

Elektrizitätslehre Einleitung

①

1. Wirkung des elektrischen Stromes

- Magnetfeld
- Wärmeerzeugung
- Chemische Vorgänge

2. Stromrichtung

Die Stromrichtung ist die Bewegungsrichtung der positiven Ladungsträger

3. Stromstärke und Stromdichte

$I = \frac{Q}{t}$	$Q =$ Ladungsmenge [As] oder [C] Coulomb
	$t =$ Zeit [s]
	$I =$ Strom [A]
$J = \frac{I}{A}$	$A =$ Leiterquerschnitt [mm ²]
	$J =$ Stromdichte [A/mm ²]

4. Wichtige Eigenschaft des Stromes

- In einem beliebig geformten, unverzweigten Leiter ist die Stromstärke in jedem Querschnitt die selbe.
- Ströme fließen nur in geschlossenen Stromkreisen
- Die Driftgeschwindigkeit der Elektronen (Bewegungsgeschwindigkeit) ist gering. Sehr schnell hingegen ist die Anstossgeschwindigkeit. (Geschwindigkeit der elektromagnetischen Welle:

$v = \frac{I}{A \cdot n \cdot e}$	$I =$ Strom [A]
$Q = I \cdot t$	$v =$ Driftgeschwindigkeit der Elektronen [$\frac{\text{mm}}{\text{s}}$]
$n = \frac{Q}{e}$	$A =$ Querschnitt des Leiters [mm ²]
	$n =$ Anzahl freie Elektronen pro Volumeneinheit (Werkstoffabhängig)
	$e =$ Elementarladung $1,6 \cdot 10^{-19}$ As
	$Q =$ Ladungsmenge [As] oder [C] Coulomb
	$t =$ Zeit [s]
	$n =$ Anzahl Ladungsträger die durch einen Kontrollquerschnitt gehen

5. Die elektrische Spannung

$U = \frac{W}{Q}$	$W =$ Energie [J] Joule
	$Q =$ Ladungsmenge [As] oder [C] Coulomb
	$U =$ Spannung [V]

Kein Strom ohne Spannung!

6. Elektrische Energie und Leistung

②

- Alle Naturgeschehen sind Umwandlungen einer Energieform in eine andere, wobei die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems konstant bleibt.

$$W = U \cdot Q = U \cdot I \cdot t$$

$$P = U \cdot I$$

W = Energie [J] Joule

U = Spannung [V]

Q = Ladungsmenge [As] oder [C]

I = Strom [A]

t = Zeit [s]

P = Leistung [W] Watt

7. Wirkungsgrad

- Der Wirkungsgrad beurteilt die energetische Effizienz.

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{auf}}$$

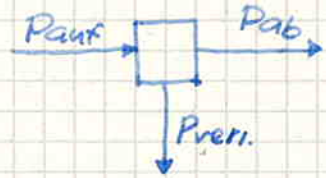
$$\eta = 1 - \frac{P_{verl.}}{P_{auf}}$$

η = Wirkungsgrad

P_{ab} = Abgegebene Leistung

P_{auf} = Aufgenommene Leistung

$P_{verl.}$ = Verlustleistung



$$\eta_{tot} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots$$

8. Nutzungsgrad

- Der Nutzungsgrad entsteht aus dem Quotienten von Energien und schliesst damit auch instationäre Verhältnisse mit ein. (Anfahrvorgänge, Leerlauf etc.)

1. Definition des Widerstandes

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

$U = \text{Spannung [V]}$
 $I = \text{Strom [A]}$

$$G = \frac{I}{U}$$

$R = \text{Widerstand [\Omega] Ohm}$
 $G = \text{Leitwert [S] Siemens}$

$$R = \frac{1}{G}$$

$G \text{ ist der Kehrwert von } R \text{ (Reziprokwert)}$

2. Berechnung von Leiterwiderständen

- Der Widerstand ist proportional der Leiterlänge L und umgekehrt proportional seinem Querschnitt A .

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

$R = \text{Widerstand [\Omega]}$
 $L = \text{Leiterlänge [m]}$
 $A = \text{Leiterquerschnitt [mm}^2\text{]}$

$$R = \frac{L}{\gamma \cdot A}$$

$\rho = \text{spezifischer Widerstand (aus Tabellen, Materialabhängig)}$
 $\gamma = \text{elektrische Leitfähigkeit (aus Tabellen, Materialabhängig)}$

3. Temperaturabhängigkeit von Widerständen

$$\Delta R = R_K \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$$

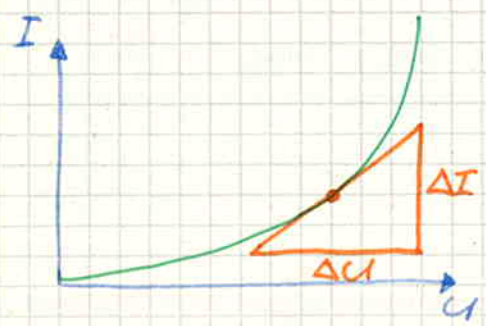
$$R_W = R_K (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

$$R_W = R_A \cdot \left(\frac{T + \vartheta}{T + \vartheta_A} \right)$$

$$T = \frac{1}{\alpha} \cdot 20^\circ\text{C}$$

$\Delta R = \text{Widerstandsänderung [\Omega]}$
 $R_K = \text{Kaltwiderstand [\Omega]}$
 $\alpha = \text{Temperaturkoeffizient (aus Tabelle, Werkstoffab.)}$
 $\Delta \vartheta = \text{Temperaturänderung}$
 $R_W = \text{Warmwiderstand}$
 $R_A = \text{Kaltwiderstand bei beliebiger Temperatur } \vartheta_A$
 $\vartheta = \text{Temperatur für Warmwiderstand}$
 $\vartheta_A = \text{Temperatur bei } R_A$
 $T = \text{Temperaturkennwert}$

4. Differenzieller Leitwert und Widerstand



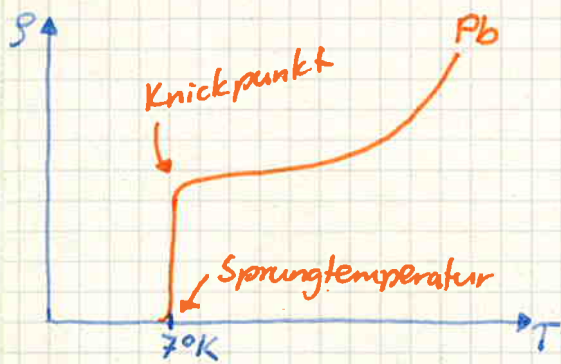
$$g = \frac{\Delta I}{\Delta U}$$

$g = \text{Differenzieller Leitwert}$
 $r = \text{Differenzieller Widerstand}$

$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

$\Delta I = \text{Stromänderung}$
 $\Delta U = \text{Spannungsänderung}$

5. Supraleiter

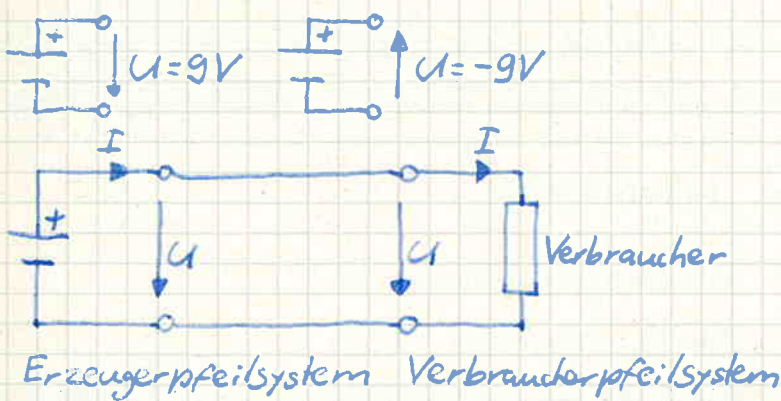


Beim unterschreiten einer gewissen Sprungtemperatur sinkt plötzlich der spezifische Widerstand eines Leiters auf unmessbar kleine Werte. In diesem Zustand können einmal "angestossene" Ströme sehr lange bestehen ohne das eine Spannung wirkt.

6. Leistungsumsatz an ohmschen Widerständen

$P = U \cdot I$	$P = \text{Leistung [W]}$
$P = R \cdot I^2$	$U = \text{Spannung [V]}$
$P = \frac{U^2}{R}$	$I = \text{Strom [A]}$
	$R = \text{Widerstand [\Omega]}$

7. Bezugssinn von U, I, Zählpfeilsystem



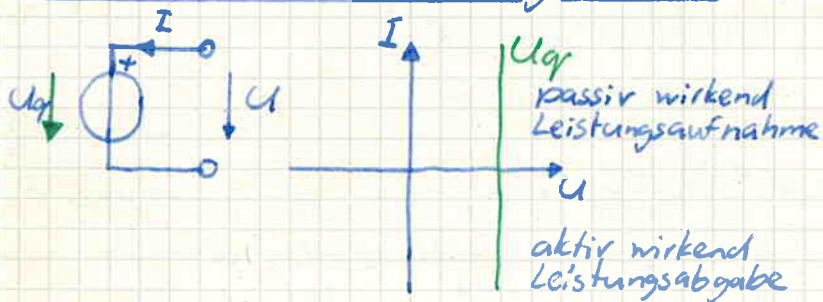
Reiner Verbraucher:
 U und I Phasengleich
 → passiver Zweipol

Reiner Erzeuger:
 U und I nicht Phasengleich
 → aktiver Zweipol

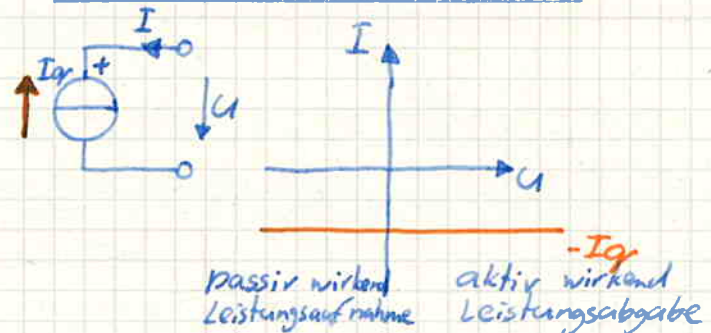
8. Quellen

8.1. Ideale Quellen

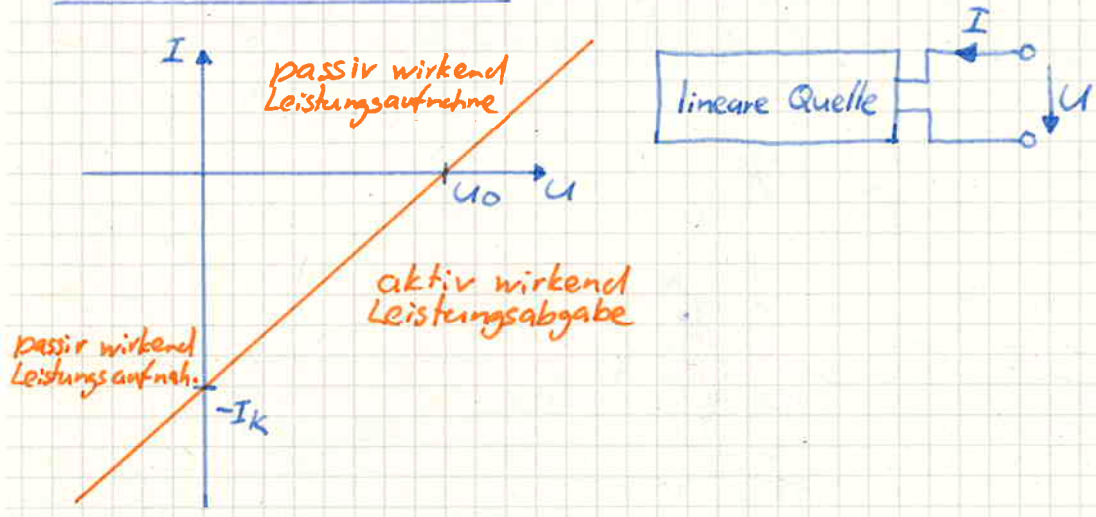
8.1.1 Ideale Spannungsquelle



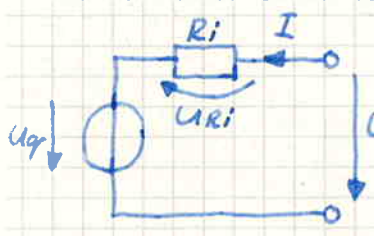
8.1.2. Ideale Stromquelle



8.2. Lineare Quellen



8.2.1 Ersatzschaltung Lineare Spannungsquelle



bei $I=0$; $U=Uq=U0$
 bei $U=0$; $I_k = \frac{Uq}{R_i}$

$$R_i = \frac{U_0}{I_k}$$

Zweipolgleichung:

$$U = R_i \cdot I + U_q$$

- U = Spannung [V]
- R_i = Innenwiderstand [Ω]
- I = Strom [A]
- U_q = Quellenspannung [V]
- U_0 = Leerlaufspannung [V]

8.2.2 Ersatzschaltung Lineare Stromquelle



bei $U=0$; $I = -I_q = -I_k$
 bei $I=0$; $U_0 = \frac{I_k}{G_i} = \frac{I_q}{G_i}$

$$G_i = \frac{I_k}{U_0}$$

Zweipolgleichung:

$$I = G_i \cdot U - I_q$$

- I = Strom [A]
- G_i = Innenleitwert [S]
- U = Spannung [V]
- I_q = Quellenstrom [A]
- I_k = Kurzschlussstrom [A]
- U_0 = Klemmenspannung

8.3. Innere Verluste Linearer Quellen

$$P_i = I^2 \cdot R_i$$

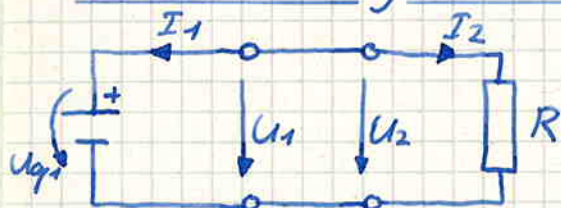
$$P_i = G_i \cdot U^2$$

(bei linearer Spannungsquelle)
 (bei linearer Stromquelle)

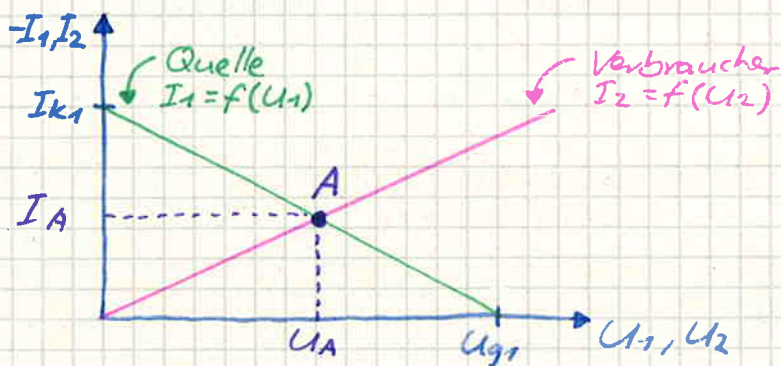
- P_i = Interner Leistungsverlust [W]
- I = Strom [A]
- R_i = Innenwiderstand [Ω]
- G_i = Innenleitwert [S]
- U = Spannung [V]

9. Verbindung von Zweipolen

9.1. Verbindung 1 aktiven und 1 passiven ZP

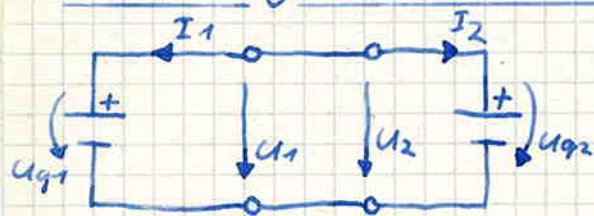


I_A = Arbeitspunkt Strom
 U_A = Arbeitspunkt Spannung
 A = Arbeitspunkt

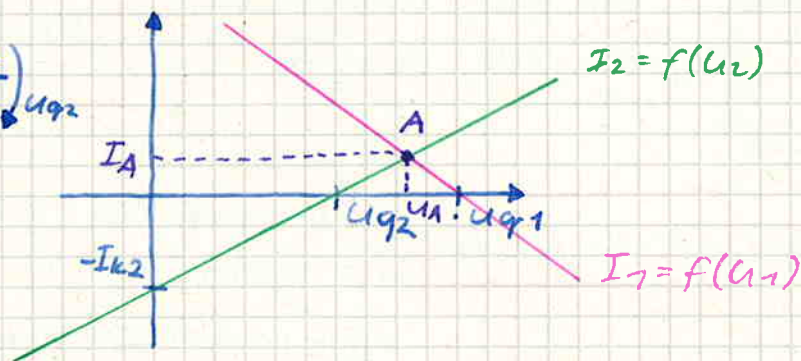


9.2. Verbindung aktiver Zweipole

9.2.1. Gegenreihenschaltung



$$I_A = \frac{U_{q1} - U_{q2}}{R_{i1} + R_{i2}}$$

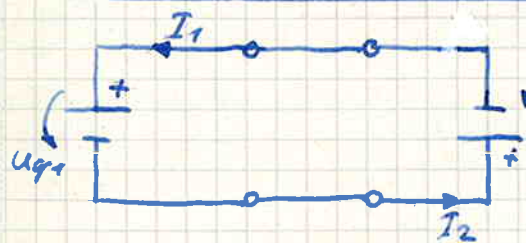


I_A = Strom im Arbeitspunkt

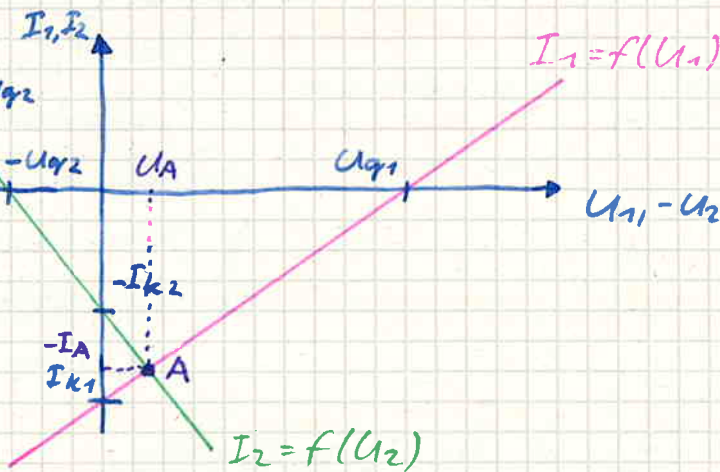
U_{q1}, U_{q2} = Quellenspannung der beiden Quellen

R_{i1}, R_{i2} = Quelleninnenwiderstände

9.2.2. Summenreihenschaltung



$$I_A = -\frac{U_{q1} + U_{q2}}{R_{i1} + R_{i2}}$$



I_A = Strom im Arbeitspunkt

U_{q1}, U_{q2} = Quellenspannung der beiden Quellen

R_{i1}, R_{i2} = Quelleninnenwiderstände