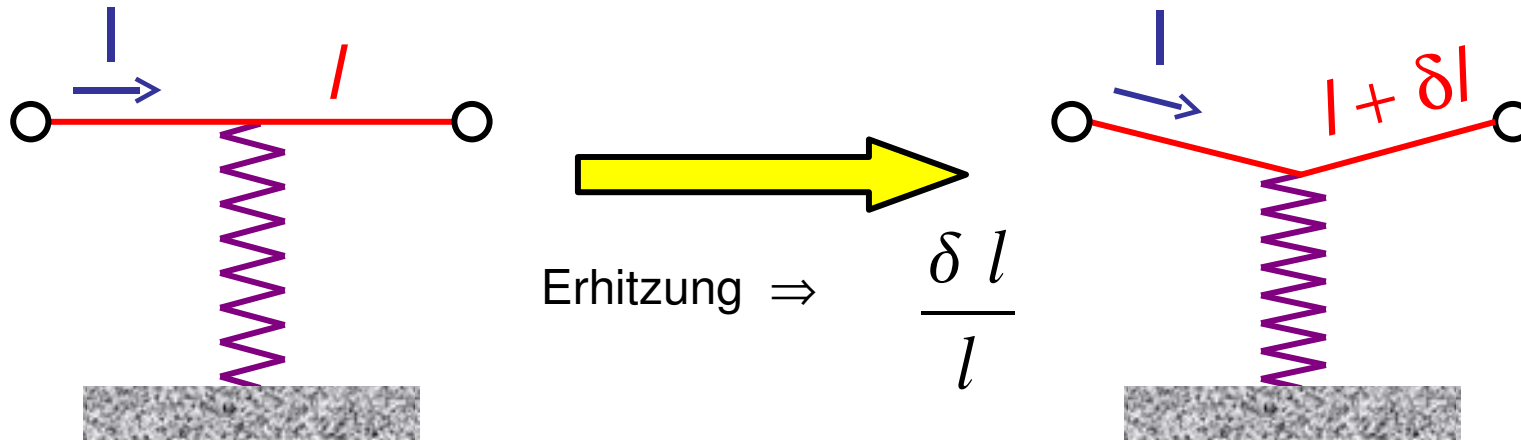
$$\Leftrightarrow \frac{R_1}{R_x} = \frac{x}{d-x}$$

$$R_x = \frac{d-x}{x} \cdot R_1$$

1.4.5. Messgeräte

„Amperemeter“

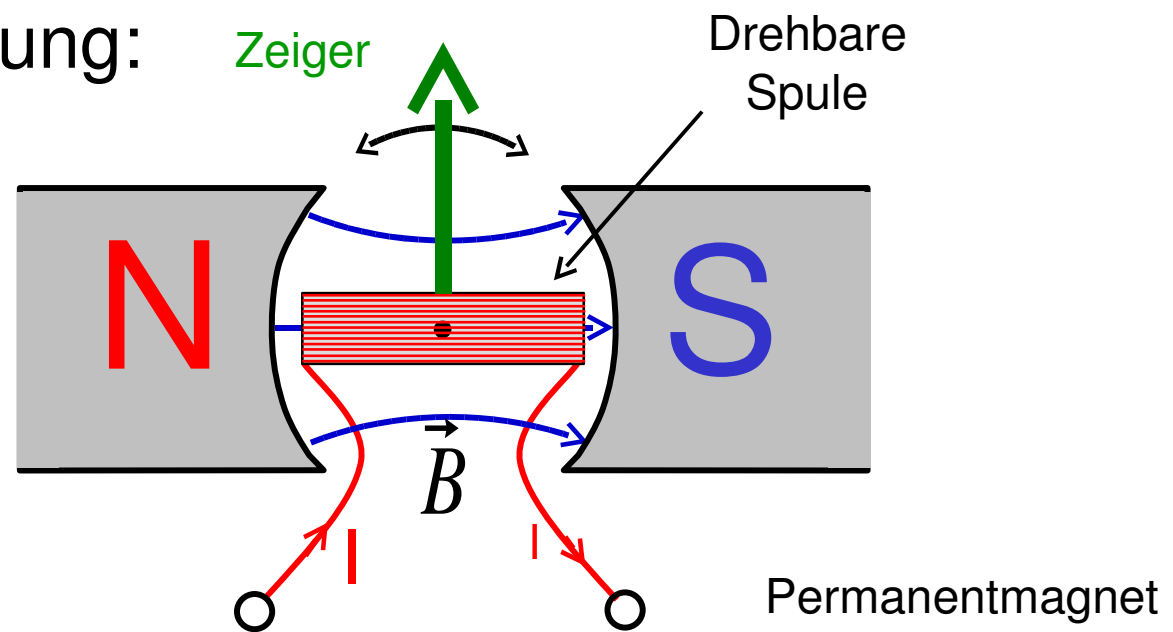
a) Wärmewirkung: **Hitzdraht-Amperemeter**



b) Magnetische Wirkung:

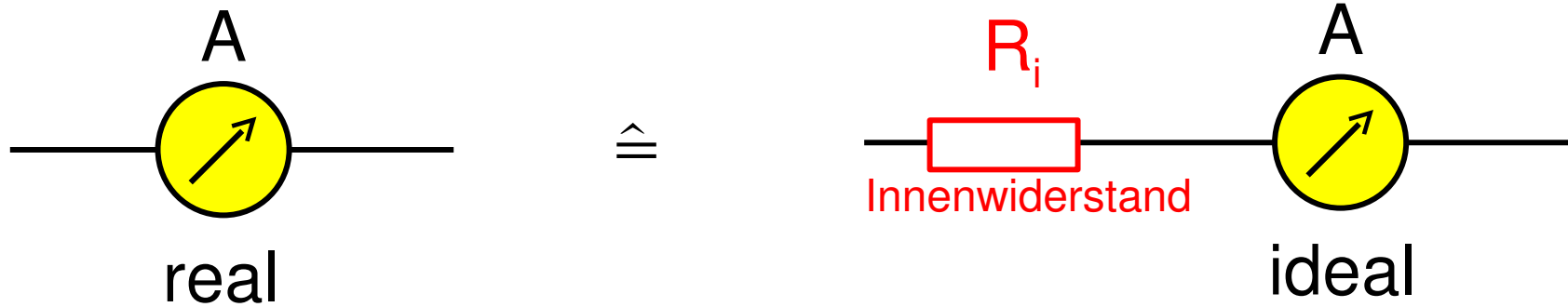
Galvanometer

Drehspulgerät:



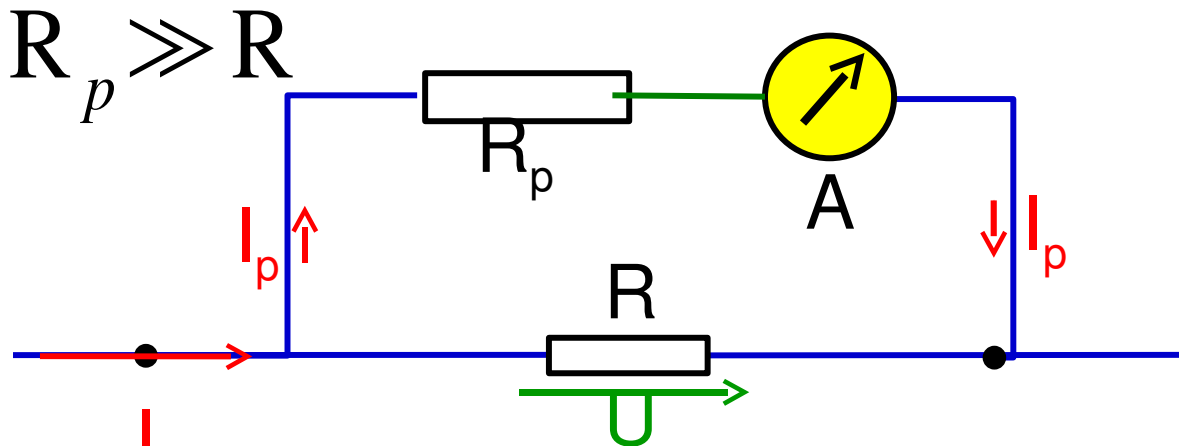
c) Elektrolytische Wirkung: $I \leftrightarrow$ Menge des pro Zeiteinheit elektrolytisch zersetzten Stoffes

Innenwiderstand des Amperemeters:



$U = \text{const} \Rightarrow I$ sinkt durch Innenwiderstand des Amperemeters
 $\Rightarrow R_i$ sollte klein sein

Indirekte Spannungsmessung mit Amperemetern:



$$U_0 \approx R_p I_p$$

Spannung ohne Messgerät:

$$U_0 = RI$$

gesucht

Spannung mit Messgerät:

$$U = R(I - I_p) \approx RI = U_0$$

$$U = R_p I_p \leftarrow \text{gemessen}$$

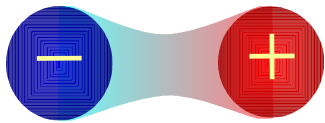
Innenwiderstand des Voltmeters sollte sehr groß sein, damit $I_p \ll I$

1.4.6. Elektrolytische Leitung von Strom

Elektrolyt: Flüssigkeit mit frei beweglichen **Ionen** (geladene Moleküle)
z.B. Salzlösungen, Säuren, Laugen

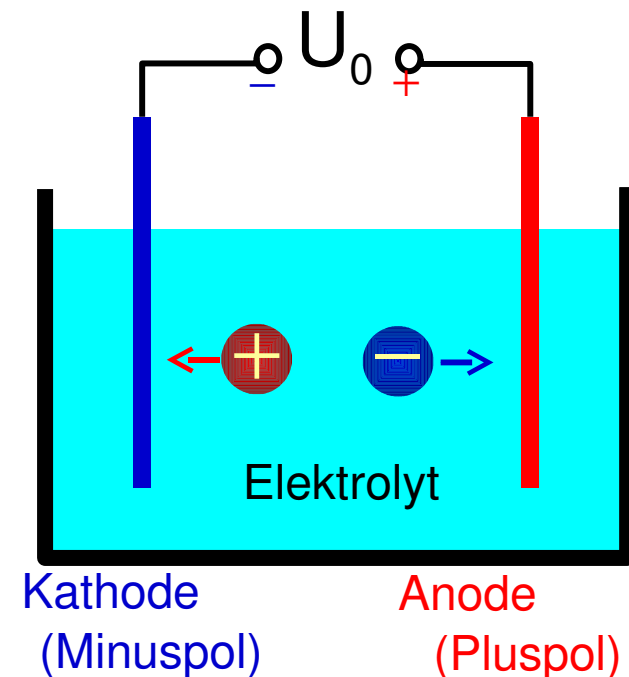
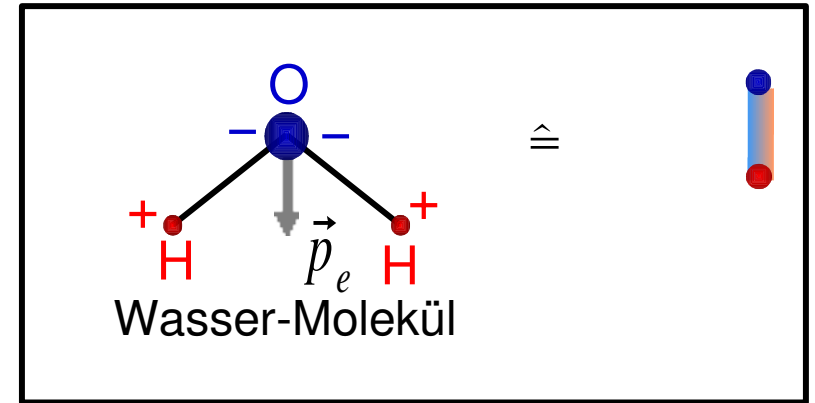
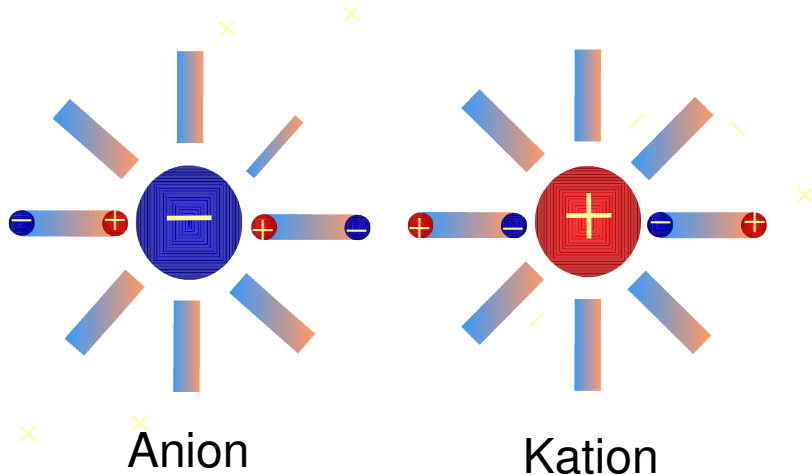
Bildung eines Elektrolyts:

Molekül mit Ionenbindung



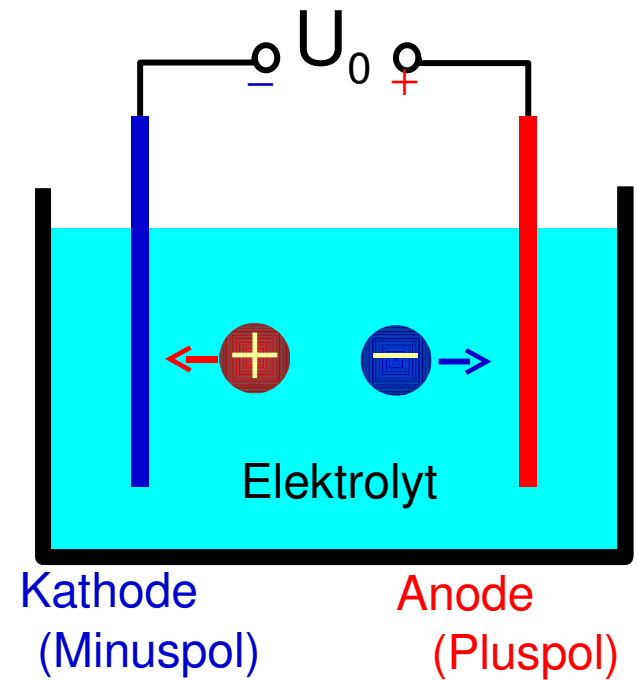
Dissoziation

(Aufspaltung in Wasser da energetisch günstiger)



Neutralisierung der Ionen an Elektroden \Rightarrow

- Ablagerungen auf Elektroden
- Aufsteigen von Gasbläschen an Elektroden
- Auflösen von Elektroden



Spezialfall: Dissoziation von Wasser



\Rightarrow (geringe) Leitfähigkeit von Wasser

Erhöhung der Leitfähigkeit durch Zugabe von Salz etc.

Knallgaserzeugung mit Kochsalzlösung:

Dissoziation von Kochsalz: $\text{Na Cl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

Kathode: $2 \text{Na}^+ + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Na OH} + \text{H}_2 \uparrow$

Anode: $4 \text{Cl}^- + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H Cl} + \text{O}_2 \uparrow + 4 \text{e}^-$

$\Rightarrow 2 \text{H}_2\text{-Moleküle} + 1 \text{O}_2\text{-Molekül} \Rightarrow \text{Knallgas}$

Knallgaserzeugung mit verdünnter Schwefelsäure:

Dissoziation Schwefelsäure: $\text{H}_2 \text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

Kathode: $2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$

Anode: $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 \text{SO}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \uparrow + 2 \text{e}^-$

$\Rightarrow 2 \text{H}_2\text{-Moleküle pro O}_2\text{-Molekül} \Rightarrow \text{Knallgas}$

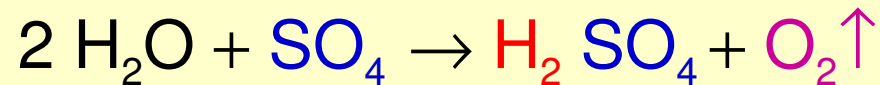
Kupferbeschichtung (Rostschutz):

Dissoziation Kupfersulfat: $\text{Cu SO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$

Kathode (z.B. Nickel): $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ (galvanische Beschichtung)

Anode: $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{SO}_4 + 2 \text{e}^-$

a) Kohlestab



b) Kupfer (Opferelektrode)

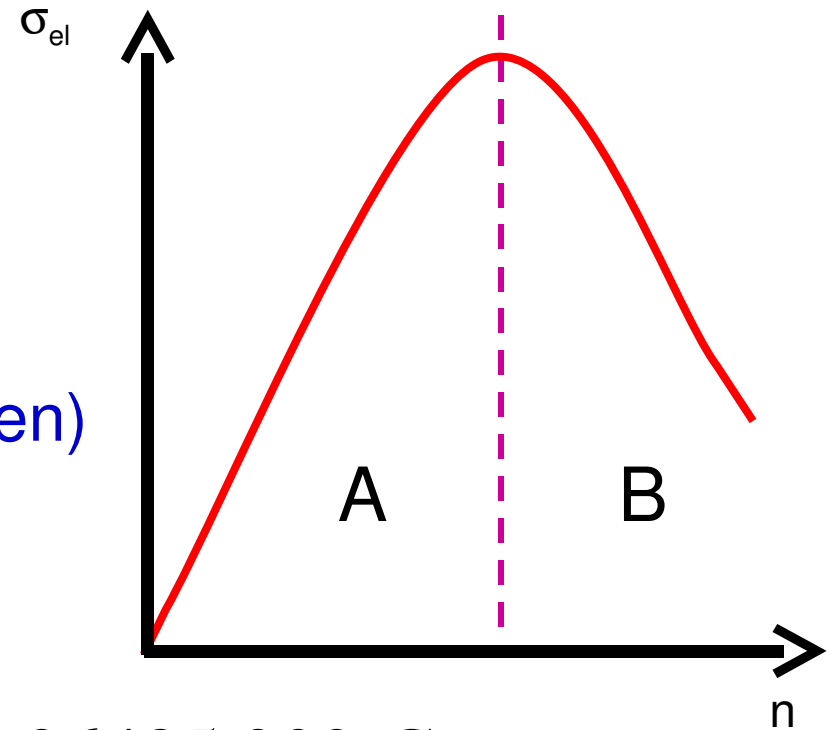


Leitfähigkeit und Ionenkonzentration:

A: Ladungsträgerdichte steigt

B: Beweglichkeit nimmt ab

(Anziehung von Kationen und Anionen)



Def.: Faraday-Konstante

$$F = N_A \cdot e = 96485,309 \text{ C}$$

Folgerung: 1 Mol eines Ions mit Ladg. $Z \cdot e$ transportiert die Ladg. $Z \cdot F$

Messungen:

b) Elektrochemisches Äquivalent: $m_Q = m_{\text{abgeschieden}} [\text{mol}] / Q_{\text{transportiert}}$

c) Ladungszahl Z und Faraday-Konstante: $Z \cdot F = m_Q^{-1}$

d) Elementarladung: $e = F / N_A = (Z N_A m_Q)^{-1}$