

PraktIES: Schnellkurs Elektrotechnik



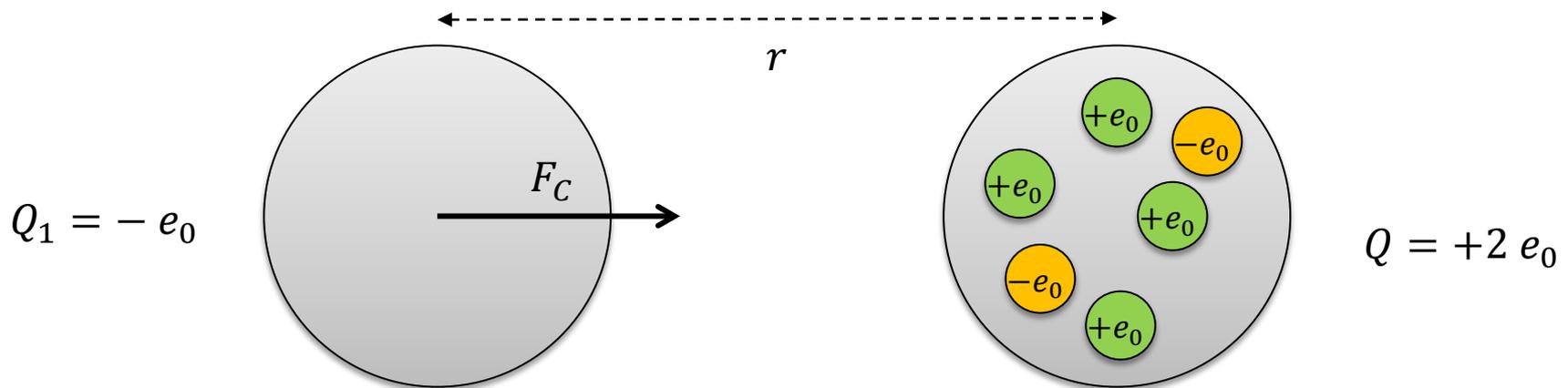
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prof. Koch, Andreas Engel

- Grundbegriffe der Elektrostatik / Elektrodynamik
- Passive Bauelemente in elektrischen Schaltkreisen
- Halbleiter und aktive Bauelemente
- Abgrenzung:
 - Sachliche Ungenauigkeiten (Vektorgrößen, Differentiale)
 - Keine Wechselspannungen (Hoch-/Tiefpass, Phasenverschiebung,...)
 - Keine Transistoren

- **Grundbegriffe der Elektrostatik / Elektrodynamik**
- Passive Bauelemente in elektrischen Schaltkreisen
- Halbleiter und aktive Bauelemente

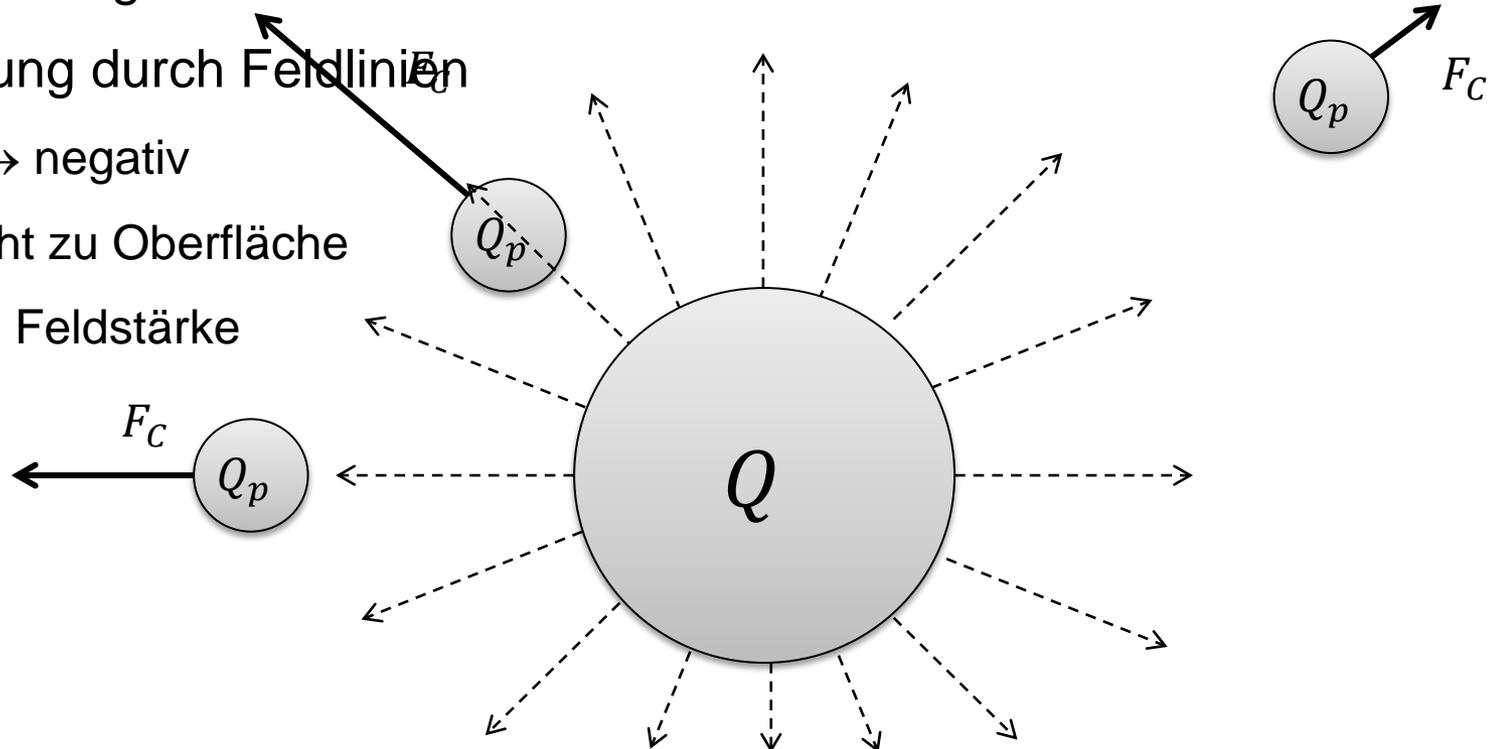
- Grundeigenschaft vom Materie
- Vielfaches von Elementarladung $Q = z \cdot e_0$, $z \in \mathbb{Z}$, $e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{As}$
- Übertragbar (bspw. durch Reibung)
- Ladungserhaltung: $\sum_i Q_i = \text{const}$
- Wechselwirkung: $F_C \propto Q_1 Q_2 r^{-2}$



Elektrische Feldstärke E [V/m bzw. N/As]

- Kraft pro Probeladung
- Vektorielle Feldgröße
- Visualisierung durch Feldlinien
 - Positiv \rightarrow negativ
 - Senkrecht zu Oberfläche
 - Dichte \propto Feldstärke

$$E = \frac{F_C}{Q_p}$$

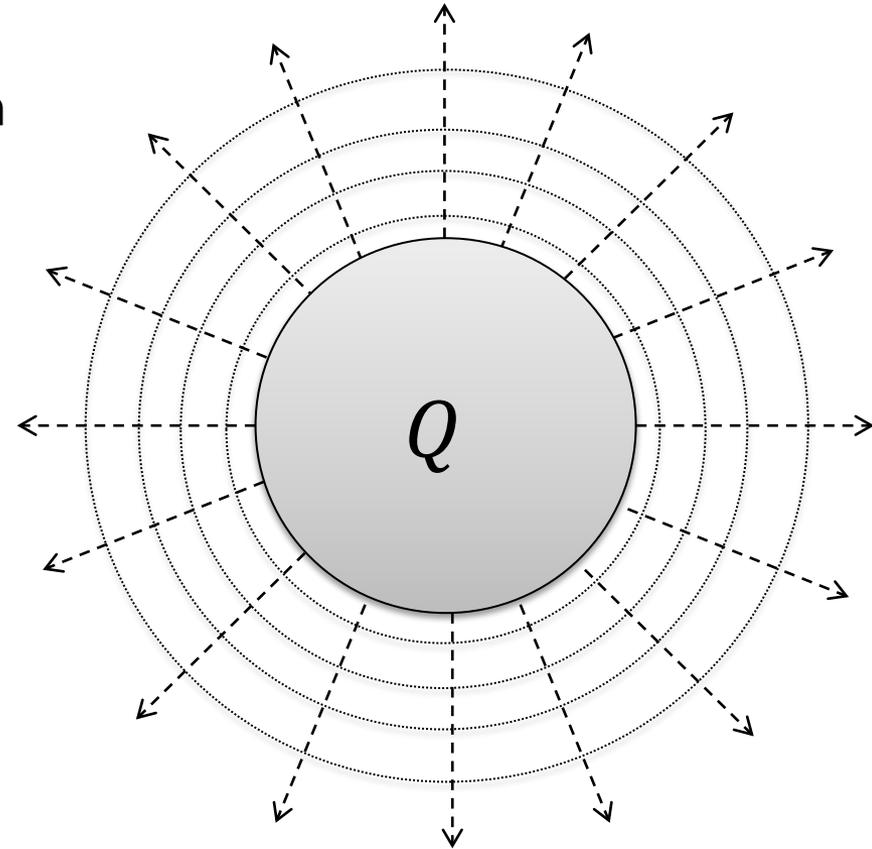


Elektrisches Potential φ [V]

- notwendige spezifische Energie, um Probeladung ins Feld zu verschieben

$$\varphi = \frac{W}{Q_p}$$

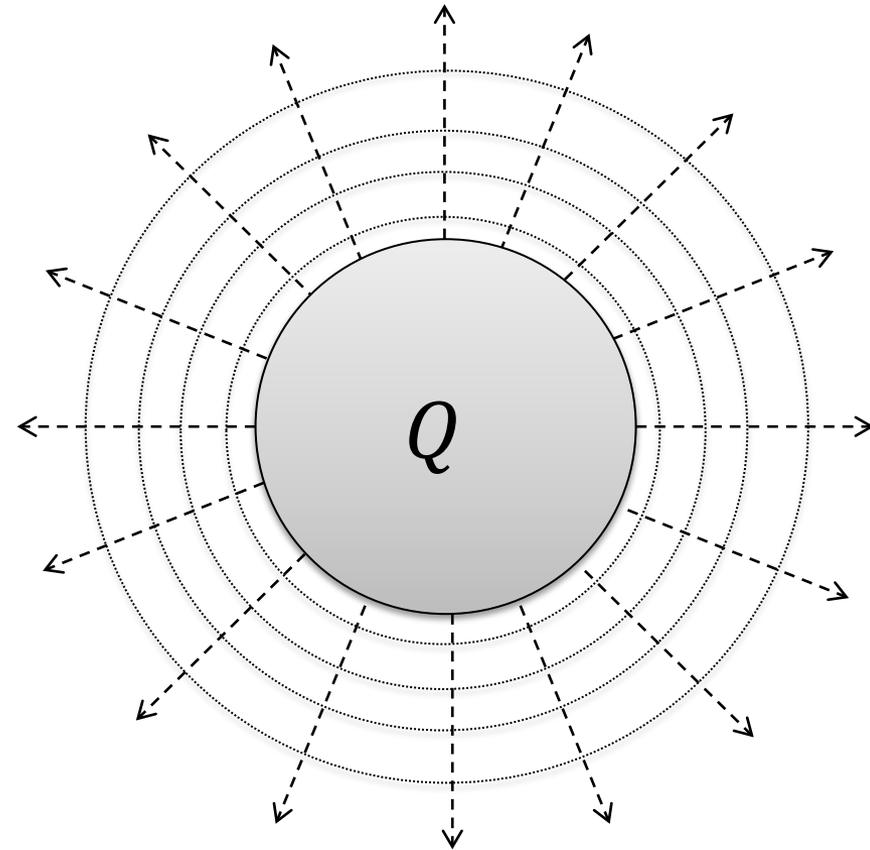
- Skalare Feldgröße
- Visualisiert durch Äquipotentiallinien



Elektrische Spannung U [V]

- notwendige spezifische Energie, um Probeladung im Feld zu verschieben

$$U = \Delta\varphi = \frac{\Delta W}{Q_p}$$



Elektrische Kapazität

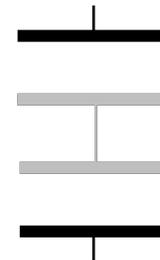
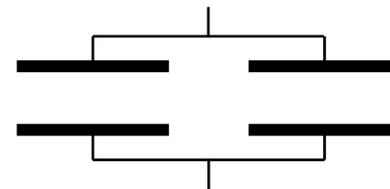
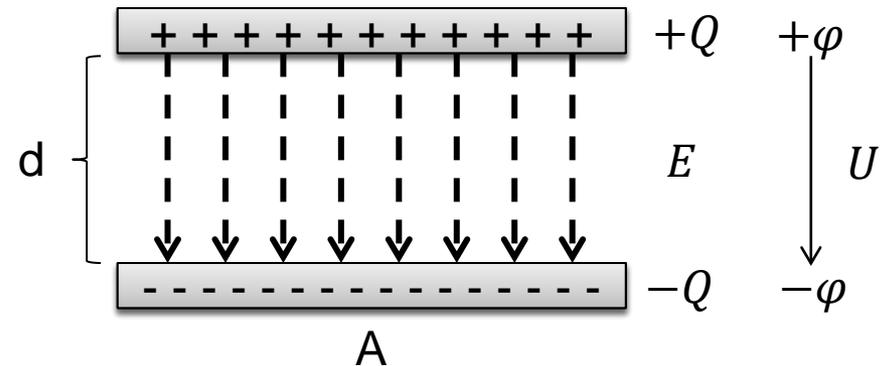
C [As/V bzw. Farad]

• Plattenkondensator $U \propto Q \frac{d}{A}$

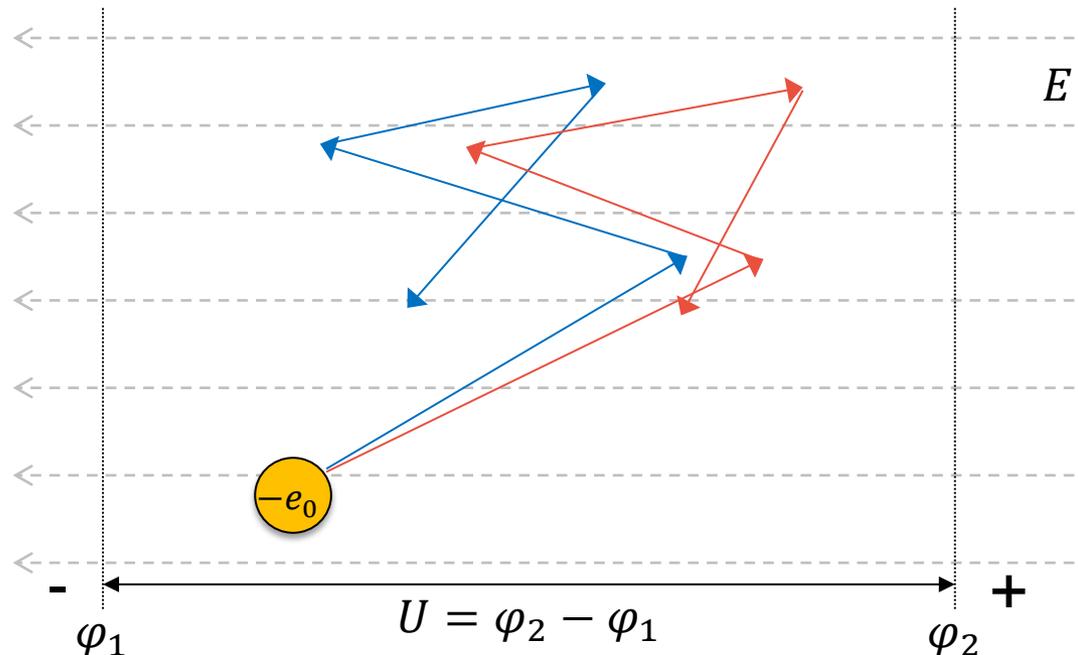
• Bauteilkonstante $C = \frac{Q}{U} \propto \frac{A}{d}$

• Parallelschaltung $C = C_1 + C_2$

• Reihenschaltung $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$



- Freie Ladungsträger im Elektrischen Feld
 - Zufällige thermische Bewegung ($\approx 10^5 \text{ m/s}$)
 - Gerichtete Drift im E-Feld ($\approx 10^0 \text{ m/s}$)



$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Stromfluss: + \rightarrow -
Elektronen: - \rightarrow +

Elektrischer Widerstand R [Ω]

- Ladungsträgerbeweglichkeit & Potentialdifferenz \Rightarrow Stromfluss

$$\sigma \cdot U = I$$

- Ohm'sches Gesetz

$$R = \frac{1}{\sigma} = \frac{U}{I}$$

- Leitertypen

- Metallische Leiter
- Isolatoren
- Halbleiter

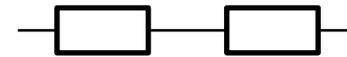
$$R \propto T L A^{-1}$$

$$R \rightarrow \infty$$

???

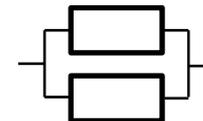
- Reihenschaltung

$$R = R_1 + R_2$$



- Parallelschaltung

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

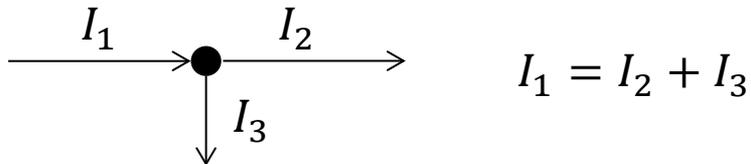


- Grundbegriffe der Elektrostatik / Elektrodynamik
- **Passive Bauelemente in elektrischen Schaltkreisen**
- Halbleiter und aktive Bauelemente

Kirchhoffsche Gesetze

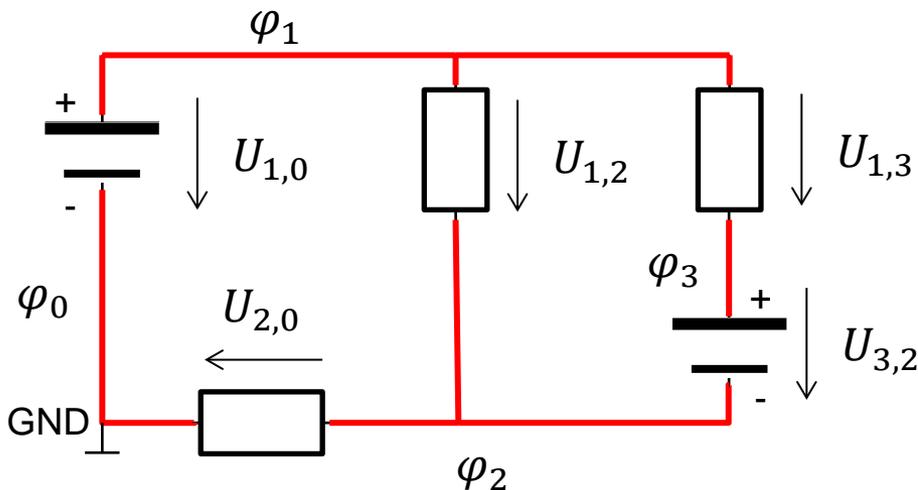
- Knotenregel (Ladungserhaltung)

$$\sum_k I_k = 0$$



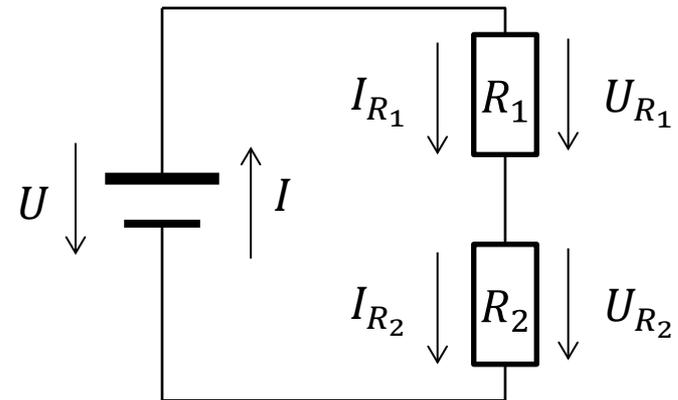
- Maschenregel (konservative Coulombkraft)

$$\sum_k U_k = 0$$



Masche 0-1-2: $U_{1,0} = U_{1,2} + U_{2,0}$
 Masche 0-1-3-2: $U_{1,0} = U_{1,3} + U_{3,2} + U_{2,0}$
 Masche 1-3-2: $U_{1,2} = U_{1,3} + U_{3,2}$

- Knotenregel $I = I_{R_1} = I_{R_2}$
 - Ohm'sches Gesetz $U_{R_x} = R_x \cdot I_{R_x}$
 - Reihenschaltung $U = (R_1 + R_2) \cdot I$
 - Maschenregel $U = U_{R_1} + U_{R_2}$
- ⇒ Teilungsverhältnis $U_{R_x} = U \frac{R_x}{R_1 + R_2}$

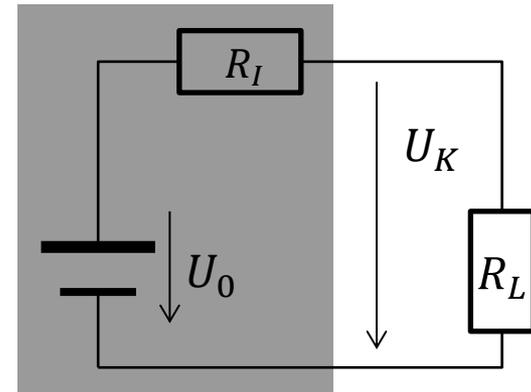


Spannungsteiler: Reale Spannungsquelle

- Leerlaufspannung U_0 ,
- Innenwiderstand R_I ,
- Last R_L ,
- Klemmenspannung $U_K = U_0 \frac{R_L}{R_I + R_L}$

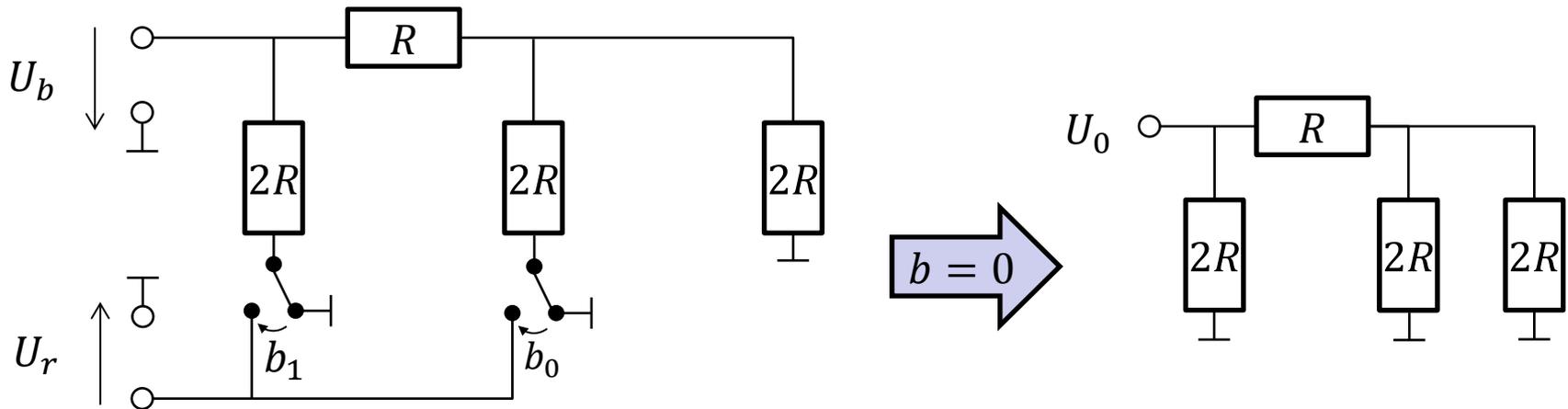
$$\Rightarrow U_K \approx U_0 \text{ für } R_L \gg R_I$$

$$\Rightarrow U_K = \frac{1}{2} U_0 \text{ für } R_L = R_I$$



Spannungsteiler: Digital/Analog-Wandler

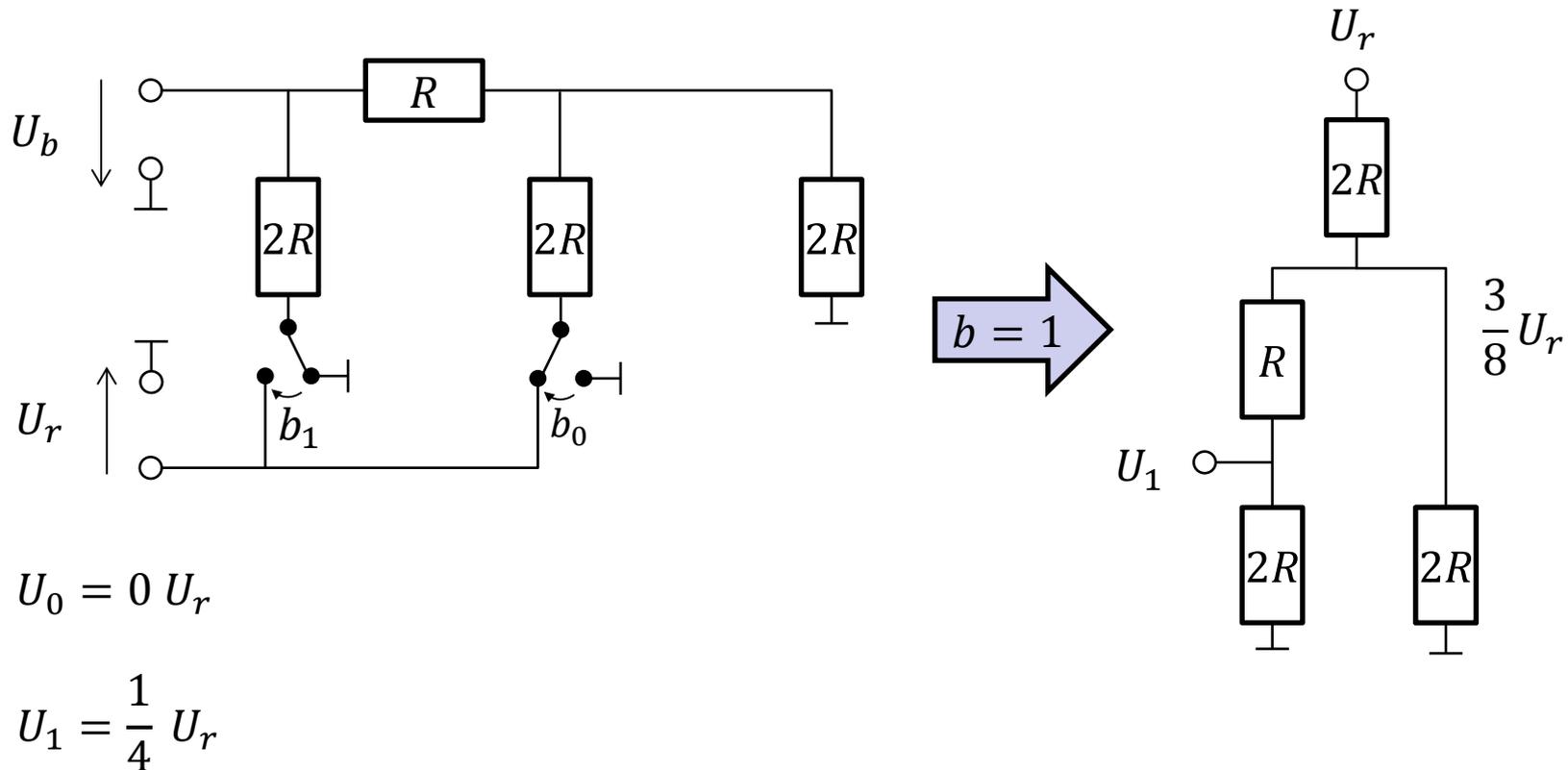
- R-2R-Widerstandsnetzwerk als einfachste Realisierung eines DAC



$$U_0 = 0 U_r$$

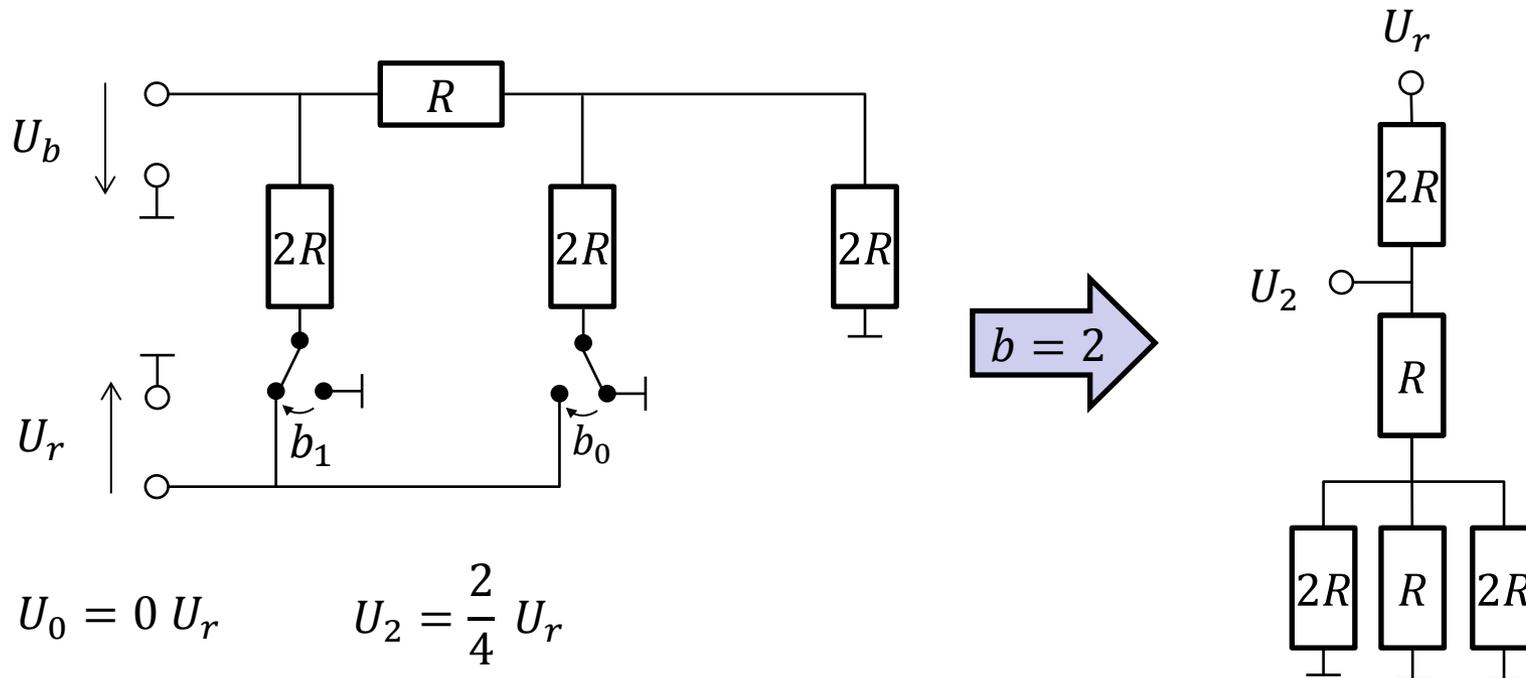
Spannungsteiler: Digital/Analog-Wandler

- R-2R-Widerstandsnetzwerk als einfachste Realisierung eines DAC



Spannungsteiler: Digital/Analog-Wandler

- R-2R-Widerstandsnetzwerk als einfachste Realisierung eines DAC

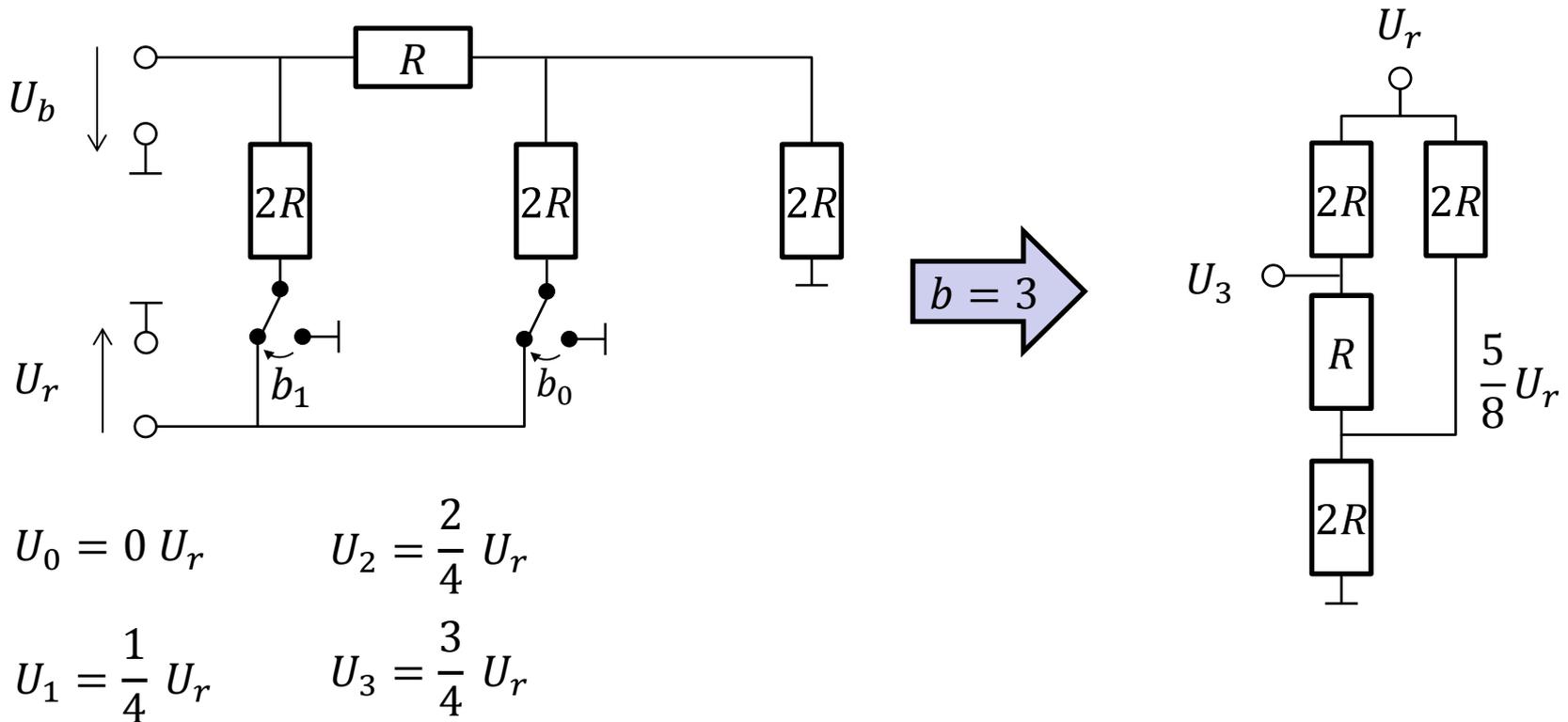


$$U_0 = 0 U_r \quad U_2 = \frac{2}{4} U_r$$

$$U_1 = \frac{1}{4} U_r$$

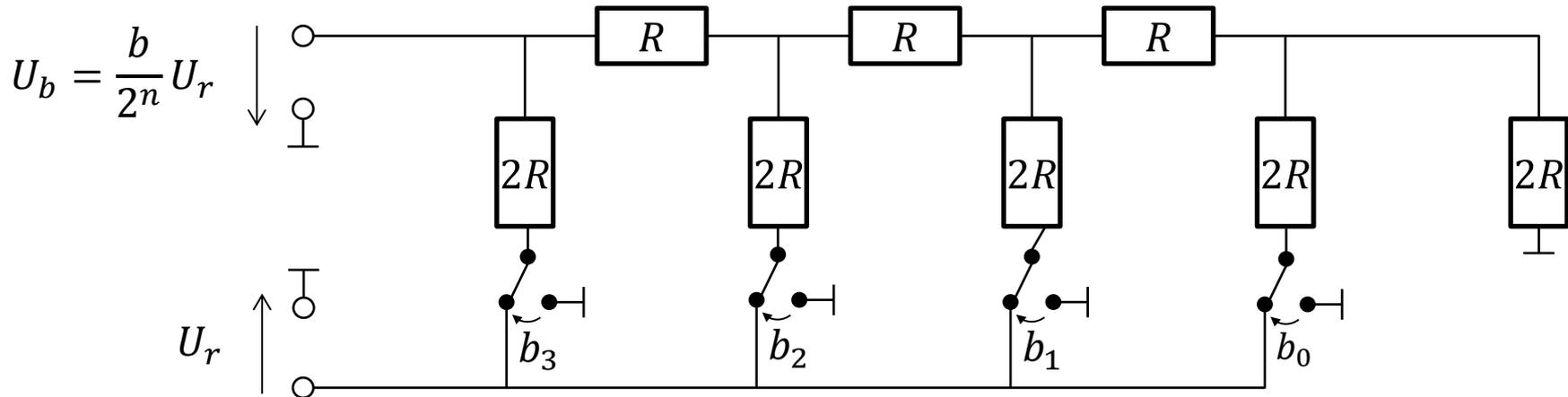
Spannungsteiler: Digital/Analog-Wandler

- R-2R-Widerstandsnetzwerk als einfachste Realisierung eines DAC



Spannungsteiler: Digital/Analog-Wandler

- R2R-Widerstandsnetzwerk als einfachste Realisierung eines DAC



- Vereinfachte Schaltungsanalyse:
 - Superposition
 - Thevenin Theorem

Aufladen eines Kondensators

- Maschenregel $U_0 = U_R(t) + U_C(t)$

- Kondensator $U_C(t) = \frac{1}{C} \cdot Q(t)$

- Ohm'sches Gesetz $U_R(t) = R \cdot I(t)$

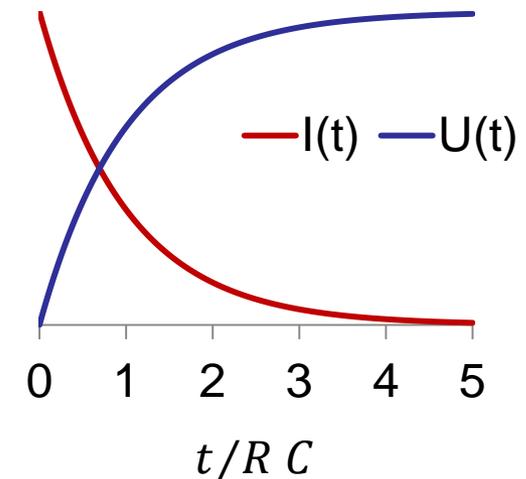
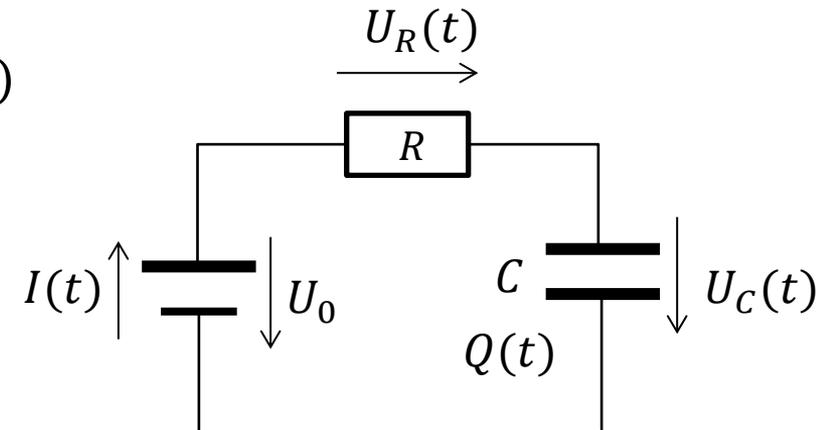
- Stromfluss $I(t) = \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t}$

- Einsetzen $\frac{U_0}{R} = \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t} + \frac{Q(t)}{R C}$

- Differentialgleichung $Q(t) = C \cdot U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{R C}})$

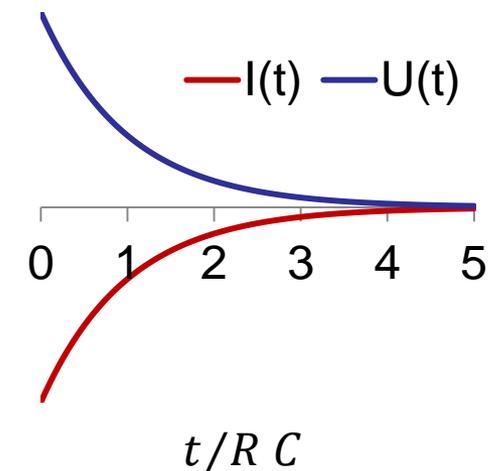
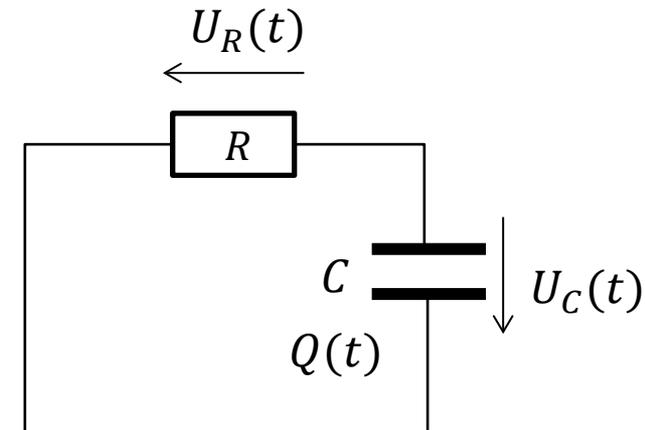
- Ladespannung $U_C(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{R C}})$

- Ladestrom $I(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R C}}$



Entladen eines Kondensators

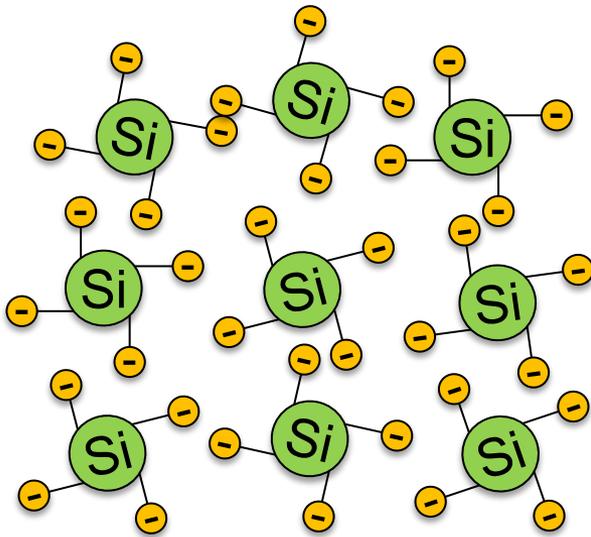
- Maschenregel $U_R(t) = U_C(t)$
- Kondensator $U_C(t) = \frac{1}{C} \cdot Q(t)$
- Ohm'sches Gesetz $U_R(t) = R \cdot I(t)$
- Stromfluss $I(t) = \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t}$
- Einsetzen $0 = \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t} + \frac{Q(t)}{R C}$
- Differentialgleichung $Q(t) = C \cdot U_C(0) \cdot e^{-\frac{t}{R C}}$
- Ladespannung $U_C(t) = U_C(0) \cdot e^{-\frac{t}{R C}}$
- Ladestrom $I(t) = -\frac{U_C(0)}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R C}}$



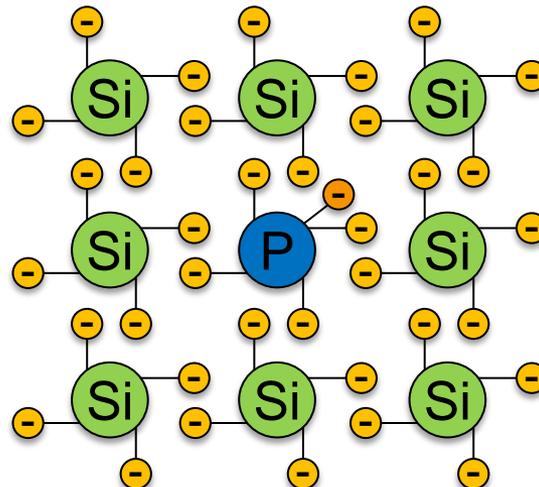
- Grundbegriffe der Elektrostatik / Elektrodynamik
- Passive Bauelemente in elektrischen Schaltkreisen
- **Halbleiter und aktive Bauelemente**

Halbleiter

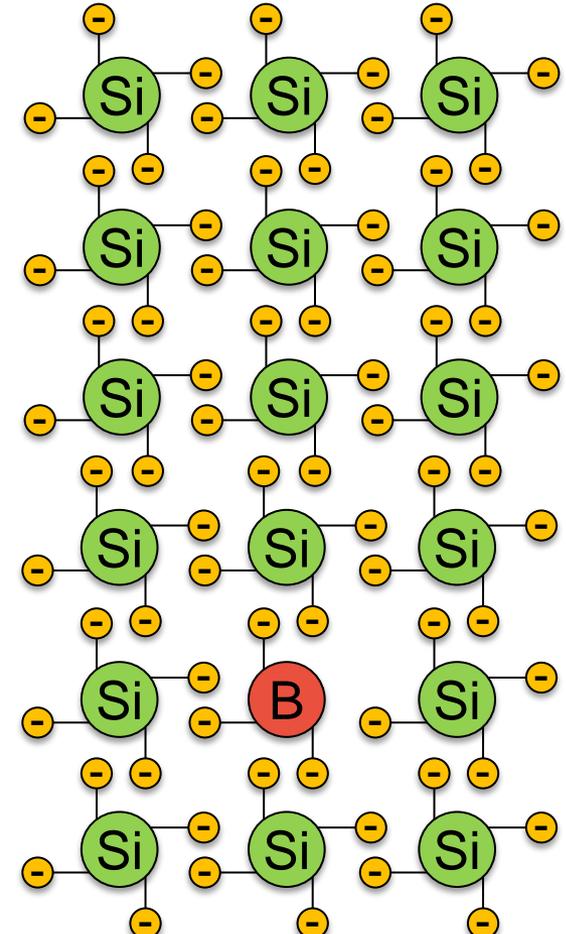
- Silizium, Germanium, ...
- Starke Elektronenpaarbindung („Edelgas“)
- ⇒ Keine freien Ladungsträger für Stromleitung
- Elektrische Leitfähigkeit steigt bei



Temperaturerhöhung



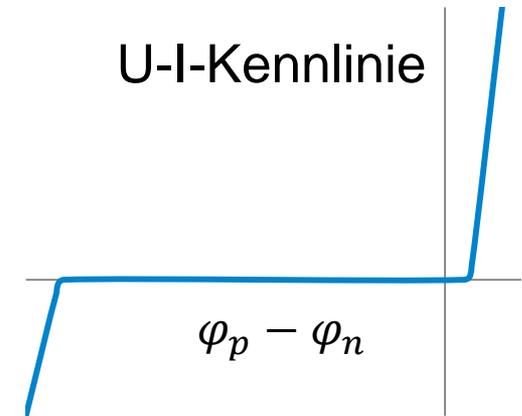
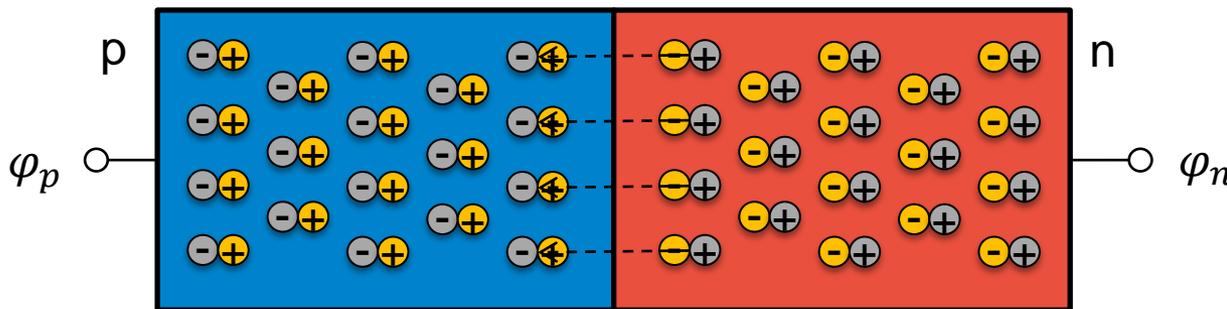
(n-)Dotierung mit Donatoren



(p-)Dotierung mit Akzeptoren

Halbleiterdiode

= Kombination aus p- und n-dotiertem Halbleiter



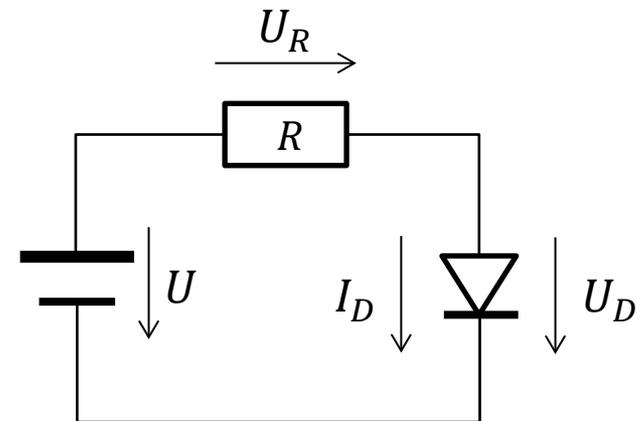
- Rekombination freier Ladungsträger in Grenzschicht
 - Verbliebene Ionen (Atomrümpfe) bilden Sperrschicht (E-Feld)
 - Muss durch externes E-Feld überwunden werden, bevor Strom fließt
- ⇒ Stromfluss in Vorzugsrichtung ab Durchlassspannung und Durchbruch in Sperrrichtung ab Durchbruchspannung

Halbleiterdiode: LED

- Bspw. MULTICOMP - 703-0090
 - Durchlassspannung $1,8\text{ V}$
 - Betriebsstrom 20 mA
 - Durchbruchspannung 4 V
- Notwendiger Vorwiderstand bei $U = 5\text{ V}$

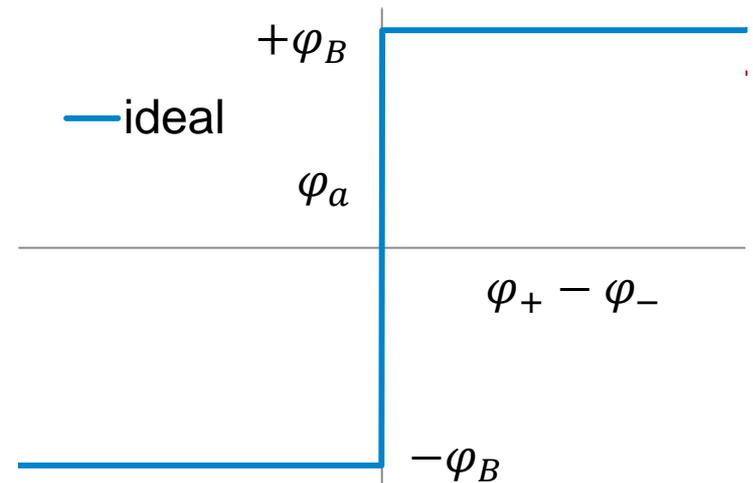
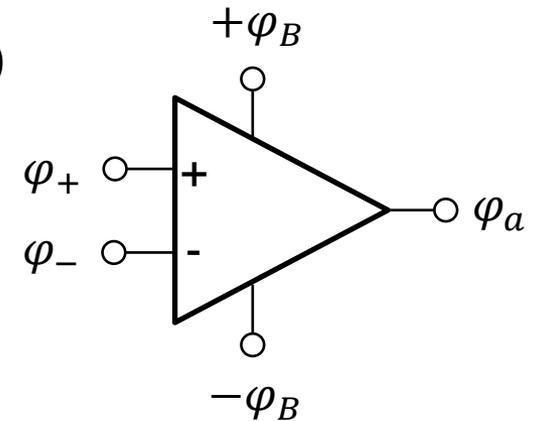


$$R = \frac{U_R}{I_D} = \frac{U - U_D}{I_D} = 160\ \Omega$$



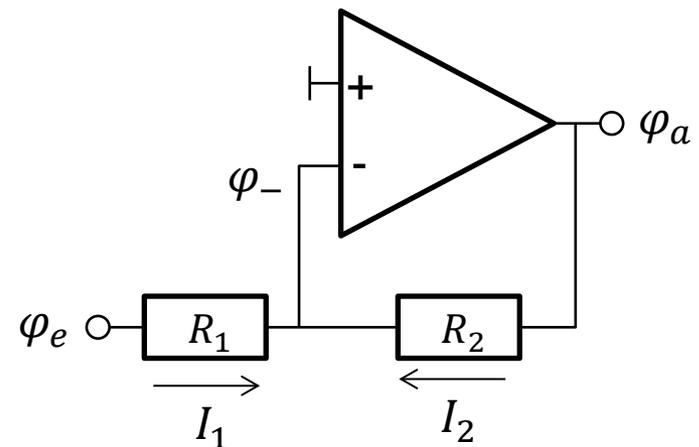
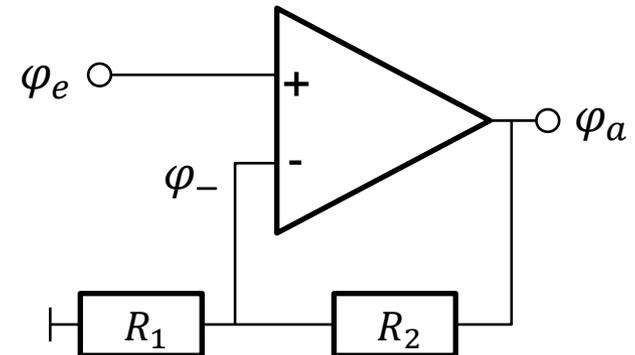
Operationsverstärker

- Verstärkt Potentialdifferenzen $\varphi_a = G \cdot (\varphi_+ - \varphi_-)$
- Ideales Verhalten
 - Unendlich hoher Eingangswiderstand
 - Kein Ausgangswiderstand
 - Unendlich großer Verstärkungsfaktor G
 - Ausgang durch (symmetrische) Versorgungsspannung begrenzt
- Als Komparator verwendbar
- Als Verstärker unbrauchbar



Gegenkopplung von Operationsverstärkern

- Nicht invertierender Verstärker
 - Spannungsteiler $\varphi_- = \varphi_a \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$
 - Rückkopplung von Ausgang auf Eingang
 - + Unendliche Verstärkung
 - $\Rightarrow \varphi_- = \varphi_e$
 - $\Rightarrow \varphi_a = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \varphi_e$
- Invertierender Verstärker
 - $\varphi_- = \varphi_{GND}$ (Virtuelle Masse)
 - Unendlich hoher Eingangswiderstand
 - $\Rightarrow I_1 = -I_2$
 - $\Rightarrow \frac{\varphi_e}{R_1} = -\frac{\varphi_a}{R_2}$ bzw. $\varphi_a = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \varphi_e$





- Grundbegriffe der Elektrostatik / Elektrodynamik
- Passive Bauelemente in elektrischen Schaltkreisen
- Halbleiter und aktive Bauelemente