

---

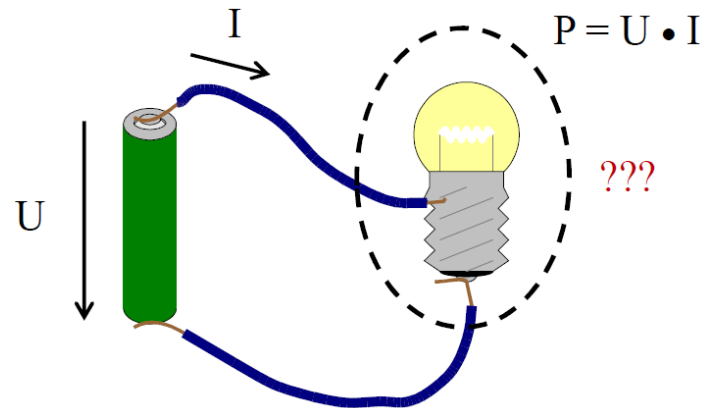
## Teil 2 - Elektrotechnik

# Basics

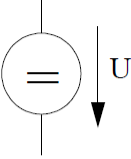
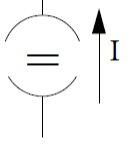
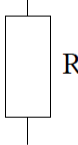
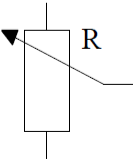
- Ohmsches Gesetz

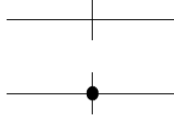
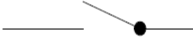

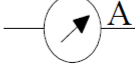
$$\text{Widerstand} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Stromstärke}} \quad R = \frac{U}{I} \quad [R] = \frac{V}{A} = \Omega(\text{Ohm})$$

- Leistung:  $P = U \cdot I$   
 $[P] = \text{Watt}$



# Schaltsymbole

Komponente	Schaltsymbol	Wert
Spannungsquelle		Spannung $U$
Stromquelle		Stromstärke $I$
Verbraucher		Ohm'scher Widerstand $R$
		Potentiometer

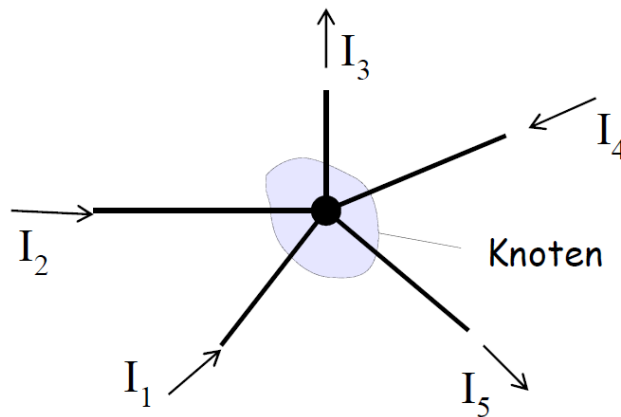
Komponente	Schaltsymbol
Leiter	
Schalter	
Voltmeter	
Amperemeter	

# Knotenregel

- Knotenregel:
  - "Die Summe aller Ströme an einem Knoten (zufließende Ströme sind positiv, abfließende Ströme sind negativ zu zählen) ist gleich null."

$$\sum_i \pm I_i = 0$$

- Beispiel:



$$\sum_i I_i = 0 \Rightarrow I_1 + I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

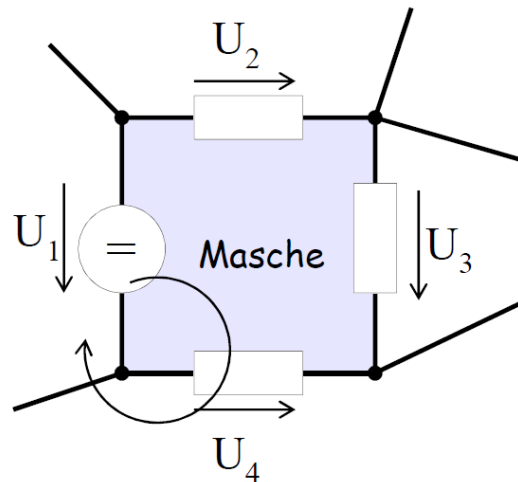
# Maschenregel

- Maschenregel:

- "Die Summe aller Spannungen eines Maschenumlaufs (gleichsinnige Spannungen sind positiv, ungleichsinnige Spannungen sind negativ zu zählen) ist gleich null."

$$\sum_i \pm U_i = 0$$

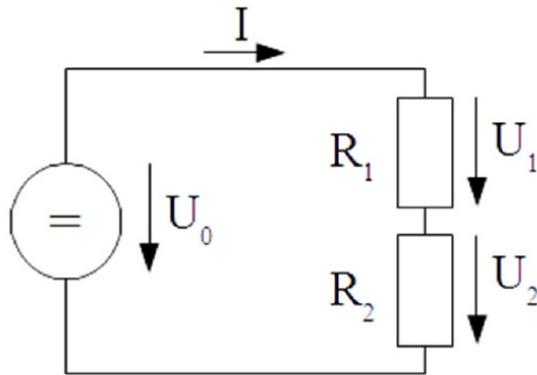
- Beispiel:



$$\sum_i U_i = 0 \Rightarrow -U_1 + U_2 + U_3 - U_4 = 0$$

# Reihenschaltung / Parallelschaltung

Reihenschaltung



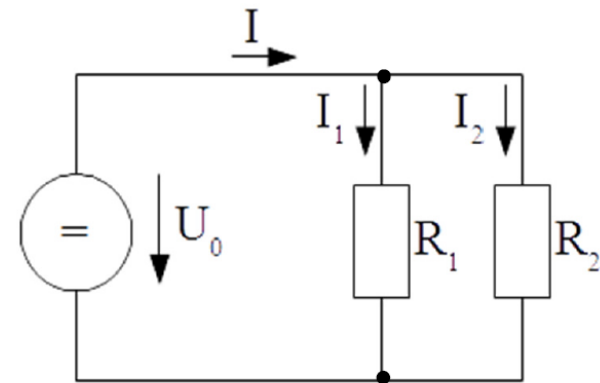
- Gesamtwiderstand:

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots$$

Spannungsteilerregel:

$$\frac{U_1}{U_0} = \frac{R_1}{R_{ges}}$$

Parallelschaltung



- Gesamtwiderstand:

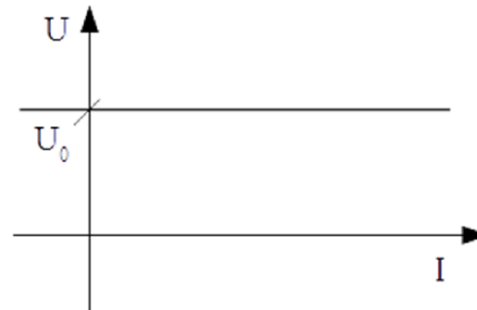
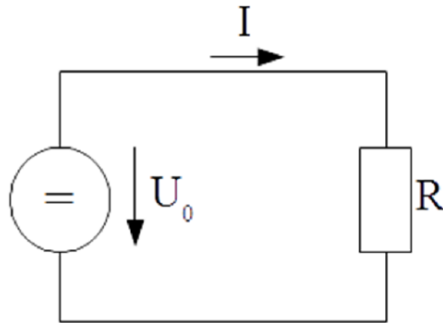
$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

Stromteilerregel:

$$\frac{I_1}{I} = \frac{R_{ges}}{R_1}$$

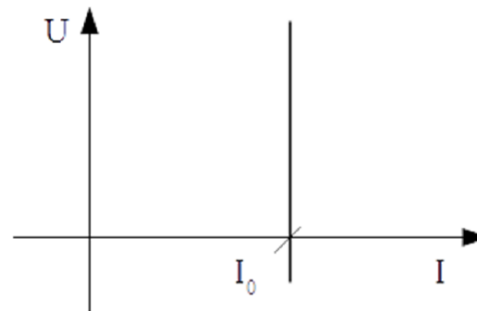
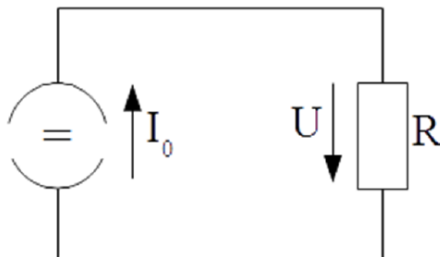
# Ideale Quellen

- Eine ideale Spannungsquelle erzeugt eine vom Strom unabhängige, konstante Spannung



Ideale Spannungsquellen dürfen nicht parallel geschaltet oder kurzgeschlossen werden.  
Reihenschaltungen mehrerer Quellen oder Leerlauf sind möglich.

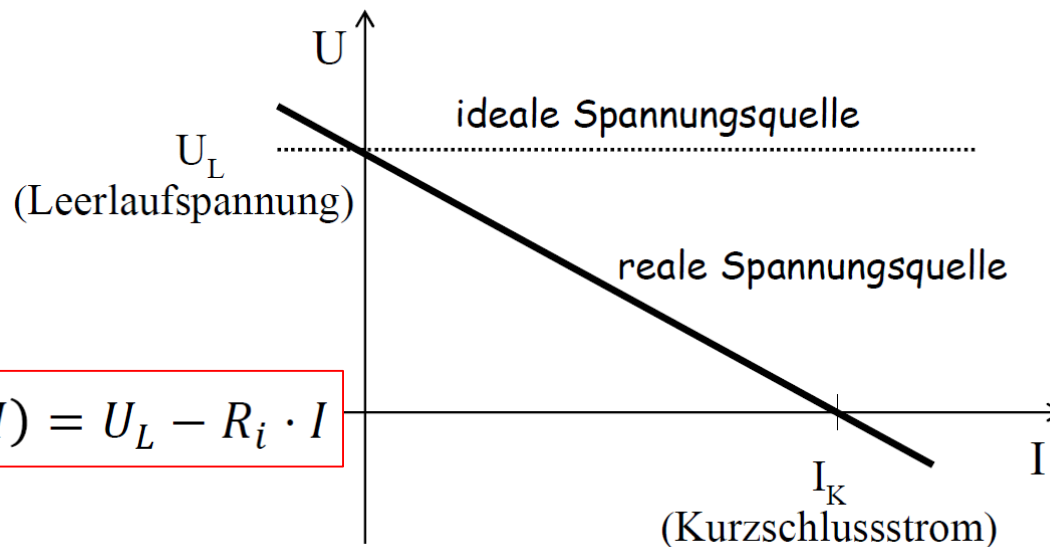
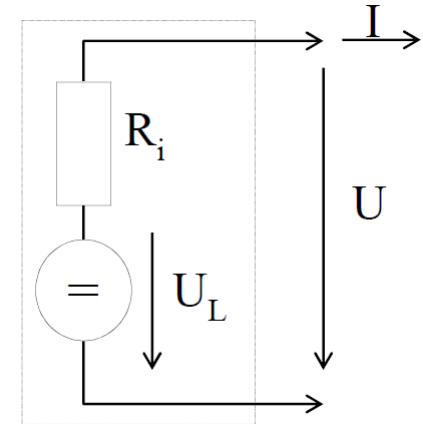
- Eine ideale Stromquelle erzeugt einen von der Spannung unabhängigen, konstanten Strom



Ideale Stromquellen dürfen nicht in Reihe geschaltet oder im Leerlauf betrieben werden.  
Parallelschaltungen mehrerer Quellen oder Kurzschluss sind möglich.

# Reale Spannungsquelle

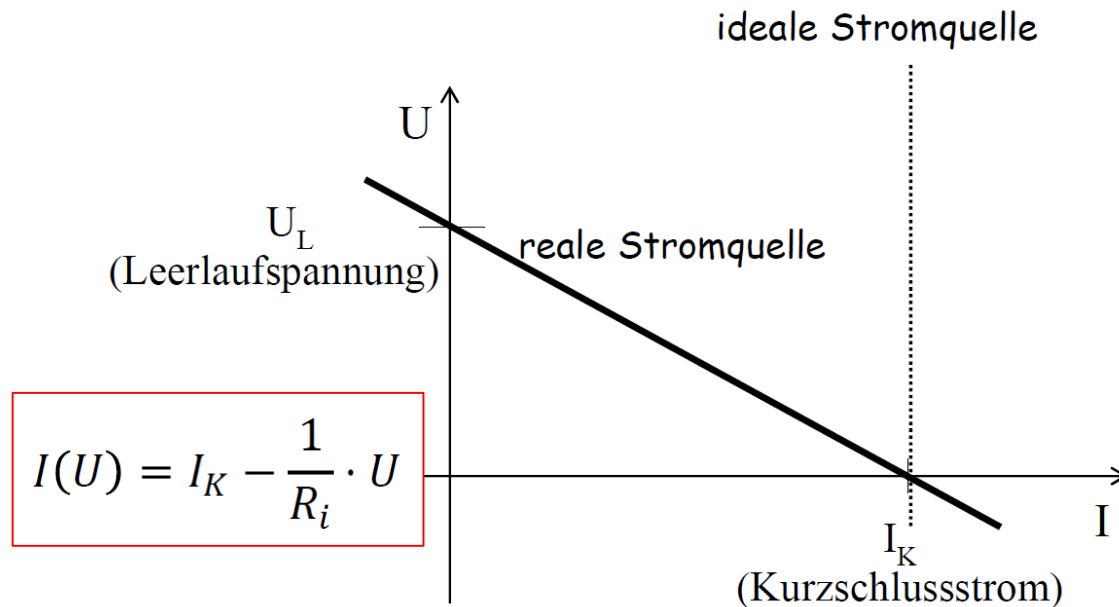
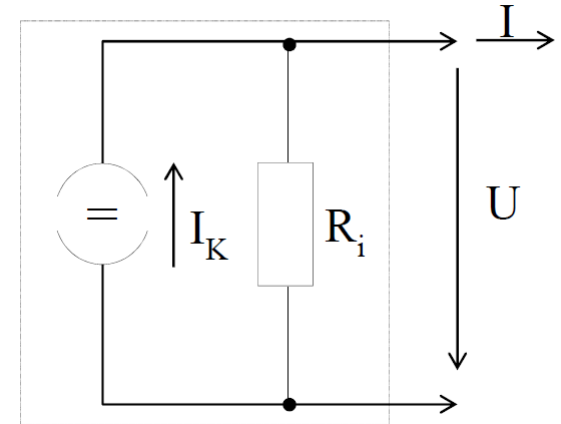
- Reale Spannungsquelle
  - Reihenschaltung aus Spannungsquelle und Widerstand
  - Leerlaufspannung  $U_L$
  - Innenwiderstand  $R_i$





# Reale Stromquelle

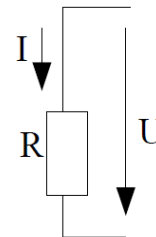
- Reale Stromquelle
  - Parallelschaltung aus Stromquelle und Widerstand
  - Kurzschlussstrom  $I_K$
  - Innenwiderstand  $R_i$



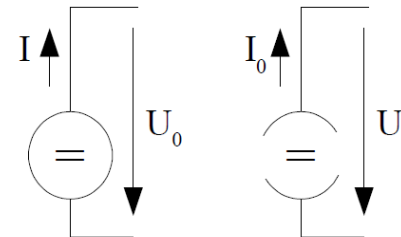
# Analyse von Schaltungen

- Ziel: Berechnung von Strömen und Spannungen in einem gegebenen Netzwerk
- Zunächst: Zählpfeile für Strom und Spannung festlegen
  - Richtungen beliebig wählbar
  - Aber: Am Verbraucher (Widerstand) müssen Strom und Spannung gleichsinnig sein
- Anwendung der Kirchhoffschen Regeln und des Ohm'schen Gesetzes liefert notwendiges Gleichungssystem
- Systematische Vorgehen durch:
  - Maschenstromverfahren
  - Knotenpotentialverfahren
  - Ersatzspannungsquelle / Ersatzstromquelle
  - Überlagerungssatz

Verbraucher-  
zählpfeilsystem



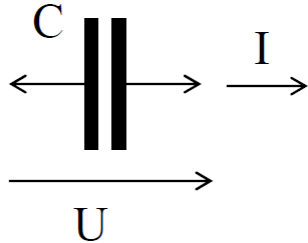
Erzeuger-  
zählpfeilsystem



# Ersatzquellen

- Anwendung:
    - Es werden Strom und Spannung in einem bestimmten Zweig gesucht
  - Methode:
    - Berechnung von Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom und Innenwiderstand des verbleibenden Netzwerkes
- ODER:
- Das gesamte Netzwerk außerhalb des relevanten Zweiges wird durch eine Ersatzquelle dargestellt
  - Schrittweise Umwandlung und Zusammenfassung einzelner Netzwerkeile zu realen Strom-/Spannungsquellen

# Kondensator



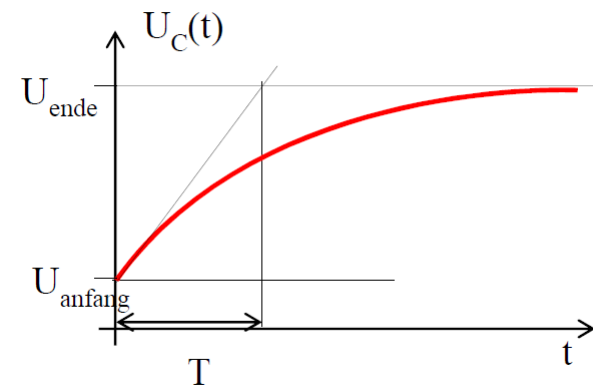
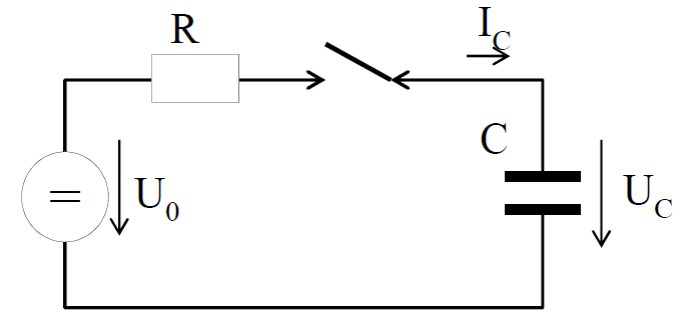
Mit der Kapazität  $C$

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} [C] = \frac{As}{V} = F(\text{Farad})$$

Kondensator im Netzwerk mit sprungförmiger Spannungsänderung (z.B. durch Schalter)

$$U_C(t) = (U_{\text{anfang}} - U_{\text{ende}}) \cdot e^{-\frac{t}{T}} + U_{\text{ende}}$$

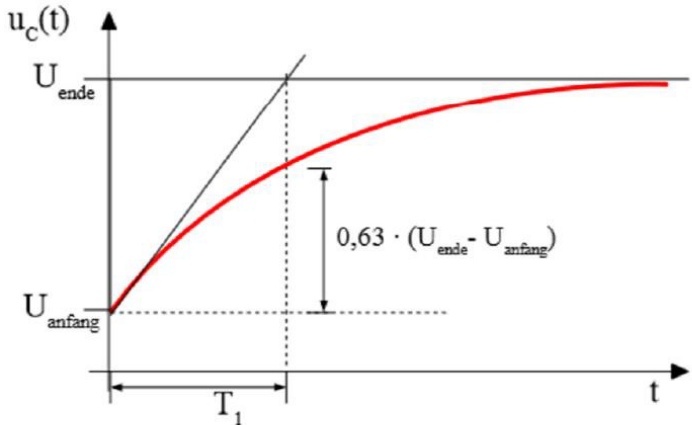
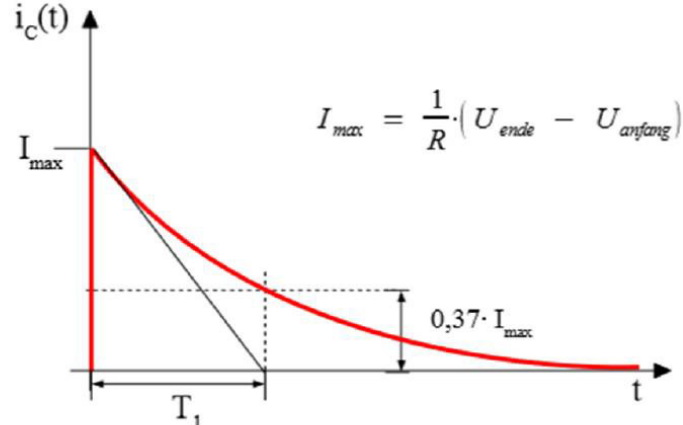
- Zeitkonstante  $T = R \cdot C$
- Anfangs- und Endwert  $U_{\text{anfang}} = U_C(t = 0)$   
 $U_{\text{ende}} = U_C(t \rightarrow \infty) = U_0$



# „Kochrezept“ Ausgleichsvorgang

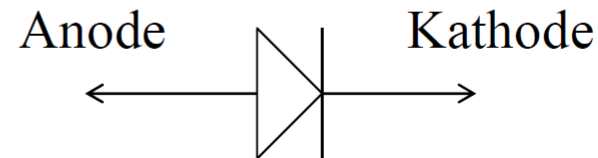
Schritt	Kondensator C
1. Ersatzquelle für $t \leq 0$ auswerten: Anfangswert $U_{\text{anfang}}$	$U_{\text{anfang}}$ aus Ersatzspannungsquelle entnehmen <u>oder</u> C entfernen, $U_{\text{anfang}}$ = Spannung an den Klemmen von C <u>oder</u> $U_{\text{anfang}}$ = aktuelle Spannung des vorherigen Ausgleichsvorganges
2. Ersatzquelle für $t > 0$ auswerten: Endwert $U_{\text{ende}}$	$U_{\text{ende}}$ aus Ersatzspannungsquelle entnehmen <u>oder</u> C entfernen, $U_{\text{ende}}$ = Spannung an den Klemmen von C
Innenwiderstand $R_{i,\text{ende}}$	<u>oder</u> Innenwiderstand $R_{i,\text{ende}}$ aus Ersatzspannungs- bzw. Ersatzstromquelle entnehmen Spannungsquellen entfernen, Stromquellen kurzschliessen. Dann: $R_{i,\text{ende}}$ = Gesamtwiderstand des verbleibenden Netzwerkes an den Klemmen von C
3. Ggf. Fehlende Anfangs- und Endwerte bestimmen	$I_{\text{anfang}} = \frac{U_{\text{ende}} - U_{\text{anfang}}}{R_{i,\text{ende}}}$ $I_{\text{ende}} = 0$
4. Zeitkonstante $T$ bestimmen	$T = R_{i,\text{ende}} \cdot C$

# U und I am Kondensator

	Spannung	Strom
	$u_X(t) = U_{\text{ende}} - (U_{\text{ende}} - U_{\text{anfang}}) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}$	$i_X(t) = I_{\text{ende}} - (I_{\text{ende}} - I_{\text{anfang}}) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}$
Kondensator C		 <p><math>I_{\text{max}} = \frac{1}{R} \cdot (U_{\text{ende}} - U_{\text{anfang}})</math></p>

# Diode

- Diode = pn-Übergang
- Anschlüsse
  - Anode (p-Schicht)
  - Kathode (n-Schicht)
- Schaltzeichen

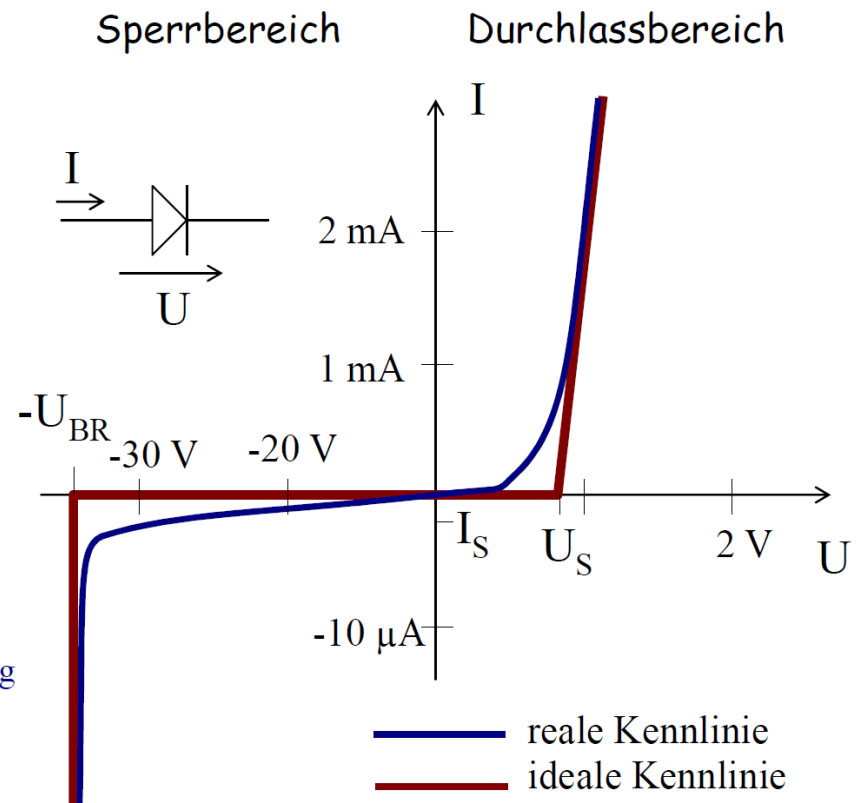


<https://www.leifiphysik.de/elektronik/halbleiterdiode/grundwissen/p-n-uebergang-halbleiterdiode>

# Diode - Kennlinie

- Kennlinie

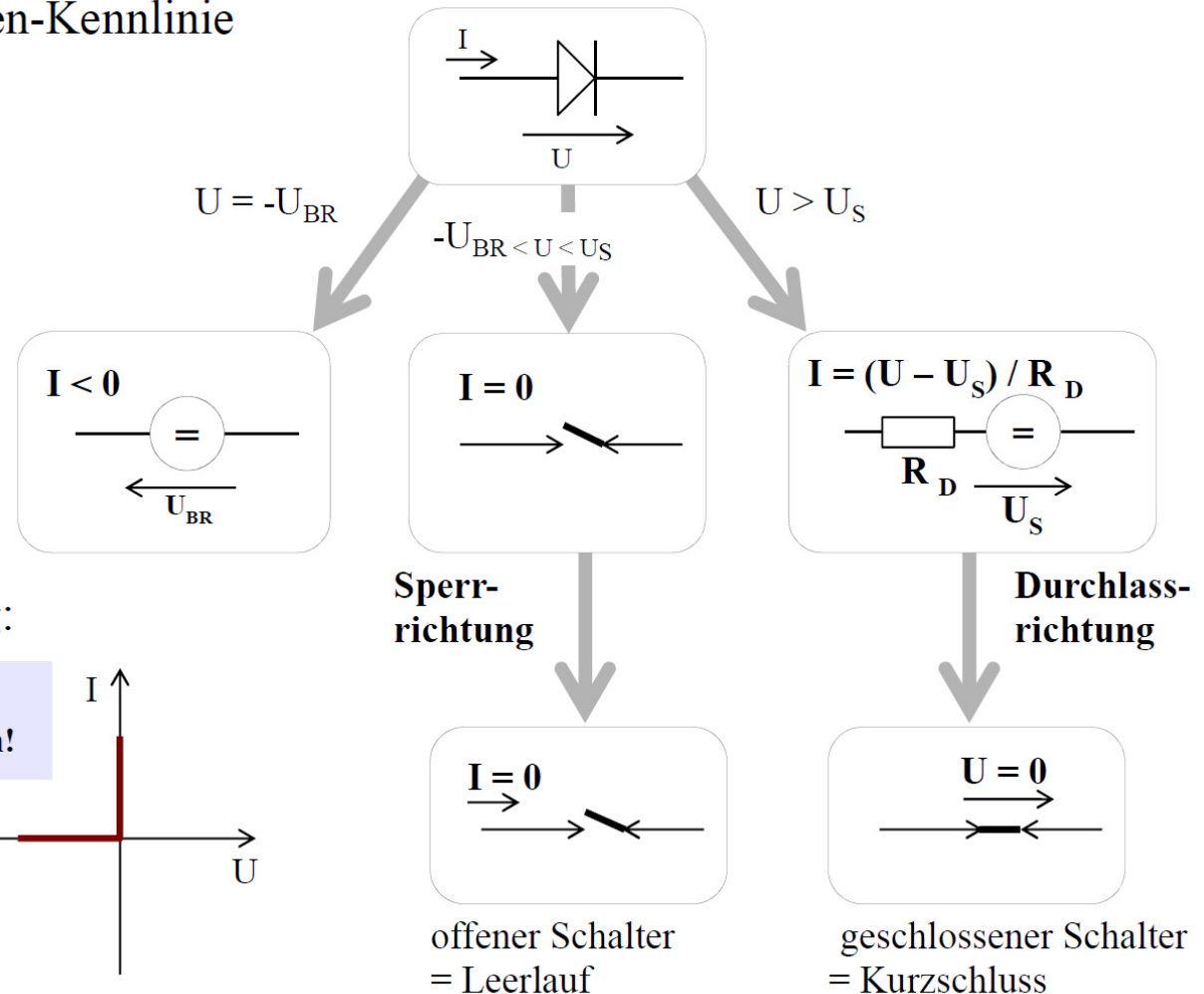
- Ohm'sches Gesetz gilt hier nicht mehr!
- Durchlassrichtung:
  - Oberhalb der Schwellenspannung  $U_S$  annähernd lineare Zunahme des Stroms, Diode ist niederohmig
- Sperrrichtung:
  - Diode ist hochohmig, es fließt nur ein sehr kleiner Sperrstrom  $I_S$
- Durchbruchspannung
  - Starke Zunahme der Stromstärke
  - Führt bei normalen Dioden zur Zerstörung
  - Wird bei der Zener-Diode genutzt,  $U_{BR}$  in weiten Bereichen einstellbar





# Diode - Kennlinie

- Idealisierung der Dioden-Kennlinie durch lineare Bauteile



- Weitere Vereinfachung:

Der Strom kann nur in eine Richtung durch die Diode fließen!

