

2.1.4 Das ohmsche Gesetz (Ohm's law)

Fließt elektrischer Strom durch einen metallischen Leiterwerkstoff, so wandern frei bewegliche Elektronen zwischen den Atomrümpfen.

Die Atomrümpfe selbst sind nicht in Ruhe, sondern schwingen auch bei Raumtemperatur in verschiedenste Richtungen um ihre Ruhelage herum (ungeordnete Wärmebewegung). Dadurch werden die Elektronen in ihrer Bewegung behindert. Das Abbremsen der Elektronen durch die Rumpfatome und andere Elektronen vom Leiterwerkstoff ist eine Ursache für den elektrischen Widerstand. Elektronen geben dabei einen Teil ihrer Energie an das Metall ab, es kommt zu einer Erwärmung des Leiters.

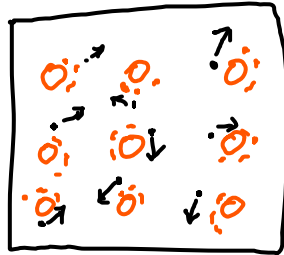


Abbildung 2.8: Elektronenbewegung im Leiter

Ein Leiterwerkstoff setzt dem Fließen des elektrischen Stromes einen Widerstand entgegen, der durch eine elektrische Spannung überwunden wird.

Merke: Der elektrische Widerstand hat das Formelzeichen R und die Einheit Ohm: $[R] = 1\Omega$ und ist benannt nach dem deutschen Physiker Georg Simon Ohm (1789-1854).

Ein Leiter mit niedrigem Widerstand leitet den elektrischen Strom gut. Er hat einen großen Leitwert. Ein großer Widerstand wiederum bedeutet einen geringen Leitwert.

Merke: Der elektrische Leitwert hat das Formelzeichen G und die Einheit Siemens: $[G] = 1S$ und ist benannt nach dem deutschen Ingenieur Werner von Siemens (1816-1892).

Widerstand

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

$$[R] = \frac{1}{S} = \Omega$$

Leitwert

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

$$[G] = \frac{1}{\Omega} = S$$

Doppelter Widerstand ergibt den halben Leitwert, dreifacher Widerstand ein Drittel des Leitwerts. Der Leitwert ist also der Kehrwert des Widerstands.

Beispiel: Berechnen Sie die zu den Widerstandswerten $R = 1\Omega, 2\Omega, 3\Omega, 4\Omega, 5\Omega, 6\Omega, 7\Omega, 8\Omega, 9\Omega, 10\Omega$ zugehörigen Leitwerte G . Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Leitwert und Widerstand graphisch dar.

Widerstand	Leitwert
1Ω	$1S$
2Ω	$0.5S$
3Ω	$0.\bar{3}S$
4Ω	$0.25S$
5Ω	$0.2S$

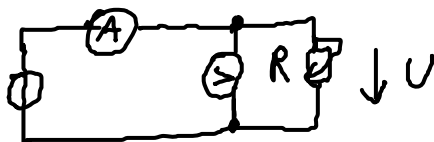
OneNote

$6\ \Omega$	0.165
$7\ \Omega$	0.1425
$8\ \Omega$	0.1255
$9\ \Omega$	0.115
$10\ \Omega$	0.115

Abbildung 2.9: Zusammenhang zwischen Leitwert und Widerstand

Versuch 1: Die Stromstärke ist bei gleichem Widerstand proportional zur Spannung, sie vergrößert sich also im gleichen Verhältnis, wie die Spannung anwächst: $I \sim U$.

$\sim d.p.$



$R = 4\ \Omega$

V	A
2	0.5
4	1.0
6	1.5
8	2.0
10	2.5

$U = 10V$

R	A
2	5.0
4	2.5
6	1.67
8	1.25
10	1.0

Abbildung 2.10: Messen von Strom und Spannung

Trägt man die im Versuch gemessenen Werte des Stromes abhängig von der zugehörigen Spannung in ein Schaubild ein, so erhält man durch Verbinden der Messpunkte eine Gerade. **Der Widerstand ist linear.** Ein größerer Widerstand hat eine Kennlinie mit geringerer Steigung.

One Note

Abbildung 2.11: Stromstärke als Funktion der Spannung

Merke: Die Stromstärke I ist proportional der Spannung U .

Versuch 2: Bei gleich bleibender Spannung verhält sich die Stromstärke umgekehrt zum Widerstand. Die Stromstärke ist also dem Widerstand umgekehrt proportional: $I \sim 1/R$. Das Schaubild zeigt die Abhängigkeit des Stromes vom Widerstand. Bei kleinerer Spannung fließen kleinere Ströme.

One Note
owo uuu

Abbildung 2.12: Stromstärke als Funktion des Widerstandes

Merke: Die Stromstärke I ist umgekehrt proportional dem Widerstand R .

Den Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand beschreibt das ohmsche Gesetz.

Ohmsches Gesetz

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

$$[I] \approx 1 \frac{V}{\Omega} = 1 A$$

Beispiel: Zeichnen Sie!

1. Die Stromstärke als Funktion der Spannung mit konstantem Widerstand $R=10 \Omega$ in das Schaubild (Bild 1).
2. Die Stromstärke als Funktion des Widerstandes mit konstanter Spannung $U=5 V$ in das Schaubild (Bild 2).

Beispiel: Berechnen Sie!

1. Welche Stromstärke fließt durch eine Glühlampe für 4,5 V, die im Betrieb einen Widerstand von $1,5 \Omega$ hat? (3 A)
2. Welche Spannung liegt an einem Widerstand von 500Ω , durch den 0,2 A fließen? (100 V)
3. Ein LötKolben nimmt an 24 V den Strom 0,8 A auf. Welchen Widerstand hat die Heizwicklung? (30 Ω)

2.1.5 Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit

Der Widerstand eines Leiters hängt vom Werkstoff ab. Der spezifische Widerstand ρ (griech. Kleinbuchstabe: rho) eines Werkstoffes kann auf einen Leiter mit 1 m Länge und 1 mm² Querschnittsfläche bei 20°C bezogen werden. Den Kehrwert des spezifischen Widerstands nennt man Leitfähigkeit γ (griech. Kleinbuchstabe: gamma).

Spezifischer Widerstand

$$\rho = \frac{1}{\gamma}$$

$$[\rho] = \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Leitfähigkeit

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

$$[\gamma] = \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

Gute Leiter, z.B. Kupfer, enthalten viele freie Elektronen und besitzen einen geringen spezifischen Widerstand sowie eine hohe Leitfähigkeit.

Merke: Der Leiterwiderstand R ist dem spezifischen Widerstand ρ und der Leiterlänge l proportional, jedoch umgekehrt proportional zur Leiterquerschnittsfläche.

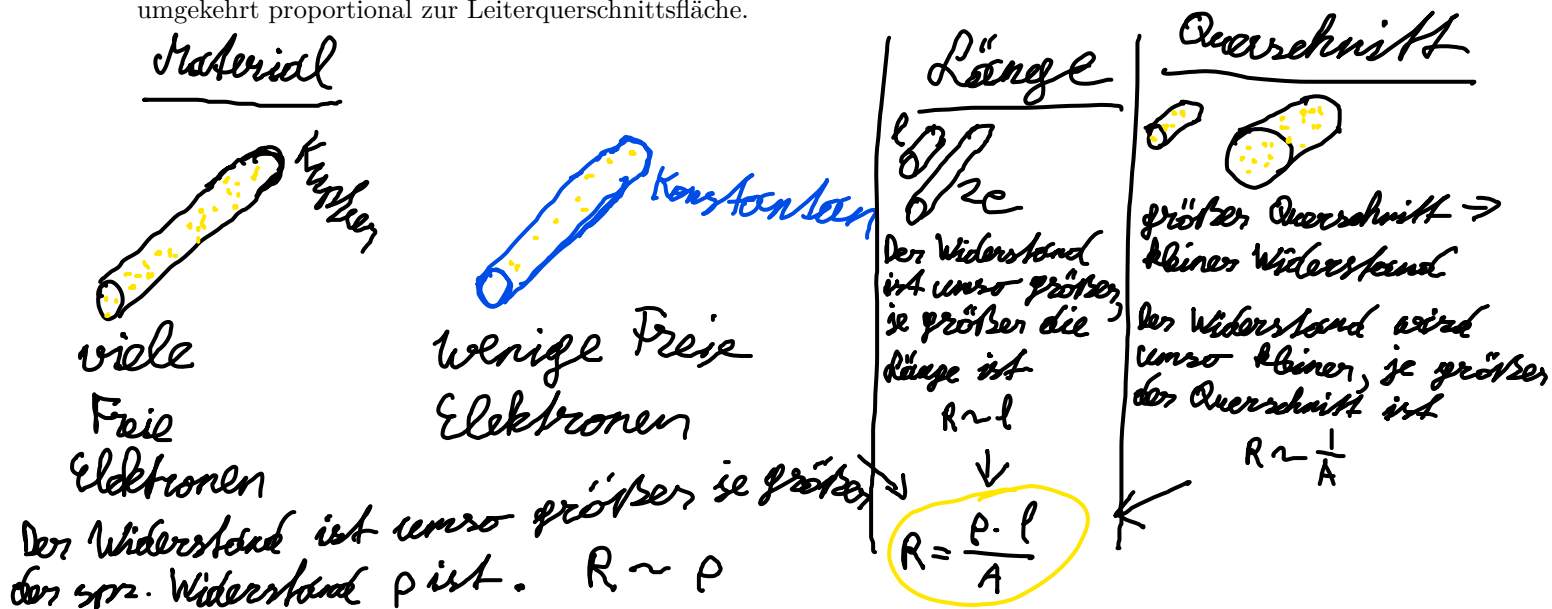


Abbildung 2.13: Leiterwiderstand

Beispiel: Berechnen Sie den Widerstand eines Kupferleiters mit $l=50$ m Länge und einem Querschnitt von $A=1,5$ mm². Hinweis: Spezifischer Widerstand vom verwendeten Kupfer: $\rho = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$. (0,59 Ω)

Aufgaben

- Der Draht für einen Vorwiderstand aus CuMn12Ni mit $\gamma = 2,3 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$ in einem Messgerät hat den Durchmesser 0,1 mm und ist 2 m lang.
 - Berechnen Sie den Widerstandswert des Vorwiderstandes. (110,7 Ω)
 - Wie lang müsste ein CuNi44-Draht ($\gamma = 2,01 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$) von 0,12 mm Durchmesser mit gleichem Widerstand sein? (2,52 m)
- Ein 1,5 km langer Leiter aus Kupferdraht ($\gamma = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$) hat einen Widerstand von 1,6 Ω . Berechnen Sie
 - den Durchmesser des Drahtes, (4,62 mm)
 - die Spannung, wenn ein Strom von $I=10$ A fließt? (16 V)

2.1.6 Die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes

Der Widerstand von Metallen nimmt bei Temperaturerhöhung meist zu. Der Widerstand von Kohle nimmt bei Temperaturerhöhung ab.

Merke: Stoffe, die in kaltem Zustand besser leiten, nennt man Kaltleiter. Stoffe, die in heißem Zustand besser leiten, nennt man Heißleiter.

Die Größe der Widerstandsänderung gibt man durch den Temperaturkoeffizient α an.

Merke: Der Temperaturkoeffizient α bestimmt, um wie viel Ohm der Widerstand von $1\ \Omega$ bei einer Temperaturänderung von $1\ \text{K}$ (Kelvin) größer oder kleiner wird. Kaltleiter haben einen positiven (PTC-Widerstand: Positive Temperature Coefficient), Heißleiter einen negativen (NTC-Widerstand: Negative Temperature Coefficient) Temperaturbeiwert.

Der Temperaturkoeffizient gilt in der Regel nur für eine bestimmte Bezugstemperatur.