

## 3 Grundsaltungen der Elektrotechnik

### 3.1 Reihenschaltung

Bei der Reihenschaltung sind die einzelnen Verbraucher, z. B. Lampen, so geschaltet, dass sie vom selben Strom durchflossen werden. Die Reihenschaltung nennt man auch Hintereinanderschaltung.

#### 3.1.1 Gesetze der Reihenschaltung

**Versuch 1:** Schalten Sie zwei Lampen gleicher Leistung in Reihe an einen Spannungserzeuger. Messen Sie den Strom vor, zwischen und nach den Verbrauchern (**Bild 1**). Vergleichen Sie die Messergebnisse miteinander. *Alle Strommesser zeigen die gleiche Stromstärke an ( $I_1 = I_2 = I_3$ ).*

Die Stromstärke ist in der Reihenschaltung an allen Stellen gleich, weil der Strom sich bei dieser Schaltung nicht verzweigt.

In der Reihenschaltung fließt überall derselbe Strom.

**Versuch 2:** Schalten Sie zwei Verbraucher, z. B. zwei Lampen verschiedener Leistung, in Reihe an einen Spannungserzeuger und messen Sie alle Spannungen (**Bild 2**). Vergleichen Sie diese Spannungen.

*Die Teilspannungen an den Verbrauchern sind zusammen so groß wie die angelegte Spannung (Gesamtspannung  $U = U_1 + U_2$ ).*

Bei der Reihenschaltung liegt an jedem Verbraucher ein Teil der Gesamtspannung. Die Gesamtspannung teilt sich an den einzelnen Widerständen auf (Spannungsteilung).

Bei der Reihenschaltung ist die Summe der Teilspannungen an den Verbrauchern so groß wie die angelegte Spannung.

Erzeuger und Verbraucher in Versuch 2 sind so geschaltet, dass sie einen geschlossenen Weg, eine sogenannte Masche bilden. Es können sich in einer Masche mehrere Verbraucher und mehrere Erzeuger befinden (**Bild 3**). Auch die erzeugten Spannungen (**Erzeugerspannungen, Seite 63**) werden mit einbezogen.

Es gilt die **Maschenregel** (2. Kirchhoffsche<sup>1</sup> Regel):

In einer Masche ist die Summe der Erzeugerspannungen (Quellenspannungen) und der Teilspannungen an den Verbrauchern null.

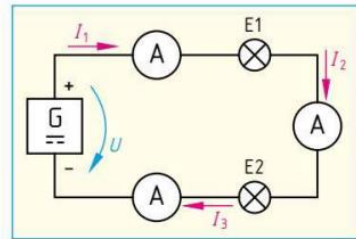
Bei der Anwendung der Maschenregel sind die Umlaufrichtung (frei wählbar) und die Spannungspfeile zu berücksichtigen. In Umlaufrichtung zeigende Spannungspfeile werden positiv gezählt, entgegengesetzte Spannungspfeile negativ.

**Versuch 3:** Wiederholen Sie Versuch 2, messen Sie aber auch die Stromstärke. Berechnen Sie aus Strom, Teilspannungen und Gesamtspannung die Widerstände der beiden Verbraucher und den Gesamtwiderstand der Reihenschaltung.

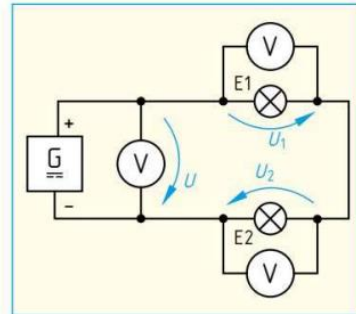
*Der Gesamtwiderstand  $R$  der beiden Verbraucher ist gleich der Summe der Einzelwiderstände  $R_1$  und  $R_2$ .*

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} \Rightarrow R = R_1 + R_2$$

<sup>1</sup> Gustav R. Kirchhoff, deutscher Physiker, 1824 bis 1887



**Bild 1: Reihenschaltung, Messen des Stromes**



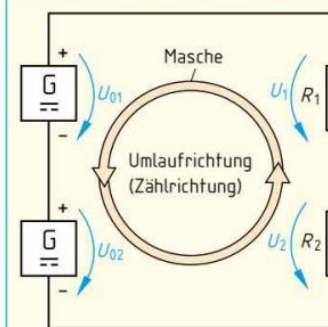
**Bild 2: Reihenschaltung, Messen der Spannungen**

#### Teilspannungen

$$U = U_1 + U_2 + \dots$$

$U$  Gesamtspannung  
 $U_1, U_2$  Teilspannungen, Verbraucherspannungen

#### Maschenregel (2. Kirchhoffsche Regel)



**Bild 3: Masche**

$$\begin{aligned} \Sigma U &= 0 \\ U_{01} + U_{02} - U_2 - U_1 &= 0 \\ U_{01} + U_{02} &= U_1 + U_2 \end{aligned}$$

$\Sigma U$  Summe aller Spannungen  
 $U_{01}, U_{02}$  Erzeugerspannungen  
 $U_1, U_2$  Verbraucherspannungen

Bei der Reihenschaltung ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände.

Den **Gesamtwiderstand**  $R$  einer Schaltung nennt man auch **Ersatzwiderstand**. Ein solcher Ersatzwiderstand nimmt an der gleichen Spannung die gleiche Stromstärke auf wie die Einzelwiderstände zusammen.

#### Beispiel:

Zwei Widerstände,  $R_1 = 24 \Omega$  und  $R_2 = 72 \Omega$ , sind in Reihe geschaltet (**Bild**) und liegen an einer Spannung von 24 V. Berechnen Sie **a)** den Ersatzwiderstand, **b)** die Stromstärke, **c)** die Teilspannungen, die an den Einzelwiderständen liegen und **d)** die Gesamtspannung.

#### Lösung:

- a)  $R = R_1 + R_2 = 24 \Omega + 72 \Omega = 96 \Omega$   
 b)  $I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{96 \Omega} = 0,25 \text{ A}$   
 c)  $U_1 = I \cdot R_1 = 0,25 \text{ A} \cdot 24 \Omega = 6 \text{ V}$   
 $U_2 = I \cdot R_2 = 0,25 \text{ A} \cdot 72 \Omega = 18 \text{ V}$   
 d)  $U = U_1 + U_2 = 6 \text{ V} + 18 \text{ V} = 24 \text{ V}$

Da in der Reihenschaltung überall derselbe Strom fließt, ist die Spannung am Widerstand  $R_2$  größer als die Spannung am Widerstand  $R_1$ .

Bei der Reihenschaltung liegt am Widerstand mit dem größten Widerstandswert auch die größere Spannung an.

Vergleicht man die Werte der Teilspannungen und dann die der Einzelwiderstände, so erkennt man, dass sich die Teilspannungen zueinander wie die Einzelwiderstände verhalten (**Beispiel**).

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Ebenso verhält sich die Teilspannung zur Gesamtspannung wie der zugehörige Einzelwiderstand zum Gesamtwiderstand.

$$\frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R} \quad \text{bzw.} \quad \frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R}$$

Bei der Reihenschaltung verhalten sich die Spannungen wie die zugehörigen Widerstände.

**Anwendungen der Reihenschaltung.** Verbraucher, z. B. Lampen, werden selten in Reihe geschaltet. Fällt nämlich ein Verbraucher aus, so ist der Stromkreis unterbrochen. Bei Weihnachtsbaumbeleuchtungen wird die Reihenschaltung jedoch angewendet. Um bei solchen Beleuchtungen zu verhindern, dass beim Durchschmelzen einer Lampenwendel der Stromkreis unterbrochen wird, überbrückt man jede Lampe mit einem Heißleiter (**Seite 198**). Beim Unterbrechen der Lampenwendel fließt dann ein größerer Strom durch den Heißleiter, der sich dadurch mehr erwärmt. Sein Widerstand verringert sich dann, sodass er als Stromweg für die ausgefallene Lampe dienen kann.

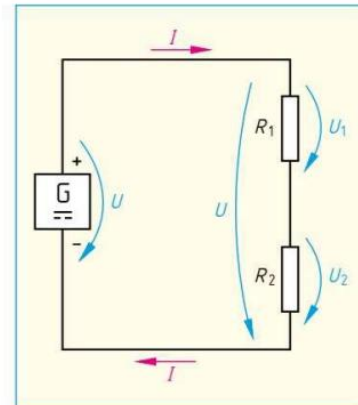
Spannungserzeuger, z. B. galvanische Elemente, können ebenfalls in Reihe geschaltet werden (**Seite 63**). Auch beim Fließen des elektrischen Stromes durch den menschlichen Körper liegt eine Reihenschaltung von Widerständen (Übergangs- und Durchgangswiderstände, **Seite 346**) vor.

Mehrere Aus-Taster, z. B. für die Sicherheitsschaltung bei Motoren, werden ebenfalls in Reihe (**Seite 114**) geschaltet.

#### Gesamtwiderstand

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

$R$  Gesamtwiderstand (Ersatzwiderstand)  
 $R_1, R_2$  Einzelwiderstände



**Bild: Strom, Spannungen und Widerstände in einer Reihenschaltung**

#### Spannungsteilung

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R} \quad \frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R}$$

$U$  Gesamtspannung  
 $U_1, U_2$  Teilspannungen  
 $R$  Gesamtwiderstand (Ersatzwiderstand)  
 $R_1, R_2$  Einzelwiderstände

### 3.1.2 Vorwiderstände

**Versuch:** Schalten Sie eine Lampe 12 V/0,1 A in Reihe mit einem verstellbaren Widerstand von mindestens 150  $\Omega$  (**Bild 1**). Achten Sie darauf, dass der höchste Widerstandswert eingestellt ist. Legen Sie die Schaltung über ein Netzgerät an 24 V und stellen Sie den Widerstand so ein, dass der Strommesser 0,1 A anzeigt. Messen Sie die Spannung an der Lampe.

An der Lampe liegt eine Spannung von nur 12 V.

Elektrogeräte können durch Vorschalten eines Widerstandes (Vorwiderstand) an eine Spannung gelegt werden, die höher als ihre Bemessungsspannung ist.

Der Vorwiderstand  $R_V$  (**Bild 1**) muss dabei so bemessen sein, dass von ihm die Spannungsdifferenz  $U_1 = U - U_2$  aufgenommen wird und er gleichzeitig den Strom in der Schaltung auf den Bemessungsstrom des Verbrauchers begrenzt.

Man verwendet Vorwiderstände z. B. zum Herabsetzen des Anlaufstromes von Elektromotoren (Anlasser siehe **Seite 515**). Auch Glimmlampen, Spannungsprüfer mit eingebauter Glimmlampe sowie viele Halbleiterbauelemente, z. B. Z-Dioden, Leuchtdioden (**Bild 2**) und Transistoren, benötigen zur Strombegrenzung Vorwiderstände.

In Vorwiderständen wird jedoch Wärme erzeugt (Verlustleistung,  $P_V = U_V \cdot I = I^2 \cdot R_V$ ). Wegen dieser unerwünschten Nebenwirkung verwendet man die Spannungsreduzierung durch Vorwiderstände nur bei Verbrauchern mit kleiner Leistung.

#### Beispiel 1:

Auf welchen Wert wurde im Versuch (**Bild 1**) der verstellbare Widerstand  $R_V$  eingestellt?

#### Lösung:

$$R_V = \frac{U - U_2}{I} = \frac{24 \text{ V} - 12 \text{ V}}{0,1 \text{ A}} = 120 \Omega$$

#### Beispiel 2:

Eine Leuchtdiode CQX 35 wird an die Spannung  $U_1 = 12 \text{ V DC}$  angeschlossen. Der Strom  $I_F$  soll 10 mA betragen.

- Entnehmen Sie aus der Kennlinie (**Seite 667**) die Durchlassspannung  $U_F$ .
- Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_V$ .
- Wählen Sie einen Vorwiderstand nach der Reihe E12.
- Wie groß ist der maximale Durchlassstrom der Leuchtdiode?
- Welchen Wert darf der Vorwiderstand nicht unterschreiten?

#### Lösung:

a) Aus der Kennlinie **Seite 667**:  $U_F = 1,63 \text{ V}$

b)  $R_V = \frac{U_1 - U_F}{I_F} = \frac{12 \text{ V} - 1,63 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 1037 \Omega$

c) Gewählt nach E 12:  $R_V = 1 \text{ k}\Omega$

d)  $I_{F\text{max}} = 50 \text{ mA}$

e) Aus Kennlinie:  $U_F = 1,72 \text{ V}$

$$R_V = \frac{U_1 - U_F}{I_{F\text{max}}} = \frac{12 \text{ V} - 1,72 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 206 \Omega$$

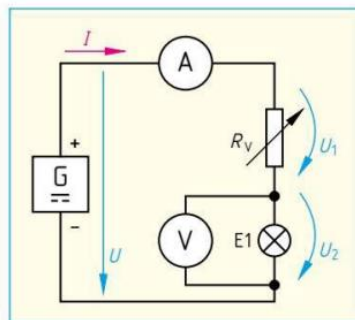


Bild 1: Vorwiderstand

#### Vorwiderstand

$$R_V = \frac{U_1}{I} = \frac{U - U_2}{I}$$

$R_V$	Vorwiderstand
$U$	Gesamtspannung
$U_1, U_2$	Teilspannungen
$I$	Stromstärke

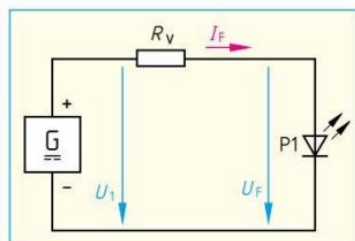


Bild 2: Leuchtdiode mit Vorwiderstand

#### Vorwiderstand von Leuchtdioden

$$R_V = \frac{U_1 - U_F}{I_F}$$

$U_1$	Anschlussspannung
$U_F$	Durchlassspannung
$I_F$	Durchlassstrom
$R_V$	Vorwiderstand

#### **i** Messbereichserweiterung von Spannungsmessern

Vorwiderstände werden auch zur Messbereichserweiterung von Spannungsmessern verwendet. Spannungsmesser können Spannungen bis zum Messbereichsendwert messen. Zum Messen höherer Spannungen muss der Messbereich durch Vorschalten eines Vorwiderstandes zum Messwerk erweitert werden.

### 3.1.3 Spannungsfall an Leitungen

**Versuch 1:** Schließen Sie eine Lampe 4,5 V/1 A über eine etwa 20 m lange Leitung aus Kupferdraht ( $\varnothing$  0,6 mm) an ein Netzgerät an (**Bild**). Messen Sie die Spannung an den Klemmen des Spannungserzeugers und die Spannung an der Lampe. Vergleichen Sie die Spannungen miteinander.

Die Spannung an der Lampe ist kleiner als die Spannung an den Klemmen des Spannungserzeugers.

Auch Leitungen haben einen Widerstand (**Bild**). Im Stromkreis sind Verbraucher und Leitung in Reihe geschaltet. Die angelegte Spannung verteilt sich auf die Hinleitung, den Verbraucher und die Rückleitung. An Hin- und Rückleitung fällt ein Teil der angelegten Spannung ab. Dieser so genannte **Spannungsfall**  $\Delta U$  an den Leitern, früher Spannungsabfall genannt (wie die Spannung an Vorwiderständen), steht dem Verbraucher nicht mehr zur Verfügung.

An jedem stromdurchflossenen Leiter tritt ein Spannungsfall auf.

**Versuch 2:** Wiederholen Sie Versuch 1 und schalten Sie parallel zu der Lampe eine zweite Lampe von 4,5 V/1 A.

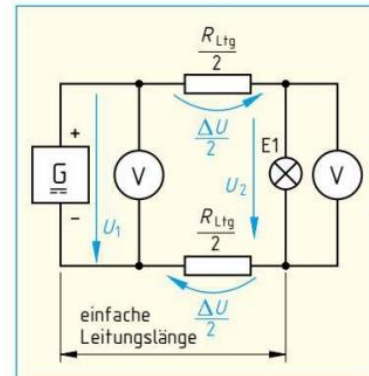
Beim Einschalten der zweiten Lampe geht die Spannung noch weiter zurück.

Ein größerer Strom bewirkt an den Leitungen einen größeren Spannungsfall  $\Delta U$ . Der Spannungsfall ist außer von der Stromstärke auch vom Leitungswiderstand  $R_{Ltg}$  abhängig.

Der Spannungsfall der Leitung wird umso größer, je größer der Strom im Leiter und je größer der Leitungswiderstand ist.

Der Spannungsfall an Leitungen verursacht Energieverluste, die in Wärme umgewandelt werden. Man versucht daher, ihn möglichst klein zu halten.

Der zulässige Spannungsfall an Leitungen (**Seite 327**) ist vom VDE (Verband der Elektronik, Elektrotechnik, Informationstechnik e.V.) und von dem jeweiligen NB (Netzbetreiber) vorgeschrieben.



**Bild:** Spannungsfall an Leitungen

#### Spannungsfall

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

$$\Delta U = I \cdot R_{Ltg}$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U}$$

$\Delta U$	Spannungsfall
$U_1$	Spannung am Leitungsanfang (Netzspannung)
$U_2$	Spannung am Leitungsende (Verbraucherspannung)
$I$	Leiterstrom
$R_{Ltg}$	Leitungswiderstand
$\Delta u$	prozentualer Spannungsfall

Leiterwiderstand: **Seite 38**

#### Beispiel:

Eine zweiadrige Leitung aus  $1,5 \text{ mm}^2$  Kupfer mit der Länge  $l = 10 \text{ m}$  ist mit  $13 \text{ A}$  belastet. Wie groß ist **a)** der Spannungsfall  $\Delta U$  an dieser Leitung in V und **b)** der prozentuale Spannungsfall  $\Delta u$  in % der Netzspannung von  $230 \text{ V}$ ? **c)** Wie groß ist die Verlustleistung  $P_v$  der Leitung?

#### Lösung:

$$\text{a) } R_{Ltg} = \frac{2 \cdot l}{\gamma \cdot A} = \frac{2 \cdot 10 \text{ m}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = 0,238 \Omega \quad \Delta U = I \cdot R_{Ltg} = 13 \text{ A} \cdot 0,238 \Omega = 3,1 \text{ V}$$

$$\text{b) } \Delta u = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U} = \frac{3,1 \text{ V} \cdot 100\%}{230 \text{ V}} = 1,35\%$$

$$\text{c) } P_v = \Delta U \cdot I = 3,1 \text{ V} \cdot 13 \text{ A} = 40,3 \text{ W}$$

#### Wiederholungsfragen

- Wie werden Verbraucher in Reihe geschaltet?
- Vergleichen Sie bei der Reihenschaltung die Teilspannungen und die zugehörigen Widerstände.
- Welcher Zusammenhang besteht bei einer Reihenschaltung zwischen Ersatzwiderstand und den Einzelwiderständen?
- Welche Aufgabe hat ein Vorwiderstand?
- Welchen Nachteil haben Vorwiderstände?
- Wie wird der Messbereich eines Spannungsmessers erweitert?
- Erklären Sie den Begriff Spannungsfall.
- Von welchen Größen hängt der Spannungsfall an einem Leiter ab?
- Nennen Sie den zulässigen Spannungsfall nach
  - DIN VDE und
  - TAB. Beachten Sie dazu die Seite 327.

### 3.2 Parallelschaltung

Bei der Parallelschaltung sind jeweils alle Strom-  
eintrittsklemmen und alle Stromaustrittsklemmen  
miteinander verbunden.

**Versuch 1:** Schalten Sie drei Verbraucher, z. B. Lampen,  
parallel an einen Spannungserzeuger. Messen Sie nach-  
einander die Spannungen am Spannungserzeuger und  
an jedem einzelnen Verbraucher (**Bild 1**) und vergleichen  
Sie die Messwerte miteinander.

*Die Spannungen an den Verbrauchern und am Span-  
nungserzeuger sind gleich groß ( $U = U_1 = U_2 = U_3$ ).*

An parallel geschalteten Verbrauchern liegt  
dieselbe Spannung.

Durch die Parallelschaltung ist es möglich, gleich-  
zeitig mehrere Verbraucher unabhängig voneinander  
an dieselbe Spannung anzuschließen. Daher  
schaltet man am Ortsnetz angeschlossene Ver-  
braucher parallel.

**Versuch 2:** Schalten Sie drei parallel geschaltete Ver-  
braucher, z. B. 3 Lampen 12 V/0,1 A, an einen Spannungser-  
zeuger. Messen Sie nacheinander die Stromstärke in der Zu-  
leitung und die Stromstärken der einzelnen Verbraucher  
(**Bild 2**). Vergleichen Sie die Ströme miteinander.

*Die Stromstärken in den einzelnen Verbrauchern er-  
geben zusammen die Stromstärke in der Zuleitung.*

Der Strom in der Zuleitung verzweigt sich auf die  
einzelnen Verbraucher. Man nennt die Ströme in  
den einzelnen Verbrauchern **Zweigströme** oder  
**Teilströme**.

Bei der Parallelschaltung ist der Gesamtstrom  
gleich der Summe der Teilströme (Zweig-  
ströme).

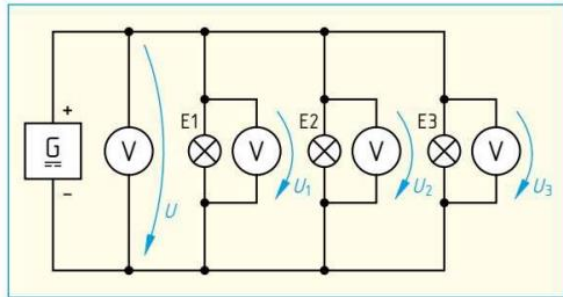
Punkte, an denen sich Ströme verzweigen, werden  
auch als **Knotenpunkte** (**Bild 2**) bezeichnet. An ei-  
nem Knotenpunkt können mehrere Ströme zuflie-  
ßen (positiv gezählt) und mehrere Ströme abflie-  
ßen (negativ gezählt). Es gilt dann die **Knoten-  
punktregel** (1. Kirchhoffsche Regel):

An jedem Knoten ist die Summe der zufließen-  
den Ströme so groß wie die Summe der abflie-  
ßenden Ströme.

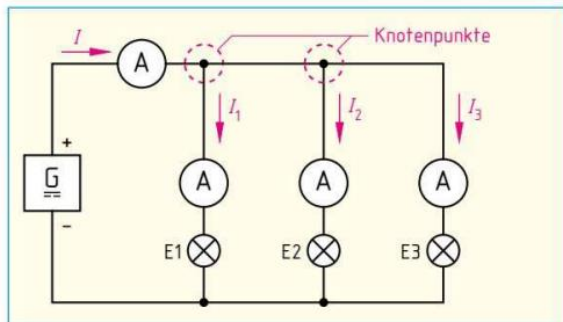
**Versuch 3:** Schalten Sie zwei verschieden große Wider-  
stände parallel, z. B. 47 Ω und 100 Ω. Schließen Sie die-  
se Widerstände an einen Spannungserzeuger an. Messen  
Sie nacheinander die Teilströme und vergleichen  
Sie die Messwerte mit den Widerständen.

*Durch den größeren Widerstand fließt der kleinere Strom  
und durch den kleineren Widerstand der größere.*

An den Widerständen liegt bei Parallelschaltung  
dieselbe Spannung. Deshalb verhalten sich die  
Teilströme umgekehrt wie die zugehörigen Wider-  
standswerte.



**Bild 1:** Parallelschaltung, Messen der Spannungen



**Bild 2:** Parallelschaltung, Messen der Ströme

Gesamtstrom	
$I = I_1 + I_2 + I_3$	
$I$	Gesamtstrom, Strom in der Zuleitung
$I_1, I_2, I_3$	Teilströme, Zweigströme

Knotenpunktregel (1. Kirchhoffsche Regel)	
<b>Beispiel:</b>	
$\Sigma I = 0$ $\Sigma I_{zu} = \Sigma I_{ab}$ $I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$	
$\Sigma I_{zu}$	Summe der zufließenden Ströme
$\Sigma I_{ab}$	Summe der abfließenden Ströme

Für 2 parallele Widerstände gilt:	
$U_1 = U_2 \quad I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2$ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$	
$I_1, I_2$	Zweigströme, Teilströme
$R_1, R_2$	Einzelwiderstände
$U_1, U_2$	Teilspannungen

Bei der Parallelschaltung verhalten sich die Stromstärken umgekehrt wie die zugehörigen Widerstandswerte. Der größere Strom fließt also durch den kleineren (niederohmigeren) Widerstand.

**Versuch 4:** Schließen Sie einen Verbraucher, z. B. eine Lampe, an ein Netzgerät mit gleich bleibender (stabilisierter) Ausgangsspannung an. Messen Sie den Strom in der Zuleitung und die Spannung am Verbraucher. Schalten Sie nacheinander einen zweiten und dritten Verbraucher parallel, z. B. Lampen, und beobachten Sie die Anzeige von Spannungs- und Strommesser.

Bei der Parallelschaltung weiterer Verbraucher nimmt die Stromstärke in der Zuleitung zu, während die Spannung an den Verbrauchern etwa gleich bleibt; der gesamte Widerstand der Parallelschaltung wird also kleiner.

Den gesamten Widerstand der Parallelschaltung nennt man auch **Ersatzwiderstand  $R$** . Er kann die Teilwiderstände ersetzen. Bei gleicher Spannung nimmt er den gleichen Strom auf wie die parallel geschalteten Einzelwiderstände zusammen.

Bei der Parallelschaltung ist der Ersatzwiderstand stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

Wie sich bei der Parallelschaltung die Zweigströme zum Gesamtstrom summieren, so summieren sich auch die **Einzelleitwerte** der einzelnen Zweige zum **Ersatzleitwert  $G$**  der Parallelschaltung. Durch Parallelschalten wird der Leitwert also größer.

Bei der Parallelschaltung ist der Ersatzleitwert gleich der Summe der Einzelleitwerte.

### Beispiel 1:

Berechnen Sie den Ersatzwiderstand  $R$  für die beiden Widerstände (**Bild**) mithilfe a) der Einzelwiderstände und b) der Einzelleitwerte.

#### Lösung:

$$\text{a) } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{50 \Omega} + \frac{1}{100 \Omega} = 0,03 \frac{1}{\Omega} \Rightarrow R = 33,33 \Omega$$

$$\text{b) } G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{50 \Omega} = 20 \text{ mS}; \quad G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{100 \Omega} = 10 \text{ mS}$$

$$G = G_1 + G_2 = 20 \text{ mS} + 10 \text{ mS} = 30 \text{ mS} = 0,03 \text{ S}$$

$$R = \frac{1}{G} = \frac{1}{0,03 \text{ S}} = 33,33 \Omega$$

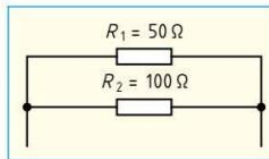


Bild: Parallelschaltung von zwei Widerständen

Bei zwei verschiedenen großen, parallel geschalteten Widerständen lässt sich die Formel zur Berechnung des Ersatzwiderstandes  $R$  vereinfachen:

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

### Beispiel 2:

Berechnen Sie den Ersatzwiderstand aus **Beispiel 1** nach der Formel für zwei parallel geschaltete Widerstände.

#### Lösung:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50 \Omega \cdot 100 \Omega}{50 \Omega + 100 \Omega} = 33,33 \Omega$$

Bei  $n$  gleich großen Widerständen ist der Ersatzwiderstand der Parallelschaltung gleich dem  $n$ -ten Teil eines Einzelwiderstandes, also  $R = \frac{R_1}{n}$ .

**Anwendung der Parallelschaltung.** Lampen, elektrische Haushaltsgeräte oder Elektromotoren werden für genormte Spannungen, z. B. 230 V, hergestellt. Sie werden daher parallel an das Netz geschaltet. Generatoren, Transformatoren und galvanische Elemente schaltet man parallel, wenn große Ströme geliefert werden sollen (**Seite 63**).

### Ersatzwiderstand Ersatzleitwert

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$$

$R$	Ersatzwiderstand
$R_1, R_2, \dots$	Einzelwiderstände
$G$	Ersatzleitwert
$G_1, G_2, \dots$	Einzelleitwerte

### Für 2 parallel geschaltete Widerstände gilt:

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

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

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

### Für $n$ gleiche parallel geschaltete Widerstände:

$$R = \frac{R_1}{n}$$

$R$	Ersatzwiderstand
$R_1$	Einzelwiderstand
$n$	Anzahl gleicher Widerstände

### 3.3 Gemischte Schaltungen

In der Praxis kommen häufig Schaltungen vor, die aus der Kombination von Reihenschaltungen und Parallelschaltungen bestehen (**Bild 1**). Solche Schaltungen bezeichnet man als gemischte Schaltungen oder Gruppenschaltungen.

Gemischte Schaltungen nennt man auch Gruppenschaltungen.

Gruppenschaltungen bestehen aus mindestens drei Bauelementen. Werden mehrere gemischte Schaltungen miteinander verknüpft, so spricht man von einem Netzwerk.

Zur Ermittlung des Ersatzwiderstandes gemischter Schaltungen geht man wie folgt vor:

- Die Schaltung löst man von innen nach außen auf.
- Zusammenfassen von Reihen- oder Parallelschaltungen zu einem Ersatzwiderstand (**1. Schritt in Bild 1**) nach den Gesetzen der Reihen- oder Parallelschaltung.
- Die neu entstandenen Schaltungen, die als Reihen- oder Parallelschaltungen vorliegen, sind wieder zu einem Ersatzwiderstand zusammenzufassen (**2. Schritt in Bild 1**).
- Schritte wiederholen, bis nur noch ein Ersatzwiderstand vorliegt (**3. Schritt in Bild 1**).

#### 3.3.1 Spannungsteiler

Elektrogeräte und elektronische Geräte benötigen oft eine Spannung, die von null bis zur Höchstspannung einstellbar ist. So kann man z. B. die Helligkeit einer Lampe, den Arbeitspunkt eines Verstärkers oder die Drehzahl eines Gleichstrommotors durch Ändern der angelegten Spannung verstellen. Bei Verbraucher mit einer großen Leistung wird die Verbraucherspannung meist mit einer elektronischen Schaltung, z. B. Phasenanschnittsteuerung (**Seite 260**) nahezu verlustlos eingestellt. Bei Schaltungen mit kleiner Leistung, z. B. bei Verstärker-Eingängen, lässt sich die veränderbare Spannung auch durch eine Reihenschaltung von Festwiderständen (**Bild 2**) oder mit Stellwiderständen (Potenziometer) (**Bild 3**) herstellen. Diese Schaltungen beruhen auf dem Prinzip der Spannungsteilung.

Der Spannungsteiler besteht aus zwei in Reihe geschalteten Widerständen  $R_1$  und  $R_2$  (**Bild 2**). An den beiden äußeren Anschlüssen der Reihenschaltung liegt die Spannung  $U$ . Am Widerstand  $R_2$  wird die Teilspannung bzw. Ausgangsspannung  $U_2$  abgegriffen. Wenn kein Verbraucher angeschlossen ist, bezeichnet man die Spannung als Leerlaufspannung  $U_{20}$ .

Wird der Widerstand  $R$  mit einem verstellbaren Abgriff versehen, z. B. einem Schleifer, so kann man die Ausgangsspannung  $U_{20}$  von null Volt bis zur Betriebsspannung  $U$  stetig verändern (**Bild 3**). Je nach Wert der Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  bzw. der Stellung des Schleifers beim Potenziometer (**Bild 3**) kann die Spannung  $U_{20}$  die Werte  $U_{20} = U$  (Schleifer ganz oben) oder  $U_{20} = 0\text{ V}$  (Schleifer ganz unten) annehmen.

Mit einem stufenlos verstellbaren Widerstand (Potenziometer) kann man die Ausgangsspannung  $U_{20}$  von null Volt bis zur Betriebsspannung  $U$  einstellen.

Im Gegensatz zu Schaltungen mit einem Vorwiderstand, kann man beim Spannungsteiler die Spannungsänderung auch im Leerlauf, d. h. ohne angeschlossenen Verbraucher, einstellen.

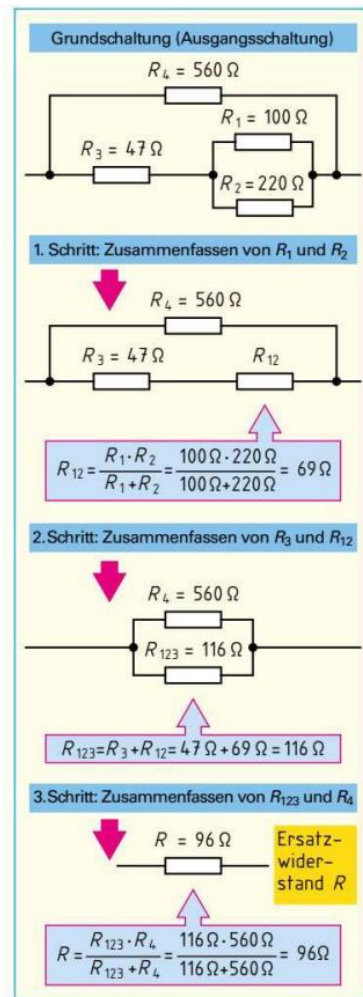


Bild 1: Gemischte Schaltung

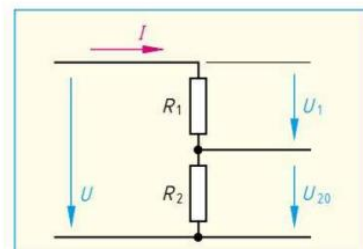


Bild 2: Spannungsteiler mit Festwiderständen

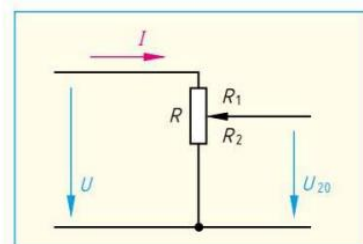


Bild 3: Spannungsteiler mit Potenziometer

Man unterscheidet unbelastete und belastete Spannungsteiler.

**Unbelasteter Spannungsteiler.** Dem unbelasteten Spannungsteiler (**Bild 1**) wird kein Strom entnommen. Diesen Fall nennt man **Leerlauf**. Die Gesamtspannung  $U$  wird in die Teilspannungen  $U_1$  und  $U_{20}$  aufgeteilt. Die **Leerlaufspannung**  $U_{20}$  verhält sich zur Gesamtspannung  $U$  wie der Widerstand  $R_2$  zum Gesamtwiderstand  $R$  ( $R = R_1 + R_2$ ).

#### Beispiel:

Ein unbelasteter Spannungsteiler mit den Widerständen  $R_1 = 82 \Omega$  und  $R_2 = 220 \Omega$  liegt an einer Gesamtspannung von  $U = 40 \text{ V}$ . Wie groß ist die Spannung am Widerstand  $R_2$ ?

#### Lösung:

$$U_{20} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U = \frac{220 \Omega \cdot 40 \text{ V}}{82 \Omega + 220 \Omega} = \frac{8800 \Omega \cdot \text{V}}{302 \Omega} = 29,1 \text{ V}$$

Die Teilspannungen lassen sich auch zeichnerisch bestimmen (**Bild 1**). Für den Widerstand  $R_2$  ergibt sich im  $I$ - $U$ -Diagramm eine ansteigende Ursprungsgerade (Widerstandsgerade). Die Kennlinie für  $R_1$  ist eine fallende Gerade (Arbeitsgerade), die auf der Stromachse beim **Kurzschlussstrom**  $I_k = U/R_1$  (für  $R_2 = 0 \Omega$ ) beginnt und auf der Spannungsachse bei der **Gesamtspannung**  $U$  endet. Der Schnittpunkt **A (Arbeitspunkt)** beider Geraden ergibt, projiziert auf die Spannungsachse, die Spannungsteilung und in der Projektion auf die Stromachse den Strom  $I$  der Schaltung.

**Belasteter Spannungsteiler.** Ein Spannungsteiler ist belastet, wenn ein Verbraucher  $R_L$  angeschlossen ist und ein Strom  $I_L$  entnommen wird (**Bild 2**).

**Versuch:** Bauen Sie die Spannungsteilerschaltung **Bild 2** mit einem Stellwiderstand  $R = 100 \Omega$  auf. Legen Sie eine Spannung von  $24 \text{ V}$  an. Schalten Sie parallel zu  $R_2$  einen Lastwiderstand  $R_L = 47 \Omega$ . Messen Sie die Spannungen und den Gesamtstrom bei geschlossenem und bei geöffnetem Schalter.

Bei geschlossenem Schalter ist die Spannung  $U_2$  kleiner und der Gesamtstrom größer als bei geöffnetem Schalter.

Durch den Lastwiderstand  $R_L$  fließt der Laststrom  $I_L$  und durch den Widerstand  $R_2$  der **Querstrom**  $I_q$ . Durch  $R_1$  fließt die Summe der beiden Ströme  $I = I_L + I_q$ . Bei Belastung wird der aufgenommene Strom  $I$  größer, weil der Ersatzwiderstand  $R_{2L}$  der Parallelschaltung aus  $R_2$  und  $R_L$  kleiner ist als  $R_2$ . Damit wird aber auch der Gesamtwiderstand des Spannungsteilers kleiner als im unbelasteten Zustand.

Die Teilspannung  $U_2$  des belasteten Spannungsteilers verhält sich zur Gesamtspannung  $U$  wie der Ersatzwiderstand  $R_{2L}$  der Parallelschaltung zum Gesamtwiderstand  $R$  ( $R = R_1 + R_{2L}$ ).

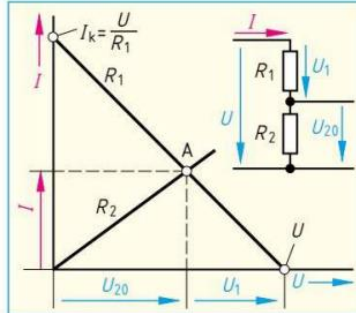
Belastet man den Spannungsteiler mit unterschiedlichen Lastwiderständen  $R_L$ , so stellt man fest, dass die Ausgangsspannung  $U_2$  umso weniger von der Leerlaufspannung  $U_{20}$  abweicht, je größer der Lastwiderstand  $R_L$  gegenüber dem Teilwiderstand  $R_2$  ist. Dann ist der Querstrom  $I_q$  größer als der Laststrom  $I_L$ . Ausgedrückt wird dies durch das **Querstromverhältnis**  $q$ ,  $q = I_q/I_L$ . Je nach Anforderung wählt man Werte für das Querstromverhältnis  $q$  von 2 bis 10.

Die Ausgangsspannung  $U_2$  des belasteten Spannungsteilers ist umso stabiler, je größer der Querstrom  $I_q$  gegenüber dem Laststrom  $I_L$ , d. h. je größer das Querstromverhältnis  $q$  ist.

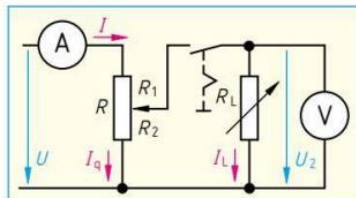
#### Unbelasteter Spannungsteiler

$$U_{20} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U$$

$U$  Gesamtspannung  
 $U_{20}$  Teilspannung bei Leerlauf (Leerlaufspannung)  
 $R_1, R_2$  Spannungsteilerwiderstände

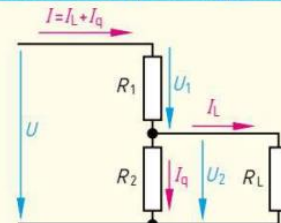


**Bild 1:** Bestimmung der Teilspannungen beim unbelasteten Spannungsteiler (Arbeitspunkt)



**Bild 2:** Messschaltung des belasteten Spannungsteilers

#### Belasteter Spannungsteiler



$$U_2 = U \cdot \frac{R_{2L}}{R_1 + R_{2L}}$$

$$R_{2L} = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}$$

$$q = \frac{I_q}{I_L} = \frac{R_L}{R_2}$$

$R_L$  Lastwiderstand  
 $R_1, R_2$  Spannungsteilerwiderstände  
 $R_{2L}$  Ersatzwiderstand aus  $R_2$  und  $R_L$   
 $U$  Gesamtspannung  
 $U_2$  Teilspannung bei Belastung  
 $I_L$  Laststrom  
 $I_q$  Querstrom  
 $q$  Querstromverhältnis

### 3.3.2 Brückenschaltung

#### 3.3.2.1 Abgegliche Brückenschaltung

**Versuch 1:** Schalten Sie 4 Widerstände, z. B.  $R_1 = 75 \Omega$ ,  $R_2 = 75 \Omega$  (einstellbarer Widerstand von max.  $200 \Omega$ ),  $R_3 = 50 \Omega$  und  $R_4 = 100 \Omega$  nach **Bild 1** an eine Spannung von z. B. 10 V. Nehmen Sie als Messinstrument einen Spannungsmesser mit Nullpunkt in der Skalenmitte.

Der Spannungsmesser zeigt einen Ausschlag. Zwischen den Punkten A und B der Schaltung liegt eine Spannung.

**Versuch 2:** Wiederholen Sie Versuch 1, stellen Sie aber dabei den Widerstand  $R_2$  auf den Wert  $150 \Omega$  ein.

Der Spannungsmesser zeigt keinen Ausschlag. Die Spannung zwischen den Punkten A und B ist also null.

Da bei Versuch 2 zwischen den Punkten A und B der Schaltung keine Spannung anliegt, muss der Spannungsfall an  $R_1$  gleich dem Spannungsfall an  $R_3$  und der Spannungsfall an  $R_2$  gleich dem Spannungsfall an  $R_4$  sein (**Bild 1**).

Eine Schaltung nach **Bild 1** nennt man **Brückenschaltung**. Sie besteht aus der Parallelschaltung zweier Spannungsteiler. Die Verbindung der Punkte A und B der Brücke nennt man **Brückendiagonale**. Teilt der Spannungsteiler  $R_1$ - $R_2$  die Spannung des Spannungserzeugers im gleichen Verhältnis auf wie der Spannungsteiler  $R_3$ - $R_4$ , so besteht zwischen den Punkten A und B keine Spannung ( $U_{AB} = 0 \text{ V}$ , Nullpunkt-methode). Die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  stehen also im gleichen Verhältnis zueinander wie die Widerstände  $R_3$  und  $R_4$ . Man sagt, die Brücke ist abgeglichen.

Eine Brückenschaltung ist abgeglichen, wenn

- die Spannung  $U_{AB}$  in der Brückendiagonalen gleich null ist ( $U_{AB} = 0 \text{ V}$ )
- das Widerstandsverhältnis der beiden Spannungsteiler gleich ist ( $R_1/R_2 = R_3/R_4$ )

Sind von einer abgeglichenen Brückenschaltung drei Widerstände bekannt, so kann der vierte unbekannte Widerstand berechnet werden.

#### Beispiel:

Eine abgegliche Brückenschaltung nach **Bild 1** hat die Widerstände  $R_2 = 40 \Omega$ ,  $R_3 = 25 \Omega$  und  $R_4 = 50 \Omega$  sowie den unbekanntem Widerstand  $R_1$ . Berechnen Sie  $R_1$ .

#### Lösung:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4} = \frac{40 \Omega \cdot 25 \Omega}{50 \Omega} = 20 \Omega$$

Mithilfe von Messbrücken (**Bild 2**) kann der Wert eines unbekanntem Widerstandes  $R_x$  bestimmt werden. Zur Bestimmung von  $R_x$  genügt die Kenntnis von  $R_3$  und dem Verhältnis von  $R_2$  zu  $R_1$ . Der Widerstand  $R_3$  wird nun solange verändert, bis die Spannung im Brückenzweig  $U_{AB} = 0 \text{ V}$  beträgt. Die Brücke ist dann abgeglichen und es gilt:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \Rightarrow R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Das Verhältnis von  $R_2$  zu  $R_1$  ergibt einen Zahlenwert, der multipliziert mit  $R_3$ , den unbekanntem Widerstand  $R_x$  ergibt. Passt man nun die Skala des veränderbaren Widerstandes  $R_3$  an, so kann man den Wert des unbekanntem Widerstandes  $R_x$  auch direkt ablesen. Diese Messbrücke zur Messung von unbekanntem Widerständen nennt man wheatstonesche<sup>1</sup> Messbrücke.

Das Ergebnis der Messung mit einer Messbrücke ist unabhängig von der Höhe der Versorgungsspannung  $U$ .

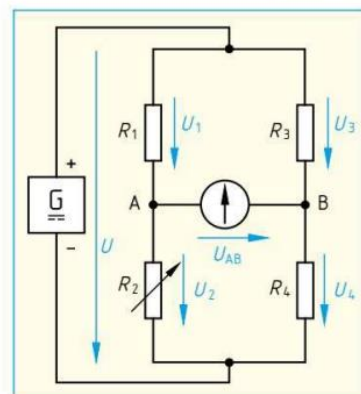


Bild 1: Brückenschaltung

#### Abgegliche Brückenschaltung

$U_{AB} = 0 \text{ V}$ , wenn gilt:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_3}{U_4} \text{ bzw. } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$R_1 \dots R_4$  Brückenwiderstände

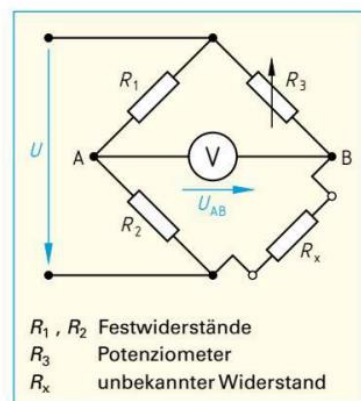


Bild 2: Messbrücke

<sup>1</sup> Charles Wheatstone, engl. Physiker, 1802 bis 1875

### 3.3.2.2 Nicht abgegliche Brückenschaltung

Im **Versuch 1, Seite 57** zeigt der Spannungsmesser einen Ausschlag. Zwischen den Punkten A und B liegt also eine Spannung. Das Verhältnis der Widerstände  $R_1$  zu  $R_2$  ist ungleich dem Verhältnis von  $R_3$  zu  $R_4$ .

$$\frac{R_1}{R_2} \neq \frac{R_3}{R_4}$$

Man spricht in diesem Fall von einer **nicht abgeglichenen Brückenschaltung**.

Bei einer nicht abgeglichenen Brückenschaltung ist die Spannung  $U_{AB}$  im Brückenzweig ungleich null Volt ( $U_{AB} \neq 0 \text{ V}$ ).

#### Berechnung der Brückenspannung $U_{AB}$ :

Mit der Maschenregel (2. Kirchhoffsche Regel, **Seite 49**) ergibt sich für die im **Bild 1** eingezeichnete Masche folgender Ansatz:

$$\sum U = 0 \Rightarrow U_{AB} + U_4 - U_2 = 0 \Rightarrow U_{AB} = U_2 - U_4$$

Die Brückenschaltung setzt sich aus dem Spannungsteiler mit den Widerständen  $R_1$  und  $R_2$  (linker Zweig) und dem Spannungsteiler mit  $R_3$  und  $R_4$  (rechter Zweig) zusammen (**Bild 2**). Die Teilspannungen  $U_2$  und  $U_4$  können mit der Gleichung des unbelasteten Spannungsteilers (**Seite 56**) berechnet werden.

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U \quad \text{und} \quad U_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U$$

Brückenschaltungen verwendet man vor allem in der Messtechnik, z. B. zur Temperaturmessung (**Seite 199**), sowie in der Steuerungs- und Regelungstechnik.

#### Beispiel:

Zur Temperaturmessung wird die in **Bild 3** dargestellte Brückenschaltung verwendet. Dabei ändert sich die Brückenspannung in Abhängigkeit der Temperatur.

- Um welche Widerstandsart handelt es sich bei  $R_4$ ?
- Auf welchen Wert muss  $R_3$  eingestellt werden, damit bei  $\vartheta = 20 \text{ °C}$  die Brücke abgeglichen ist (Widerstandskennlinie von  $R_4$  siehe **Bild 1, Seite 198**).
- Wie verändert sich  $U_{AB}$ , wenn die Temperatur steigt?
- Berechnen Sie die Brückenspannung  $U_{AB}$ , wenn die Temperatur an  $R_4$   $60 \text{ °C}$  beträgt.

#### Lösung:

a) Heißleiter (NTC-Widerstand)

b) Aus **Bild 1, Seite 198**:  $R_4 = 1,2 \text{ k}\Omega$  bei  $20 \text{ °C}$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_3 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2} = \frac{1 \text{ k}\Omega \cdot 1,2 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = 1,2 \text{ k}\Omega$$

c) Steigt die Temperatur, nimmt der Widerstandswert des Heißleiters ab. Dadurch sinkt die Spannung  $U_4$ .  $U_2$  ändert sich nicht. Die Brückenspannung  $U_{AB}$  wird größer als  $0 \text{ V}$ .

d) Aus **Bild 1, Seite 198**:  $R_4 = 500 \text{ }\Omega$  bei  $60 \text{ °C}$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U = \frac{1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} \cdot 10 \text{ V} = 5 \text{ V}$$

$$U_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U = \frac{0,5 \text{ k}\Omega}{1,2 \text{ k}\Omega + 0,5 \text{ k}\Omega} \cdot 10 \text{ V} = 2,94 \text{ V}$$

$$U_{AB} = U_2 - U_4 = 5 \text{ V} - 2,94 \text{ V} = 2,06 \text{ V}$$

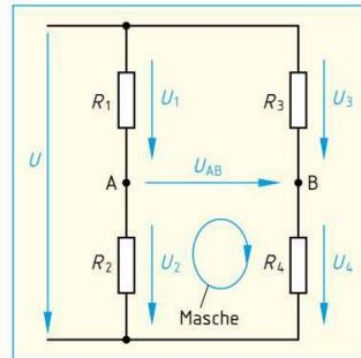


Bild 1: Brückenschaltung

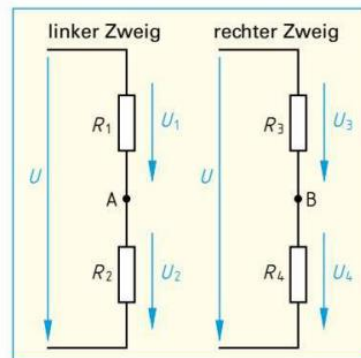


Bild 2: Spannungsteiler

#### Nicht abgegliche Brückenschaltung

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U \quad U_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U$$

$$U_{AB} = U_2 - U_4$$

$R_1 \dots R_4$  Brückenwiderstände  
 $U_2, U_4$  Teilspannungen  
 $U$  Gesamtspannung  
 $U_{AB}$  Brückenspannung

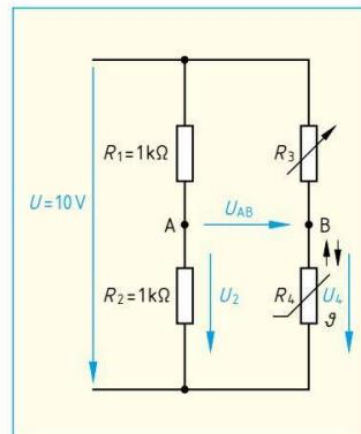


Bild 3: Brückenschaltung zur Temperaturmessung

### 3.3.3 Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung

Zur indirekten Widerstandsbestimmung mit einer Strom- und Spannungsmessung sind zwei Schaltungen möglich: die Spannungsfehlerschaltung (Bild 1) und die Stromfehlerschaltung (Bild 2).

Bei der **Spannungsfehlerschaltung (Bild 1)** misst der Strommesser den Strom, der tatsächlich durch den Widerstand  $R$  fließt. Der Spannungsmesser zeigt aber eine Spannung  $U$  an, die um den Spannungsfall  $U_{iA}$  am Strommesser zu groß ist. Bei der Widerstandsbestimmung nach dem ohmschen Gesetz mit  $R = U/I$  erhält man daher einen zu großen Wert.

Falls der Innenwiderstand  $R_{iA}$  des Strommessers bekannt ist, lässt sich der berechnete Widerstandswert korrigieren. Der tatsächliche Wert des Widerstandes  $R$  ist um den Innenwiderstand  $R_{iA}$  des Strommessers kleiner als der berechnete Wert  $U/I$ .

Ist der zu messende Widerstand  $R$  wesentlich größer als der Innenwiderstand  $R_{iA}$  des Strommessers, so kann man den Innenwiderstand des Strommessers vernachlässigen.

Die Spannungsfehlerschaltung ist ohne Korrektur zur Ermittlung großer Widerstandswerte geeignet.

Bei der **Stromfehlerschaltung (Bild 2)** misst der Spannungsmesser die Spannung, die tatsächlich am Widerstand liegt. Der Strommesser zeigt jedoch einen Strom  $I$  an, der um den Strom  $I_{iV}$  durch den Spannungsmesser zu groß ist. Bei der Widerstandsbestimmung nach dem ohmschen Gesetz erhält man also einen zu kleinen Widerstandswert.

Ist der Innenwiderstand  $R_{iV}$  des Spannungsmessers bekannt, dann lässt sich der berechnete Widerstandswert korrigieren. Durch den Spannungsmesser fließt der Strom  $I_{iV} = U/R_{iV}$ . Durch den Widerstand fließt nur die Differenz vom gemessenen Strom  $I$  und dem Strom  $I_{iV}$ .

Ist der Strom durch den Spannungsmesser wesentlich kleiner als der Strom durch den zu messenden Widerstand, z. B. bei digitalen Spannungsmessern, so braucht man den Strom durch den Spannungsmesser nicht zu berücksichtigen. Durch den Spannungsmesser fließt nur ein kleiner Teil des Stromes, wenn der Widerstand  $R$  viel kleiner als der Innenwiderstand  $R_{iV}$  des Spannungsmessers ist. Der Stromfehler kann in diesem Fall vernachlässigt werden.

Die Stromfehlerschaltung ist ohne Korrektur zur Ermittlung kleiner Widerstandswerte geeignet.

#### Wiederholungsfragen

- 1 Was versteht man unter a) der Spannungsfehlerschaltung, b) der Stromfehlerschaltung?
- 2 In welchem Fall braucht man bei der Spannungsfehlerschaltung den Innenwiderstand des Strommessers nicht zu berücksichtigen?
- 3 Welche Schaltung wählt man am besten, wenn große Widerstandswerte ermittelt werden sollen? Begründen Sie Ihre Auswahl.
- 4 Welche Schaltung wählt man zur Ermittlung kleiner Widerstandswerte? Begründen Sie Ihre Auswahl.

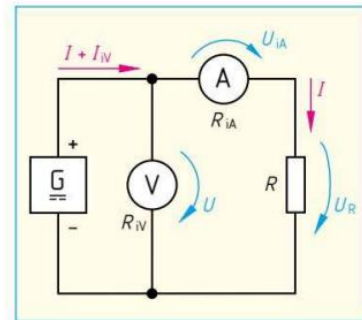


Bild 1: Spannungsfehlerschaltung (stromrichtige Schaltung)

**Korrekturformel für die Spannungsfehlerschaltung:**

$$R = \frac{U - U_{iA}}{I} = \frac{U}{I} - R_{iA}$$

$$U_{iA} = I \cdot R_{iA}$$

$R$  zu bestimmender Widerstand  
 $U$  angezeigte Spannung  
 $U_{iA}$  Spannung am Strommesser  
 $I$  angezeigte Stromstärke  
 $R_{iA}$  Innenwiderstand des Strommessers

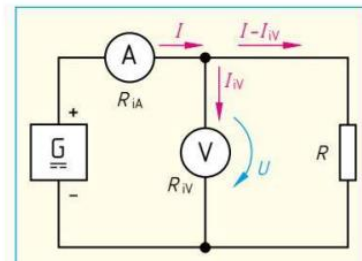


Bild 2: Stromfehlerschaltung (spannungsrichtige Schaltung)

Messen von Widerständen: **Seite 178**

**Korrekturformel für die Stromfehlerschaltung:**

$$R = \frac{U}{I - I_{iV}} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_{iV}}}$$

$$I_{iV} = \frac{U}{R_{iV}}$$

$R$  zu bestimmender Widerstand  
 $R_{iV}$  Innenwiderstand des Spannungsmessers  
 $I_{iV}$  Strom durch den Spannungsmesser  
 $I$  angezeigte Stromstärke  
 $U$  angezeigte Spannung