



Leseprobe

Heinz Josef Bauckholt

Grundlagen und Bauelemente der Elektrotechnik

ISBN (Buch): 978-3-446-43246-8

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-43246-8>

sowie im Buchhandel.

2 Elektrischer Stromkreis

2.1 Aufbau des technischen Stromkreises

Nach der Durcharbeitung dieses Kapitels haben Sie die **Kompetenz** ...

- Stromkreise in äußere und innere Abschnitte einzuteilen und die Bedeutung für die Praxis aufzuzeigen.

Im Themenkreis 1 wurden die einzelnen elektrischen Grundgrößen erarbeitet und ihre Zusammenhänge dargestellt. In diesem Themenkreis erfolgt nun die Betrachtung des Zusammenwirkens der einzelnen Grundgrößen im Stromkreis. Dazu wird ein aus Spannungsquelle, Schalter, Leitungen und einem Widerstand als Verbraucher bestehender Stromkreis betrachtet.

Nach dem Schließen des Stromkreises mittels Schalter beginnt die Ladungsbewegung. Von der Spannung bewegt strömen Elektronen vom Minus-Pol (= Elektronenüberschuss) durch den Widerstand R zum Plus-Pol (= Elektronenmangel). In der Spannungsquelle erfolgt wieder eine Ladungstrennung, wobei die Elektronen zum Minus-Pol verschoben werden. Der Kreislauf ist somit geschlossen. Solange die Energieumwandlung in der Spannungsquelle anhält, wird der Elektronenfluss aufrechterhalten. Die Stromrichtung ist, wie bereits bekannt, von Plus nach Minus festgelegt.

Die Ursache des Stromflusses ist die Spannung.

Für den gesamten Stromkreis gilt die Aussage:

Der Stromkreis wird in einen äußeren und inneren Stromkreis aufgeteilt. Im äußeren Stromkreis sind alle Verbraucher zusammengefasst, während der innere Stromkreis durch die Spannungsquelle gebildet wird. Daraus erklären sich auch die Begriffe Verbraucher- und Erzeugerkreis.

Die Definition der Stromrichtung ist auf den äußeren Stromkreis bezogen. In der Spannungsquelle fließt der Strom von Minus nach Plus, die Elektronen natürlich entgegengesetzt.

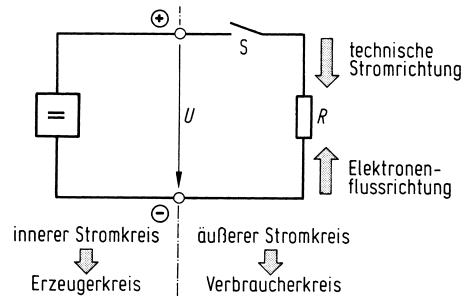


Bild 2.1 – 1
Zusammenwirken der Grundgrößen im Stromkreis

Ohne Spannung kein Strom.

Der Strom ist an allen Stellen des Kreises gleich groß.

2.2 Strömungsgesetze im elektrischen Stromkreis

Nach der Durcharbeitung dieses Kapitels haben Sie die **Kompetenz** ...

- Berechnungen an einfachen elektrischen Stromkreisen mit dem Ohm'schen Gesetz durchzuführen,
- zwischen linearen und nichtlinearen Widerständen zu unterscheiden und ihr Verhalten im Stromkreis zu erklären.

2.2.1 Ohm'sches Gesetz

Den Zusammenhang zwischen der elektrischen Spannung U , dem elektrischen Strom I und dem Widerstand R erkannte als Erster der deutsche Physiker Georg Simon Ohm (1789–1854), weshalb die mathematische Formulierung dieser Abhängigkeit als Ohm'sches Gesetz bezeichnet wird.

Im geschlossenen Stromkreis sind bei konstantem Widerstand der Strom und die Spannung einander proportional.

Bei konstanter Spannung U und Vergrößerung des Widerstandes R ist der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung umgekehrt proportional.

Zusammenfassend lässt sich daraus die Größengleichung des Ohm'schen Gesetzes ableiten:

Die Einheitengleichung ergibt wie folgt:

Das Ohm'sche Gesetz lässt sich durch verschiedene Formulierungen darstellen:

1. Die am Widerstand R anliegende Spannung U treibt den Strom I durch diesen Widerstand.
2. Um den Strom I durch den Widerstand R zu treiben, muss die Spannung U angelegt werden.

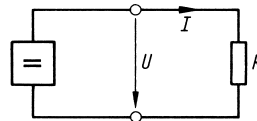


Bild 2.2.1 – 1 Geschlossener Stromkreis

$$I \sim U \quad (\text{wenn } R = \text{konstant})$$

folglich

$$I = k \cdot U$$

$k = \text{Proportionalitätsfaktor}$

$$I \sim \frac{1}{R} \quad (\text{wenn } U = \text{konstant})$$

Mit $k = \frac{1}{R}$ ergibt sich das **Ohm'sche Gesetz**

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.2.1 - 1)$$

$$[I] = \frac{\text{V}}{\Omega} = \text{A} \quad (2.2.1 - 2)$$

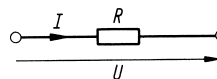


Bild 2.2.1 – 2 Spannung und Strom am Widerstand

3. Um bei der angelegten Spannung U den Strom I zu begrenzen, muss der Widerstand R vorhanden sein.

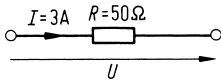
Die Umstellung des Ohm'schen Gesetzes nach R führt zur Definitionsgleichung des Widerstandes R .

Zur Erinnerung sei an dieser Stelle nochmals auf die bereits bekannte Bemessungsgleichung eines Widerstandes hingewiesen.

Mit der Gleichung 1.3.2.2–2 wurde der Leitwert G definiert. Die Einführung des Leitwertes in das Ohm'sche Gesetz ergibt:

Beispiel 2.2.1 – 1

Bestimmen Sie bei gegebenem Strom $I = 3 \text{ A}$ und Widerstand $R = 50 \text{ } \Omega$ die Spannung U .



Übung 2.2.1 – 1

Zeichnen Sie in einen einfachen Stromkreis die technische Stromrichtung und die Elektronenflussrichtung ein. Wie fließen Strom und Elektronen im inneren Stromkreis, also in der Spannungsquelle?

Übung 2.2.1 – 2

Ergänzen Sie in der Tabelle die fehlenden Werte für jede Spalte:

Übung 2.2.1 – 3

Der Verbraucher in einem Stromkreis wird durch einen 400 m langen Kupferdraht mit einem Querschnitt von $A = 50 \text{ mm}^2$ gebildet. Der Stromkreis wird mit $U = 2 \text{ V}$ gespeist. Berechnen Sie für eine Drahttemperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und $50 \text{ }^\circ\text{C}$ den Strom I .

Definitionsgleichung des Widerstandes

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.2.1 - 3)$$

Bemessungsgleichung des Widerstandes

$$R = \frac{l}{\kappa \cdot A} = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

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

$$I = U \cdot G \quad (2.2.1 - 4)$$

Lösung:

$$U = I \cdot R \\ = 3 \text{ A} \cdot 50 \text{ } \Omega$$

$$U = \underline{150 \text{ V}}$$

Lösung:

Lösung:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
R	10 Ω			1,5 M Ω		1 G Ω	
U	20 V	1 μV	10^3 V		150 V		20 V
I		5 nA		0,5 A	10 A	1 mA	
G			3 S				10 S

Lösung:

2.2.2 Widerstandsdiagramme

2.2.2.0 Einführung

In der Technik werden vielfältige Diagramme und Kennlinien verwendet. Das Ohm'sche Gesetz ist eine lineare Gleichung. Jede lineare Gleichung kann in eine lineare Funktion überführt werden. Deshalb kann auch das Ohm'sche Gesetz in eine Funktionsgleichung umgewandelt und als Graph dargestellt werden.

Für die allgemeine lineare Funktion gilt:

$$y = f(x) = m \cdot x \quad (2.2.2.0 - 1)$$

x = unabhängige Variable

y = abhängige Variable

$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ = Steigungsfaktor

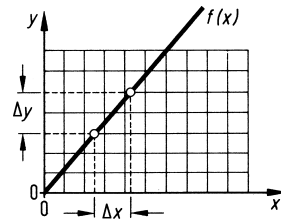


Bild 2.2.2.0 - 1 Lineare Funktion

Die in der Gleichung 2.2.1 - 1 angeführte Schreibweise des Ohm'schen Gesetzes entspricht der einer allgemeinen linearen Funktion.

$$I = f(U) = \frac{1}{R} \cdot U$$

$$\begin{array}{ccc} \uparrow & & \uparrow \downarrow \\ y = f(x) & = & m \cdot x \end{array}$$

Der Vergleich der Koeffizienten beider Gleichungen führt zur folgenden Gegenüberstellung:

$I \hat{=} y$ = abhängige Variable

$\frac{1}{R} \hat{=} m$ = Steigungsfaktor

$U \hat{=} x$ = unabhängige Variable

Die Aussagen „ $I \hat{=}$ abhängige Variable“ und „ $U \hat{=}$ unabhängige Variable“ sind auch physikalisch richtig, da ohne Spannung kein Strom fließt.

2.2.2.1 Lineare Widerstände

Die Darstellung des Ohm'schen Gesetzes als lineare Funktion ergibt die Widerstandskennlinie. Es werden auch die Bezeichnungen Widerstandsdiagramm oder Widerstandsgerade verwendet.

Der Steigungsfaktor $m \hat{=} \frac{1}{R}$ beschreibt die Steigung der Widerstandskennlinie, die somit ein Maß für die Größe des Widerstandswertes ist. Aus der Widerstandskennlinie nach Bild 2.2.2.1–1 wird für die Steigung das Verhältnis ΔU zu ΔI abgelesen. Für den Steigungsfaktor erhält man somit eine weitere Bestimmungsmöglichkeit. Es gilt:

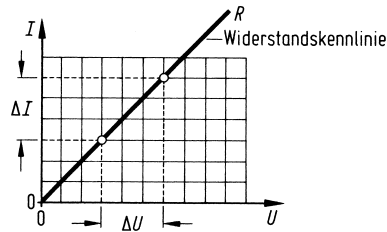


Bild 2.2.2.1–1 Widerstandskennlinie

Steigungsfaktor:

$$m \hat{=} \frac{1}{R} = \frac{\Delta I}{\Delta U} \quad (2.2.2.1-1)$$

Die Kehrwertbildung der gewonnenen Gleichung führt wieder zum Ohm'schen Gesetz und zeigt die Richtigkeit dieser Betrachtung.

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

Steigungsfaktor und Widerstandswert sind reziprok zueinander. Einem großen Steigungsfaktor steht ein kleiner Widerstandswert gegenüber und umgekehrt.

großer Steigungsfaktor $\Rightarrow$ kleiner Widerstandswert

Als Beispiel sind im Bild 2.2.2.1–2 einige Widerstandskennlinien dargestellt.

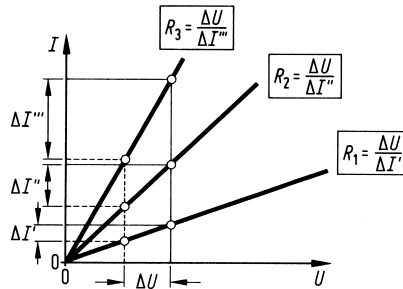


Bild 2.2.2.1–2 Widerstandskennlinien für verschiedene Widerstände

Aus den Spannungs- und Stromverhältnissen der gegebenen Widerstandskennlinien ergibt sich:

$$R_3 = \frac{\Delta U}{\Delta I'''} < R_2 = \frac{\Delta U}{\Delta I''} < R_1 = \frac{\Delta U}{\Delta I'}$$

Der Widerstand R_3 hat den kleinsten Wert, während R_1 den größten Wert aufweist.

Wird an einem Widerstand R eine bestimmte Spannung U angelegt, so fließt der mit Hilfe

des Ohm'schen Gesetzes berechenbare Strom I . Im Widerstandsdiagramm wird dieser Punkt als Arbeitspunkt (AP) bezeichnet. Jeder Punkt der Kennlinie kann Arbeitspunkt sein.

Bei den bisher vorgestellten Widerstandsdiagrammen handelt es sich um konstante oder lineare Widerstände. Alle Punkte der Kennlinie können mit dem Ohm'schen Gesetz berechnet werden. Die Steigung eines linearen Widerstandes ist an allen Stellen der Kennlinie gleich groß.

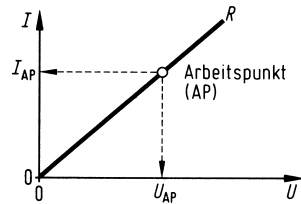


Bild 2.2.2.1 – 3
Widerstandskennlinie mit Arbeitspunkt

Beispiel 2.2.2.1 – 1

Gegeben sind die Widerstände $R_1 = 1 \Omega$; $R_2 = 0,5 \Omega$ und $R_3 = 10 \Omega$. Konstruieren Sie in einem Koordinatensystem die drei Kennlinien der Widerstände.

Der zu verwendende Spannungsbereich beträgt $0 \dots 10 \text{ V}$, der Strombereich $0 \dots 10 \text{ A}$.

Zur Berechnung des Kennlinienpunktes wird die Spannung gewählt:

Berechnung des Stromes zur gewählten Spannung:

Der berechnete Punkt der Widerstandsgeraden hat das Wertepaar:

Die Verbindung zwischen P_1 und dem Koordinatenursprung gibt die Widerstandskennlinie für R_1 .

Lösung:

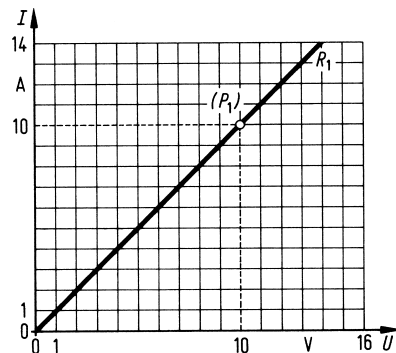
Zur Konstruktion einer linearen Ursprungsfunktion genügen 2 Punkte: Ein Punkt der Kennlinie und der Koordinatenursprung.

1. Widerstandsgerade für $R_1 = 1 \Omega$

$$U_{\text{gewählt}} = 10 \text{ V}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{1 \Omega} = \underline{\underline{10 \text{ A}}}$$

P_1 : (10 V/10 A)



2. Widerstandsgerade für $R_2 = 0,5 \Omega$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{0,5 \Omega} = \underline{\underline{20 \text{ A}}}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{5 \text{ V}}{0,5 \Omega} = \underline{\underline{10 \text{ A}}}$$

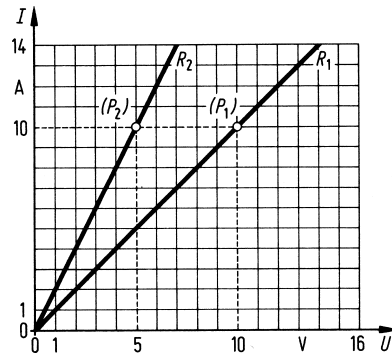
Für die Berechnung des Punktes auf der Kennlinie wird ebenfalls $U = 10 \text{ V}$ gewählt und damit wird der zugehörige Strom berechnet:

Der berechnete Strom ist größer als der vorgegebene Strombereich, somit ist eine kleinere Spannung zu wählen, z. B. $U = 5 \text{ V}$:

Der berechnete Punkt der Widerstandsgeraden liegt somit bei:

Die Eintragung ins Kennlinienfeld ergibt die Widerstandskennlinie für R_2 .

P_2 : (5 V/10 A)



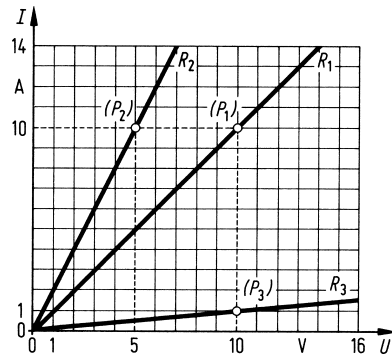
3. Widerstandsgerade für $R_3 = 10 \Omega$

Die Berechnung erfolgt analog der Kennlinien von R_1 und R_2 :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{10 \Omega} = \underline{\underline{1 \text{ A}}}$$

P_3 : (10 V/1 A)

Eintragung der Kennlinie für R_3 ins Kennlinienfeld ergibt die gesuchte Lösung:



Übung 2.2.2.1 – 1

Konstruieren Sie für 3 gegebene Widerstände die Widerstandsgeraden. Benutzen Sie dazu einen Spannungsbereich von $0 \dots 1 \text{ V}$. Der entsprechende Strombereich ist selbst zu wählen.
 $R_1 = 400 \Omega$, $R_2 = 800 \Omega$, $R_3 = 500 \Omega$.

Übung 2.2.2.1 – 2

Gegeben sei der Arbeitspunkt eines Widerstandes: AP: (1,5 V/3 mA). Berechnen Sie den sich daraus ergebenden Widerstandswert R . Konstruieren Sie aus diesen Angaben die Widerstandsgerade.

Lösung:

Lösung:

2.2.2.2 Nichtlineare Widerstände

Widerstände, die ihren Wert mit zunehmender Spannung ändern, werden als nichtlineare Widerstände bezeichnet.



Bild 2.2.2.2 – 1

Schaltzeichen eines nichtlinearen Widerstandes

Die Kennlinie eines nichtlinearen Widerstandes ist als Beispiel im Bild 2.2.2.2 – 2 dargestellt. In jedem möglichen Arbeitspunkt der Kennlinie ist dabei der Widerstandswert unterschiedlich, da die Steigung in allen Punkten verschieden ist.

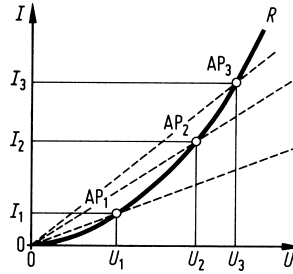
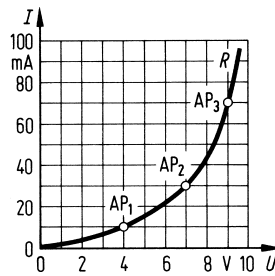


Bild 2.2.2.2 – 2 Arbeitspunkte auf einer nichtlinearen Widerstandskennlinie

Beispiel 2.2.2.2 – 1

Gegeben ist die Kennlinie eines nichtlinearen Widerstandes. Ermitteln Sie für die 3 gegebenen Arbeitspunkte die Widerstandswerte.



Lösung:

Aus der Kennlinie lassen sich die Wertepaare der Arbeitspunkte ablesen. Damit können die Widerstandswerte berechnet werden.

$$\begin{aligned} \text{AP}_1 : (4 \text{ V} / 10 \text{ mA}) &\Rightarrow R_1 = \frac{U}{I} \\ &= \frac{4 \text{ V}}{0,01 \text{ A}} \\ R_1 &= \underline{\underline{400 \, \Omega}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AP}_2 : (7 \text{ V} / 30 \text{ mA}) &\Rightarrow R_2 = \frac{7 \text{ V}}{0,03 \text{ A}} \\ R_2 &= \underline{\underline{233,3 \, \Omega}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AP}_3 : (9 \text{ V} / 70 \text{ mA}) &\Rightarrow R_3 = \frac{9 \text{ V}}{0,07 \text{ A}} \\ R_3 &= \underline{\underline{128,5 \, \Omega}} \end{aligned}$$