

Elektrotechnik – 3. Gleichstrom II

Luft- und Raumfahrttechnik Bachelor, 1. Semester

David Straub

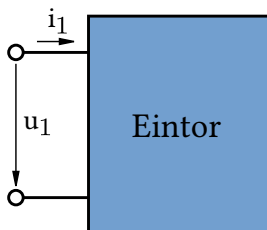
3. Gleichstrom

1. Stromstärke und Stromdichte
2. Stromleitung in Metallen
3. Ohm'sches Gesetz und Widerstand
4. Temperaturabhängigkeit des Widerstands
5. Die Kirchhoff'schen Gesetze
6. Reihen- und Parallelschaltung, Teilerregeln
7. Zweipoltheorie
8. Arbeit und Leistung
9. Reale Messungen im Gleichstromkreis

Zweipoltheorie

Ein Zweipol (*two-pole*) oder Eintor (*one-port*) ist ein elektrisches Bauteil mit zwei zugänglichen Anschlüssen.

Das große Versprechen dieses Abschnitts: Jedes noch so komplizierte lineare Netzwerk verhält sich an zwei Klemmen wie eine Quelle mit **zwei Kenngrößen** (U_0 und R_i).



Passive lineare Zweipole

- Passiv: Zweipol gibt keine Energie ab
- Linear: Strom-Spannungs-Kennlinie ist eine Gerade

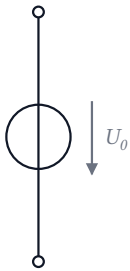
Passive lineare Zweipole können zu einem Ersatzwiderstand zusammengefasst werden:

$$U = R \cdot I$$

Ideale Spannungsquelle

Eine ideale Spannungsquelle liefert eine konstante Spannung U_0 , unabhängig von der Belastung.

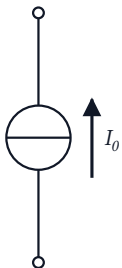
- Konstante Klemmenspannung $U = U_0$
- Innenwiderstand $R_i = 0$
- Beliebiger Strom I möglich



Ideale Stromquelle

Eine ideale Stromquelle liefert einen konstanten Strom I_0 , unabhängig von der Belastung.

- Konstanter Strom $I = I_0$
- Innenwiderstand $R_i = \infty$
- Beliebige Spannung U möglich

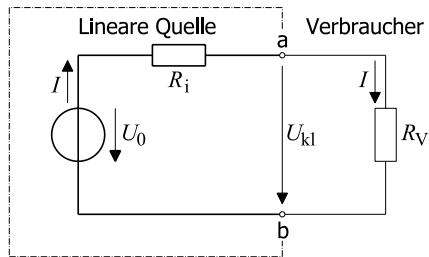


Reale Spannungsquelle

Eine reale Spannungsquelle = ideale Spannungsquelle U_0 **in Reihe** mit einem Innenwiderstand R_i :

$$U = U_0 - R_i \cdot I$$

- Leerlauf ($I = 0$): $U = U_0$ (maximale Spannung)
- Kurzschluss ($U = 0$): $I_k = \frac{U_0}{R_i}$ (maximaler Strom)

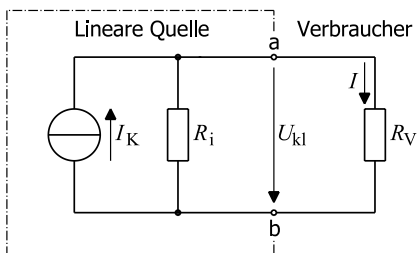


Reale Stromquelle

Eine reale Stromquelle = ideale Stromquelle I_0 **parallel** zu einem Innenwiderstand R_i :

$$I = I_0 - \frac{U}{R_i}$$

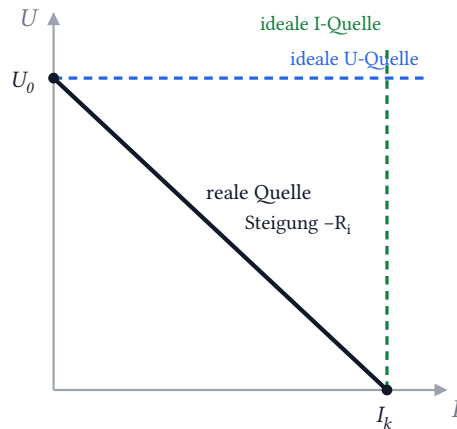
- Leerlauf: $U = I_0 \cdot R_i$
- Kurzschluss: $I = I_0$



Die U-I-Kennlinie

Die Kennlinien im Vergleich – die reale Quelle ist eine fallende Gerade zwischen zwei Punkten, die man messen (oder berechnen) kann:

- U_0 : Schnittpunkt mit der U-Achse (Leerlauf)
- I_k : Schnittpunkt mit der I-Achse (Kurzschluss)
- Steigung: $-R_i = -U_0/I_k$



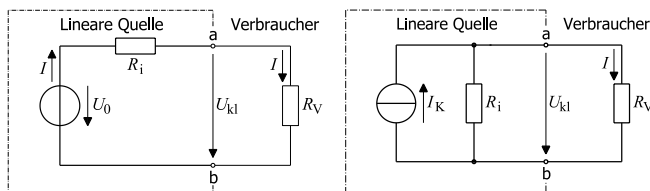
Äquivalenz von realer Spannungs- und Stromquelle

Reale Spannungsquelle und reale Stromquelle sind **äquivalent** (gleiche Kennlinie!), wenn:

$$U_0 = I_0 \cdot R_i \quad \Leftrightarrow \quad I_0 = \frac{U_0}{R_i}$$

Umrechnung (gleiche R_i !): - Spannungsquelle $\rightarrow$ Stromquelle: $I_0 = \frac{U_0}{R_i}$ - Stromquelle $\rightarrow$ Spannungsquelle: $U_0 = I_0 \cdot R_i$

Von außen sind beide nicht unterscheidbar – wählen Sie die Darstellung, die die Rechnung einfacher macht!

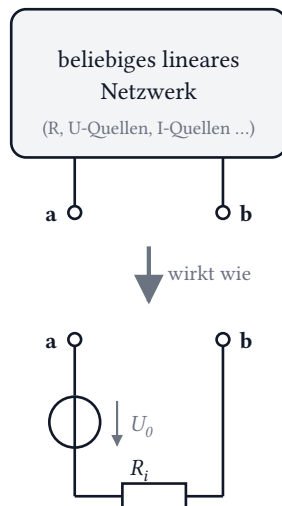


Ersatzquelle eines beliebigen Netzwerks bestimmen 🔑

Jedes lineare Netzwerk mit Quellen lässt sich an zwei Klemmen a–b als **Ersatzspannungsquelle** (U_0 , R_i) oder **Ersatzstromquelle** (I_0 , R_i) darstellen. Rezept:

1. **Leerlaufspannung** U_0 : Spannung an den offenen Klemmen berechnen
2. **Innenwiderstand** R_i : alle Quellen „deaktivieren“ – Spannungsquellen $\rightarrow$ **Kurzschluss**, Stromquellen $\rightarrow$ **Unterbrechung** – dann Widerstand von den Klemmen aus berechnen
3. Kontrolle oder Alternative zu 2.: **Kurzschlussstrom** I_k berechnen, dann $R_i = U_0 / I_k$

Das ist die zentrale Technik für Netzwerkaufgaben.



Beispiel: Ersatzquelle des belasteten Spannungsteilers

Unser Spannungsteiler aus letzter Woche ($U = 12\text{ V}$, $R_1 = R_2 = 1\text{ k}\Omega$) als Ersatzquelle an den Abgriffklemmen:

→ Tafel:

1. $U_0 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 6\text{ V}$
2. Quelle deaktivieren (kurzschließen): $R_i = R_1 \parallel R_2 = 500\ \Omega$
3. Last $R_L = 1\text{ k}\Omega$ anschließen: $U_a = U_0 \cdot \frac{R_L}{R_i + R_L} = 6 \cdot \frac{1000}{1500} = 4\text{ V} \checkmark$

Gleiche Antwort wie letzte Woche – aber jetzt in 2 Zeilen statt Netzwerk-Umformung!

Reihenschaltung von aktiven, linearen Zweipolen

Bei der Reihenschaltung von realen Spannungsquellen addieren sich Leerlaufspannungen und Innenwiderstände:

$$U_{0, \text{ges}} = \sum_j U_{0,j}, \quad R_{i, \text{ges}} = \sum_j R_{i,j}$$

Anwendung: Batteriepacks (Taschenlampe, E-Auto) **Vorteil:** höhere Gesamtspannung • **Nachteil:** höherer Innenwiderstand

Parallelschaltung von aktiven, linearen Zweipolen

Bei der Parallelschaltung von realen Spannungsquellen mit gleicher Leerlaufspannung U_0 addieren sich die Leitwerte der Innenwiderstände:

$$\frac{1}{R_{i, \text{ges}}} = \sum_j \frac{1}{R_{i,j}}$$

Anwendung: höhere Ströme, Redundanz **Nachteil:** nur bei gleichen Spannungen sinnvoll (sonst Ausgleichsströme!)



Aufgabe 8: Ersatzquelle

Eine Spannungsquelle U_e speist einen Spannungsteiler aus R_1 und R_2 ; an den Klemmen über R_2 wird U_a abgenommen. **Schaltung zeichnen!**

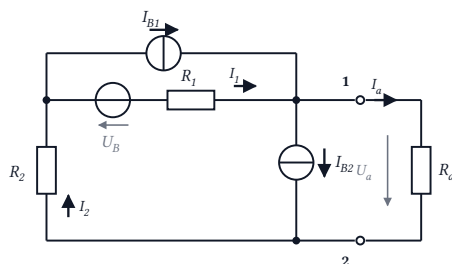
- Bestimmen Sie **allgemein** die Leerlaufspannung U_0 , den Innenwiderstand R_i und den Kurzschlussstrom I_k der Ersatzquelle.
- Gegeben: $U_e = 150 \text{ V}$, im Leerlauf $U_a = 50 \text{ V}$, bei $I = 0,5 \text{ A}$ ist $U_a = 45 \text{ V}$. Wie groß müssen R_1 und R_2 sein?
- Wie groß muss ein Lastwiderstand R_a sein, damit er die größtmögliche Leistung aufnimmt, und wie groß ist diese? (*Vorgriff auf nächste Woche – Vermutung reicht!*)



Klausuraufgabe: Gleichstromnetzwerk

Die Schaltung liefert an den Klemmen 1–2 die Spannung U_a :

- Wie viele *unabhängige* Knotenpunktgleichungen gibt es? Stellen Sie sie auf.
- Leerlauf** ($R_a \rightarrow \infty$): Geben Sie I_1 und I_2 in Abhängigkeit der Stromquellen an.
- Bestimmen Sie das **Spannungsquellen-Ersatzschaltbild** links der Klemmen 1–2 (U_0 , R_i allgemein).
- Die Schaltung soll $U_0 = 10 \text{ V}$ und $P_{\text{max}} = 5 \text{ W}$ liefern. Wie groß muss R_i sein?



Zwischenstand & Ausblick (Woche 4)

- Reale Quelle = zwei Kenngrößen: U_0 und R_i (oder äquivalent $I_0 = U_0/R_i$)
- Kennlinie = fallende Gerade zwischen Leerlauf (U_0) und Kurzschluss (I_k)
- **Rezept Ersatzquelle:** U_0 im Leerlauf; R_i mit deaktivierten Quellen; Kontrolle über I_k
- Quellen deaktivieren: U-Quelle $\rightarrow$ Kurzschluss, I-Quelle $\rightarrow$ Unterbrechung

Nächste Woche: Wie viel Leistung bekommt man aus einer Quelle heraus – und wie misst man in realen Schaltungen?