



# Elektrotechnik

## Aufgabensammlung

2., aktualisierte Auflage

Manfred Albach  
Janina Fischer



Pearson



Im Leerlauffall  $\alpha \rightarrow \infty$  ergibt sich das Netzwerk b, in dem der Brückenzweig wegen der gleichen Potentiale links und rechts stromlos bleibt und damit auch entfernt werden kann. Resultierend verbleiben die beiden senkrechten Zweige links und rechts mit den Widerständen  $2R$ . Die Parallelschaltung dieser Zweige liefert den Lastwiderstand

$$R_L = \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} = R.$$

### Lösung zur Teilaufgabe 2:

Die Berechnung des Netzwerks kann auf konventionelle Art und Weise mit den Kirchhoff'schen Gleichungen erfolgen. Allerdings bietet sich hier eine einfachere Vorgehensweise an. Aufgrund der Symmetrie besitzen die beiden in Abb. 3 eingezeichneten Punkte  $P_1$  und  $P_2$  gleiches Potential, d.h., sie dürfen leitend miteinander verbunden werden. Durch diese ebenfalls in Abb. 3 eingetragene Verbindung sind aber die oberen beiden Widerstände parallel geschaltet, das Gleiche gilt für die beiden unteren Widerstände und auch für die beiden Widerstände im Brückenzweig, sodass sich das auf der rechten Seite der Abbildung dargestellte vereinfachte Netzwerk ergibt.

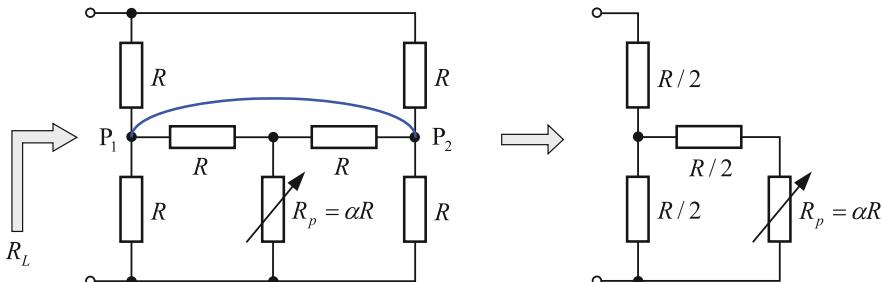


Abbildung 3: Vereinfachung des Netzwerks

Den Widerstand dieses Netzwerks können wir unter Beachtung der jeweiligen Reihen- und Parallelschaltung direkt angeben:

$$\begin{aligned} R_L &= \frac{R}{2} + \left[ \frac{R}{2} \parallel \left( \frac{R}{2} + \alpha R \right) \right] = \frac{R}{2} + \frac{\frac{R}{2} \cdot \left( \frac{R}{2} + \alpha R \right)}{\frac{R}{2} + \left( \frac{R}{2} + \alpha R \right)} = \frac{R}{2} + \frac{\frac{1}{4} + \frac{\alpha}{2}}{1 + \alpha} R \\ &= \left( \frac{1 + \alpha}{2} + \frac{1}{4} + \frac{\alpha}{2} \right) \frac{R}{1 + \alpha} = \left( \frac{3}{4} + \alpha \right) \frac{R}{1 + \alpha} \end{aligned}$$

$$R_L = \frac{3/4 + \alpha}{1 + \alpha} R \quad \rightarrow \quad a_0 = \frac{3}{4}, \quad b_0 = 1. \quad (1)$$

### Lösung zur Teilaufgabe 3:

Die maximale Wirkleistung wird von der Gleichspannungsquelle bei Widerstandsanpassung, also bei  $R_L = R_i$  abgegeben. Mit Gl. (1) folgt dann:

$$\frac{3/4 + \alpha}{1 + \alpha} R = \frac{7}{8} R \quad \rightarrow \quad 7(1 + \alpha) = 8 \left( \frac{3}{4} + \alpha \right) \quad \rightarrow \quad \alpha = 1.$$

**Aufgabe 3.18 | Brückenschaltung**

In dem gegebenen Netzwerk können die beiden Widerstände  $R_2$  und  $R_3$  synchron in dem Wertebereich  $0 \dots 50 \Omega$  eingestellt werden. Die Quellenspannung beträgt  $U_q = 30 \text{ V}$ .

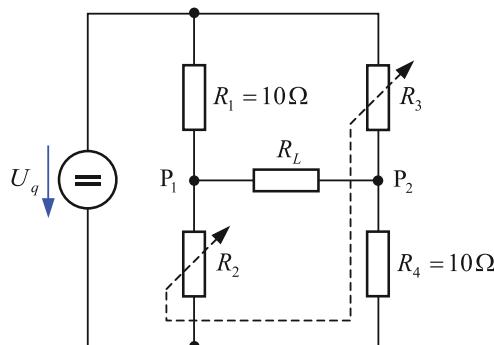


Abbildung 1: Brückenschaltung

1. Welchen Wert muss  $R_L$  aufweisen, damit er bei der Einstellung  $R_2 = R_3 = 30 \Omega$  maximale Leistung aufnimmt?
2. Wie groß ist in diesem Fall der Wirkungsgrad (Verhältnis der Leistung an  $R_L$  zur gesamten von der Quelle abgegebenen Leistung)?
3. Stellen Sie die Leistung an  $R_L$  für den in Teilaufgabe 1 ermittelten Wert in Abhängigkeit von  $R_2 = R_3$  dar.

**Lösung** zur Teilaufgabe 1:

Die Schaltung besitzt  $z = 6$  Zweige und damit  $2z = 12$  unbekannte Ströme und Spannungen. In dem Zweig mit der Quelle ist die Spannung bekannt. In den fünf Zweigen mit den Widerständen können die Spannungen mit dem Ohm'schen Gesetz  $U = RI$  durch die Ströme ausgedrückt werden, sodass zunächst nur die sechs unbekannten Ströme verbleiben. Da aber die Widerstände in den sich diagonal gegenüberliegenden Querzweigen jeweils gleich sind, müssen auch die Spannungen bzw. Ströme in diesen Zweigen jeweils gleich sein. Für das Netzwerk mit den vier verbleibenden unbekannten Strömen werden noch vier unabhängige Gleichungen benötigt.

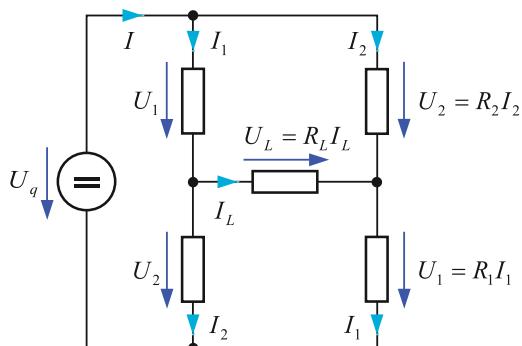


Abbildung 2: Bezeichnungen

Maschengleichungen:

$$U_q = U_1 + U_2 = R_1 I_1 + R_2 I_2 \quad (1)$$

$$U_L = U_2 - U_1 \quad \rightarrow \quad R_L I_L = R_2 I_2 - R_1 I_1. \quad (2)$$

Knotengleichungen:

$$I = I_1 + I_2 \quad (3)$$

$$I_1 = I_L + I_2. \quad (4)$$

Aus den Gln. (1) und (2) folgen die beiden Beziehungen

$$I_1 = \frac{U_q - I_L R_L}{2R_1} \quad \text{und} \quad I_2 = \frac{U_q + I_L R_L}{2R_2}.$$

Einsetzen dieser Beziehungen in Gl. (4) liefert den Strom  $I_L$ :

$$I_L = I_1 - I_2 = \frac{U_q - I_L R_L}{2R_1} - \frac{U_q + I_L R_L}{2R_2} \quad \rightarrow \quad I_L = \frac{U_q (R_2 - R_1)}{2R_1 R_2 + R_L (R_1 + R_2)} = \frac{a}{b + R_L c}.$$

Für die Leistung an  $R_L$  gilt  $P_L = I_L^2 R_L$ .

Die notwendige Bedingung für maximale Leistung ist das Verschwinden der 1. Ableitung. Mit der abgekürzten Schreibweise für  $I_L$  gilt dann

$$\frac{dP_L}{dR_L} = \frac{d}{dR_L} \left[ \frac{a^2}{(b + R_L c)^2} R_L \right] ! = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{b + R_L c}{(b + R_L c)^3} - 2R_L \frac{c}{(b + R_L c)^3} = 0.$$

Ergebnis:

$$R_L = \frac{b}{c} = \frac{2R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 30}{10 + 30} \Omega = 15 \Omega.$$

Die Überprüfung der hinreichenden Bedingung, dass die 2. Ableitung kleiner null sein muss, sei dem Leser überlassen.

**Lösung** zur Teilaufgabe 2:

Mit dem Strom durch  $R_L$

$$I_L = \frac{U_q (R_2 - R_1)}{2R_1 R_2 + R_L (R_1 + R_2)} = \frac{30 \cdot 20}{2 \cdot 10 \cdot 30 + 15 \cdot 40} A = 0,5 A$$

ergibt sich die Leistung an  $R_L$  zu

$$P_L = I_L^2 R_L = \frac{15}{4} W.$$

Für die gesamte von der Quelle abgegebene Leistung benötigen wir den Gesamtstrom:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U_q - I_L R_L}{2R_1} + \frac{U_q + I_L R_L}{2R_2} = \frac{30 - 7,5}{20} A + \frac{30 + 7,5}{60} A = 1,75 A.$$

Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{P_L}{P_{ges}} \cdot 100\% = \frac{15}{4 \cdot 30 \cdot 1,75} \cdot 100\% = 7,14\% .$$

**Lösung** zur Teilaufgabe 3:

Leistung an  $R_L$ :

$$P_L = I_L^2 R_L = \frac{\left[ U_q (R_2 - R_1) \right]^2 R_L}{\left[ 2R_1 R_2 + R_L (R_1 + R_2) \right]^2} = \frac{30^2 (R_2 - 10\Omega)^2 15}{[35R_2 + 150\Omega]^2} \text{ W.}$$

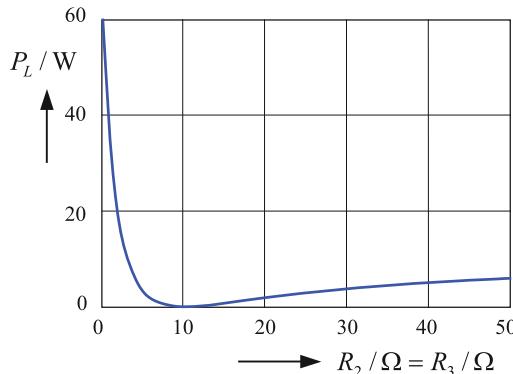


Abbildung 3: Leistung an  $R_L$  in Abhängigkeit der Widerstände  $R_2 = R_3$

Bei  $R_2 = R_3 = 0$  stellt sich an  $R_L$  die Leistung  $U_q^2/R_L = 60 \text{ W}$  ein. Beim Brückenabgleich verschwindet die Spannung an  $R_L$  und damit auch die Leistung.

### Aufgabe 3.19 | Belasteter Spannungsteiler

Ein Potentiometer mit Widerstand  $R$  liegt an einer Gleichspannung  $U_q = 100 \text{ V}$ . Am Spannungsabgriff liegt im unbelasteten Zustand eine Spannung von  $50 \text{ V}$ .

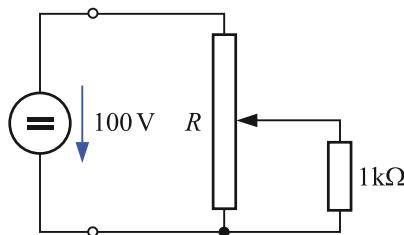


Abbildung 1: Belasteter Spannungsteiler

Wie groß muss der Spannungsteilerwiderstand  $R$  gewählt werden, damit sich die Spannung bei der Belastung mit  $1 \text{ k}\Omega$  um maximal 1 % verringert?

### Lösung

Da sich im unbelasteten Zustand genau die halbe Eingangsspannung am Spannungsabgriff einstellt, liegt dieser genau in der Mitte von  $R$ , d.h., wir können das folgende Netzwerk zugrunde legen.

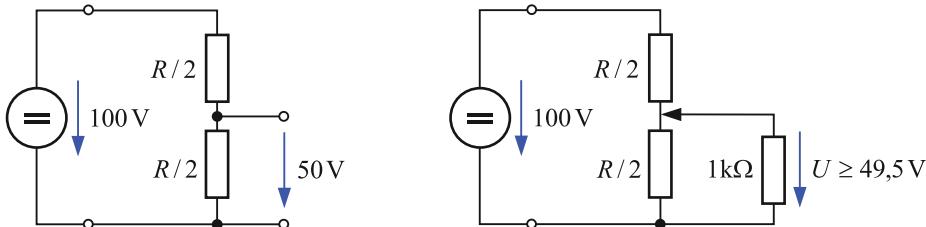


Abbildung 2: Alternative Netzwerkdarstellung

Aus der im rechten Netzwerk angegebenen Forderung für die Ausgangsspannung resultiert die Bestimmungsgleichung für den Widerstand  $R$ :

$$\frac{U}{100\text{V}} = \frac{\frac{R/2 \cdot 1\text{k}\Omega}{R/2 + 1\text{k}\Omega}}{\frac{R/2 + \frac{R/2 \cdot 1\text{k}\Omega}{R/2 + 1\text{k}\Omega}}{R/2 + 1\text{k}\Omega}} = \frac{R/2 \cdot 1\text{k}\Omega}{R/2 \cdot (R/2 + 1\text{k}\Omega) + R/2 \cdot 1\text{k}\Omega} = \frac{1\text{k}\Omega}{(R/2 + 1\text{k}\Omega) + 1\text{k}\Omega}$$

$$\frac{U}{100\text{V}} = \frac{1\text{k}\Omega}{R/2 + 2\text{k}\Omega} \geq 0,495 \quad \rightarrow \quad 1\text{k}\Omega - 0,495 \cdot 2\text{k}\Omega \geq 0,495 \frac{R}{2} .$$

$$\text{Ergebnis: } R \leq \frac{2 - 0,495 \cdot 4}{0,495} \text{k}\Omega = 40,4 \text{ }\Omega .$$

### Schlussfolgerung

Je kleiner der Widerstand  $R$  des Spannungsteilers ist, desto geringer ist der Einfluss des parallel geschalteten Widerstandes auf die Ausgangsspannung.

**Aufgabe 3.20 | Netzwerkberechnung mit Ersatzspannungsquelle**

Für das nachstehende Netzwerk wurden die Maschen- und Knotengleichungen bereits in Kap. 3 aufgestellt. In diesem Beispiel soll der Strom durch den Widerstand  $R_3$  auf zwei unterschiedlichen Wegen berechnet werden.

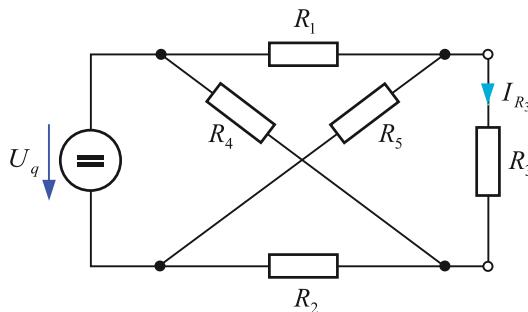


Abbildung 1: Betrachtetes Netzwerk

1. Berechnen Sie den Strom durch den Widerstand  $R_3$ , indem Sie die Maschen- und Knotengleichungen nach diesem Strom auflösen.
2. Ersetzen Sie das Netzwerk auf der linken Seite in Abb. 2 durch die auf der rechten Seite dargestellte Ersatzspannungsquelle, sodass sich die beiden Netzwerke bezüglich eines an die Ausgangsklemmen angeschlossenen Lastwiderstandes  $R_3$  gleich verhalten.

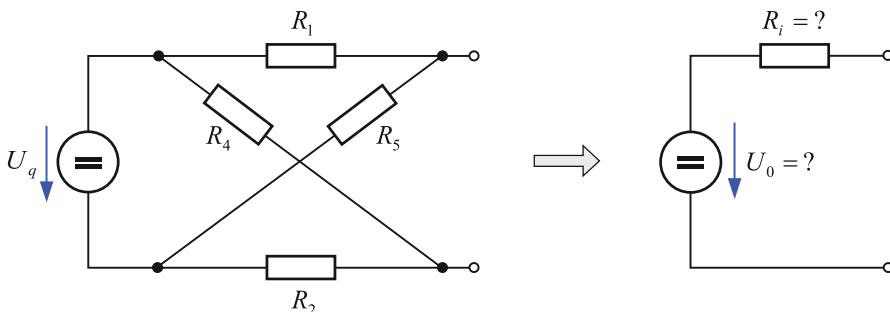


Abbildung 2: Umrechnung in eine äquivalente Ersatzspannungsquelle

3. Schließen Sie den Widerstand  $R_3$  an die Ersatzspannungsquelle an und überprüfen Sie, ob der Strom durch  $R_3$  mit der Lösung aus Teilaufgabe 1 übereinstimmt.

**Lösung** zur Teilaufgabe 1:

Aus den Knotengleichungen K<sub>1</sub> und K<sub>2</sub> in Gl. (3.59) erhalten wir die beiden Beziehungen

$$I_1 = I_3 + I_5 \quad \text{und} \quad I_2 = I_3 + I_4,$$

die in die Maschengleichung (3.61) eingesetzt werden und zunächst das Zwischenergebnis

$$\begin{array}{rcl} R_1 I_3 & + (R_1 + R_5) I_5 & = U_q \\ (R_2 + R_3) I_3 + R_2 I_4 & - R_3 I_5 & = 0 \\ -R_3 I_3 & + R_4 I_4 & + R_5 I_5 = U_q \end{array}$$

mit den drei noch unbekannten Strömen I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub> und I<sub>5</sub> liefern. Aus diesen Gleichungen müssen die Ströme I<sub>4</sub> und I<sub>5</sub> eliminiert werden, sodass nur noch eine Beziehung mit dem gesuchten Strom I<sub>3</sub> verbleibt. Aus der obersten Zeile folgt direkt

$$I_5 = \frac{1}{R_1 + R_5} U_q - \frac{R_1}{R_1 + R_5} I_3.$$

Wir können jetzt I<sub>5</sub> in die zweite Zeile einsetzen und diese nach I<sub>4</sub> auflösen. Einsetzen von I<sub>4</sub> und I<sub>5</sub> in die dritte Zeile liefert dann die gesuchte Beziehung. Den Strom I<sub>4</sub> erhalten wir aber auf eine etwas einfachere Weise, indem wir die zweite und dritte Zeile addieren. Aus dem Ergebnis folgt unmittelbar der Strom I<sub>4</sub>:

$$R_2 I_3 + (R_2 + R_4) I_4 = U_q \quad \rightarrow \quad I_4 = \frac{1}{R_2 + R_4} U_q - \frac{R_2}{R_2 + R_4} I_3.$$

Einsetzen in die zweite oder dritte Zeile liefert eine Gleichung für die Berechnung des Stromes I<sub>3</sub>. Wir verwenden die zweite Zeile:

$$(R_2 + R_3) I_3 + \frac{R_2}{R_2 + R_4} U_q - \frac{R_2^2}{R_2 + R_4} I_3 - \frac{R_5}{R_1 + R_5} U_q + \frac{R_5 R_1}{R_1 + R_5} I_3 = 0.$$

Multiplikation mit (R<sub>2</sub>+R<sub>4</sub>)(R<sub>1</sub>+R<sub>5</sub>) und Umsortieren liefert das Ergebnis

$$[(R_2 + R_3)(R_2 + R_4)(R_1 + R_5) - R_2 R_2(R_1 + R_5) + R_1 R_5(R_2 + R_4)] I_3 = [R_4 R_5 - R_1 R_2] U_q,$$

$$I_3 = \frac{R_4 R_5 - R_1 R_2}{(R_2 R_4 + R_3 R_2 + R_3 R_4)(R_1 + R_5) + R_1 R_5(R_2 + R_4)} U_q.$$

**Lösung** zur Teilaufgabe 2:

Wir betrachten die Netzwerke in Abb. 2 und berechnen im ersten Schritt die beiden Leerlaufspannungen. Im rechten Netzwerk gilt  $U_L = U_0$ . Das linke Netzwerk wird entsprechend der Abb. 3a umgezeichnet, sodass wir mithilfe der Spannungsteilerregel das folgende Ergebnis erhalten:

$$U_L = U_5 - U_2 = \frac{R_5}{R_1 + R_5} U_q - \frac{R_2}{R_2 + R_4} U_q \quad \rightarrow \quad U_0 = \left( \frac{R_5}{R_1 + R_5} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right) U_q.$$

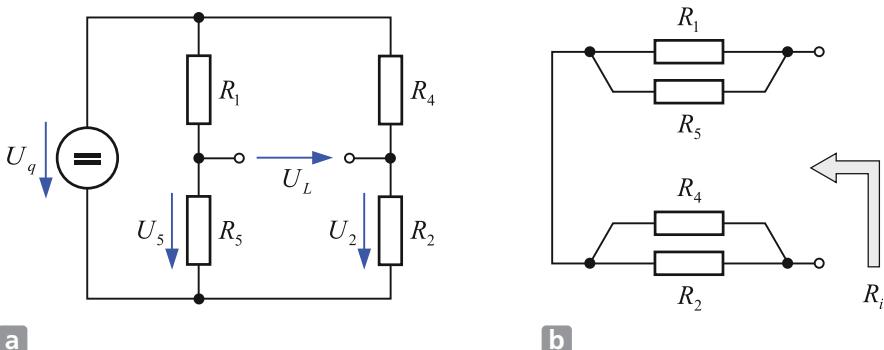


Abbildung 3: Alternative Netzwerkdarstellung

Im nächsten Schritt muss der in die Ausgangsklemmen hinein gemessene Innenwiderstand  $R_i$  bestimmt werden. Wird die Quellenspannung  $U_q$  in Abb. 2 zu null gesetzt, dann liegen die Widerstände  $R_1$  und  $R_5$  sowie  $R_2$  und  $R_4$  parallel. Das sich daraus ergebende Netzwerk ist in Abb. 3b dargestellt. Für den Innenwiderstand erhalten wir

$$R_i = (R_1 \parallel R_5) + (R_2 \parallel R_4) = \frac{R_1 R_5}{R_1 + R_5} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}.$$

**Lösung** zur Teilaufgabe 3:

Wird der Widerstand  $R_3$  jetzt an die Ersatzspannungsquelle in Abb. 2 angeschlossen, dann fließt der Strom

$$\begin{aligned} I_3 &= \frac{U_0}{R_3 + R_i} = \frac{\frac{R_5}{R_1 + R_5} - \frac{R_2}{R_2 + R_4}}{\frac{R_3}{R_3 + R_i} + \frac{\frac{R_1 R_5}{R_1 + R_5} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}}{R_3 + R_i}} U_q \\ &= \frac{R_5 (R_2 + R_4) - R_2 (R_1 + R_5)}{R_3 (R_2 + R_4) (R_1 + R_5) + R_1 R_5 (R_2 + R_4) + R_2 R_4 (R_1 + R_5)} U_q. \end{aligned}$$

Dieses Ergebnis stimmt mit der Lösung aus Teilaufgabe 1 überein.

**Aufgabe 3.21 | Ersatzspannungsquelle**

Das im linken Teilbild dargestellte Netzwerk soll in die auf der rechten Seite dargestellte Ersatzspannungsquelle umgerechnet werden, sodass sich die beiden Netzwerke bezüglich eines an die Ausgangsklemmen angeschlossenen Lastwiderstandes  $R_L$  gleich verhalten.

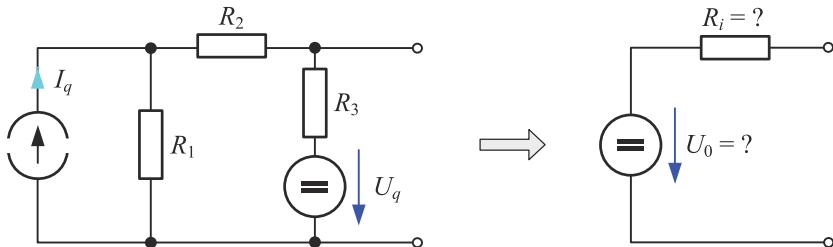
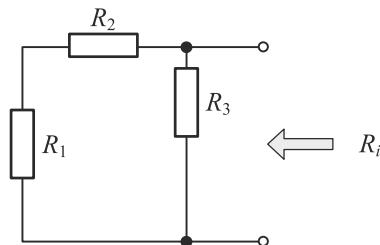


Abbildung 1: Äquivalente Quellen

- Bestimmen Sie den Innenwiderstand  $R_i$  des Netzwerks im linken Teilbild, indem Sie die Quellen zu null setzen und den Widerstand zwischen den Ausgangsklemmen berechnen.
- Zerlegen Sie das Netzwerk im linken Teilbild in zwei Teilnetzwerke, in denen jeweils nur eine Quelle enthalten ist, und berechnen Sie die Leerlaufspannungen für die beiden Teilnetzwerke.
- Geben Sie den Innenwiderstand und den Kurzschlussstrom für eine äquivalente Stromquelle an.
- Geben Sie die Leerlaufspannung  $U_0$  und den Widerstand  $R_i$  im rechten Teilnetzwerk für die Daten  $R_1 = 1 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ ,  $R_3 = 6 \Omega$ ,  $I_q = 3 \text{ A}$  und  $U_q = 6 \text{ V}$  an und berechnen Sie für diese Daten den Kurzschlussstrom einer äquivalenten Stromquelle.

**Lösung** zur Teilaufgabe 1:

Wird die Stromquelle durch einen Leerlauf und die Spannungsquelle durch einen Kurzschluss ersetzt, dann vereinfacht sich das Netzwerk zu der Schaltung in Abb. 2.

Abbildung 2: Zur Berechnung von  $R_i$ 

Für den gesuchten Innenwiderstand erhalten wir die Beziehung

$$R_i = (R_1 + R_2) \parallel R_3 = \frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

**Lösung** zur Teilaufgabe 2:

Gemäß der Vorgehensweise bei der Überlagerung wird jeweils eine Quelle zu null gesetzt und der Beitrag der anderen Quelle zur Leerlaufspannung berechnet. Die gesamte Leerlaufspannung ergibt sich dann durch Überlagerung der beiden Teillösungen.

Die folgende Abbildung zeigt die beiden Netzwerke.

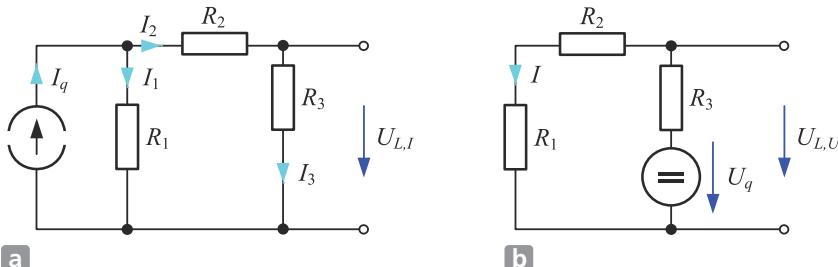


Abbildung 3: Teilnetzwerke: a) mit Stromquelle, b) mit Spannungsquelle

Beginnen wir die Betrachtung mit dem Netzwerk a. Der Quellenstrom  $I_q$  teilt sich auf die beiden Zweige mit  $R_1$  bzw.  $R_2 + R_3$  auf. Mit  $I_2 = I_3$  und der Stromteilerregel gilt

$$\frac{I_3}{I_q} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad \rightarrow \quad U_{L,I} = R_3 I_3 = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} I_q.$$

Im Netzwerk b stellt sich der Strom

$$I = \frac{U_q}{R_1 + R_2 + R_3}$$

ein, sodass wir die Leerlaufspannung

$$U_{L,U} = U_q - IR_3 = \left(1 - \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}\right) U_q = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U_q$$

erhalten. Die Überlagerung liefert dann

$$U_0 = U_{L,I} + U_{L,U} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} I_q + \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U_q.$$

**Lösung** zur Teilaufgabe 3:

Die äquivalente Stromquelle besitzt den gleichen Innenwiderstand  $R_i$  und den Kurzschlussstrom

$$I_0 = \frac{U_0}{R_i} = \frac{R_1 R_3}{(R_1 + R_2) R_3} I_q + \frac{R_1 + R_2}{(R_1 + R_2) R_3} U_q.$$

**Lösung** zur Teilaufgabe 4:

$$R_i = \frac{3 \cdot 6}{1+2+6} \Omega = 2 \Omega, \quad U_0 = \frac{6 \Omega^2}{9 \Omega} 3A + \frac{3 \Omega}{9 \Omega} 6V = 4V, \quad I_0 = \frac{4V}{2\Omega} = 2A.$$

# Stromleitungsmechanismen

## Wichtige Formeln

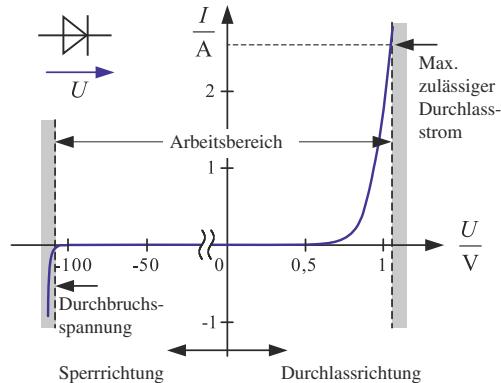
### Faraday'sche Gesetze

$$m = \frac{A_r u}{z e} Q = \frac{A_r u}{z e} I t = \frac{A_r I t}{z \cdot 96,47} \text{ As}$$

$$\frac{m_1}{A_{r1} / z_1} = \frac{m_2}{A_{r2} / z_2} = \dots$$

4

### Diodenkennlinie

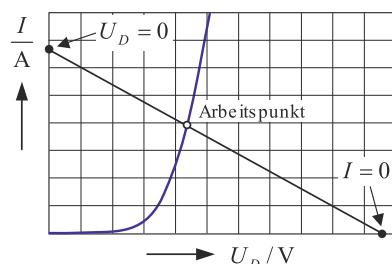
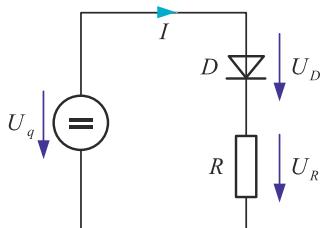


### Arbeitsbereich

$$I = I_0 \left( e^{\frac{U}{nU_T}} - 1 \right) \quad U_T = \frac{kT}{e}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ws/K} \quad e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

### Arbeitspunkt-bestimmung



# Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwort- und DRM-Schutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: **info@pearson.de**

## Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten oder ein Zugangscode zu einer eLearning Plattform bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.** Zugangscodes können Sie darüberhinaus auf unserer Website käuflich erwerben.

## Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

**<https://www.pearson-studium.de>**



Pearson