

Die I07-Elektronik-AG

Kapitel 2: Das Ohmsche Gesetz

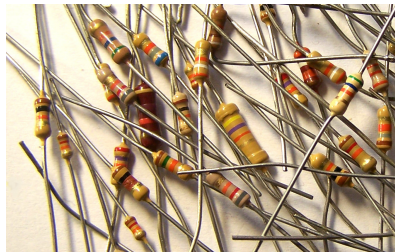
Lars-Chr. Schulze, DC0BM Ulrich Biester, DK7AU

Version 1.0

Das Ohmsche Gesetz

Was ist ein Widerstand I

- Ein Widerstand ist ein Bauteil, welches dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegensetzt und ihn dadurch begrenzt.
- Man kann ihn mit einem teilweise aufgedrehten Wasserhahn vergleichen.
- Der elektrische Widerstand ist eine Eigenschaft der Materie.
- Jeder Stoff setzt dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegen, der sog. *Spezifische Widerstand*.
- Ein Stoff hat entweder einen hohen (Isolator) oder einen relativ niedrigen (Leiter, meist Metalle) spezifischen Widerstand.
- Dazwischen gibt es dann noch die *Halbleiter*. Dazu kommen wir später.



Das Ohmsche Gesetz

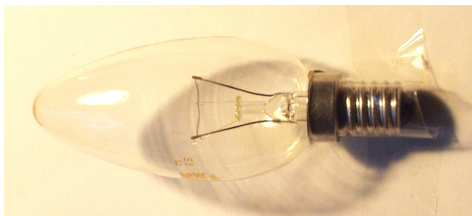
Was ist ein Widerstand II

- Es wurde ja bereits gesagt, dass sich die Elektronen im Atomgitter eines Metalls relativ frei bewegen können.
- Allerdings müssen sich die Elektronen zwischen den Atomen „hindurchdrängeln“.
- Dies ist vergleichbar mit einem gut gefüllten Jahrmarkt.
- Will man von einem Karussell zum anderen, muss man sich zwischen den anderen Besuchern hindurchdrängeln.
- Das dauert und wird umso schwieriger, je voller der Jahrmarkt ist.
- Gut besuchter Jahrmarkt \Rightarrow erhöhter Widerstand.
- Hinzu kommt der Einfluss der Temperatur:
 - Praktisch alle Eigenschaften der Materie, so auch der spezifische Widerstand, sind von der Temperatur abhängig.
 - Speziell der Widerstand steigt im Normalfall mit der Temperatur an.
 - Durch den fließenden Strom erhöht sich außerdem die Temperatur des Materials („Reibung“).

Das Ohmsche Gesetz

Was ist ein Widerstand III

- Ein Beispiel ist die gute alte Glühbirne. In kaltem (ausgeschalteten) Zustand hat der Glühdraht einen relativ geringen Widerstand.



Auf der roten Liste: Die letzte ihrer Art ☺.

- Erst, wenn der Strom durch den Draht fließt, erhitzt sich dieser, beginnt zu glühen und der Widerstand steigt.
- In kaltem Zustand stellen Glühbirnen praktisch einen Kurzschluss dar, bei dem ein *sehr hoher* Strom fließt.
- Daher brennen (brannten ☺) 90 % aller Glühbirnen beim Einschalten durch.

Das Ohmsche Gesetz

Wie sieht ein Widerstand aus I

- Ein Widerstand ist ein Bauteil mit einem zylinderförmigen Körper und einem Drahtanschluss an jedem Ende.
- Auf einem Keramikröhrchen, welches als Träger dient, wird eine *Kohle-* oder *Metallschicht* aufgedampft.



- Die Dicke dieser Schicht bestimmt dann den Widerstandswert.
- Früher wurde der genaue Widerstandswert dadurch abgeglichen, dass anschließend eine Wendel in die Kohleschicht gefräßt wurde.

Das Ohmsche Gesetz

Wie sieht ein Widerstand aus II

- Diese Bauform wird aber nur für spezielle Anwendungen verwendet, weil durch das Fräsen der Wendel eine sog. *Parasitäre Induktivität*¹ entsteht, die man nicht haben will.

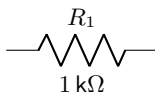
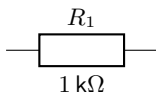


¹Was das ist, kommt später noch ☺.

Das Ohmsche Gesetz

Das Schaltsymbol eines Widerstandes

- Das Schaltsymbol eines Widerstands sieht folgendermaßen aus:



- Ein rechteckiges Kästchen symbolisiert den Widerstandskörper, die beiden Striche symbolisieren die Anschlussdrähte.
- Im englischsprachigen Raum findet man oft eine Variante des Schaltsymbols in Form einer Zick-Zack-Linie.
- Dazu wird eine Bauteilnummerierung angegeben, hier R_1 .
 - R steht für *Resistor* (engl: Widerstand).
 - Die tiefgestellte 1 ist eine fortlaufende Nummer, die jedes Bauteil erhält.
- Der Bauteilwert ist hier mit $1\text{ k}\Omega$ angegeben.
Wie dieser Wert einzuordnen ist, werden wir in Kürze sehen.
- Der Wert von Widerständen wird in der Einheit *Ohm*, Einheitszeichen Ω , angegeben. Ω ist der griechische Buchstabe Omega.
- Benannt ist die Einheit nach dem deutschen Physiker *Georg Simon Ohm* [4].

Das Ohmsche Gesetz

Einheitenvorsätze

- Bei dem Schaltsymbol ist der Wert des Widerstands mit $1\text{ k}\Omega$ angegeben worden.
- Das k ist ein sog. *Einheitenvorsatz* und steht für *kilo*, was 1000 bedeutet, genau wie in *Kilometer* ($1\text{ km} = 1000\text{ m}$) oder *Kilogramm* ($1\text{ kg} = 1000\text{ g}$).
- Folgende Einheitenvorsätze sind im Zusammenhang mit Widerständen gebräuchlich:

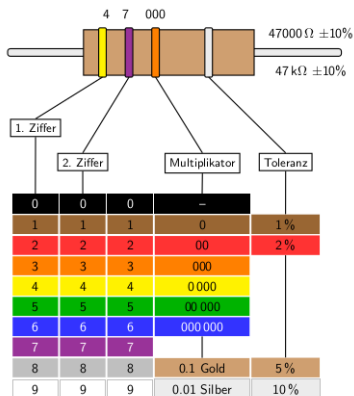
Name	Abkürzung	Faktor
milli	m	$1 / 1\,000$
kilo	k	1 000
mega	M	1 000 000

- $1\text{ M}\Omega$ wird gesprochen: *Megohm*.
- Später werden wir noch ein paar andere Einheitenvorsätze kennenlernen.
- Eine vollständige Übersicht aller Einheitenvorsätze finden Ihr z. B. auf Wikipedia [5].

Das Ohmsche Gesetz

Kennzeichnung der Widerstandswerte I

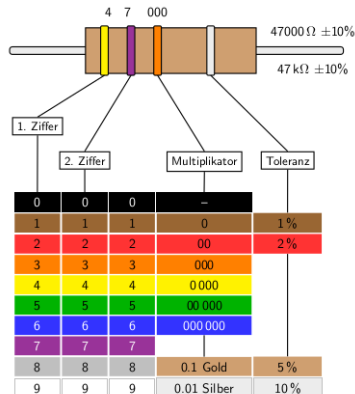
- Bei den hier verwendeten Widerständen ist der Wert in Form von farbigen Ringen angegeben, die auf den Widerstandskörper aufgemalt sind.
- Wie diese Farben gelesen werden müssen, ist international standardisiert.
- Wie die nebenstehende Tabelle zeigt, steht jede Farbe für eine Zahl.
- Einer der Ringe ist (meist) etwas näher zum Rand hin aufgemalt. Hier beginnt man mit dem Lesen.
- Der erste Ring steht für die erste Zahl, also gelb = 4.
- Der zweite Ring steht für die zweite Zahl, also violett = 7.



Das Ohmsche Gesetz

Kennzeichnung der Widerstandswerte II

- Der dritte Ring steht für die Zahl der anzuhängenden Nullen, also:
orange = 3 Nullen.
- Das bedeutet, der Widerstand hat einen Wert von $4\ 7\ 000 = 47000\ \Omega = 47\ \text{k}\Omega$
- Der vierte Ring ist meist gold- oder silberfarben.
- Dieser Ring gibt die *Toleranz*, also die Abweichung des tatsächlichen Widerstandswertes vom aufgedruckten Wert an.
- **Kein** Bauteil hat exakt den angegebenen Wert. Toleranzen von 10% (silber) oder 5% (gold) sind üblich.
- D. h., der tatsächliche Wert eines Widerstand von $100\ \Omega$ mit einer Toleranz von 10% kann im Bereich von $90\ \Omega$ bis $110\ \Omega$ liegen !



Übung: Heiteres Widerstandsdaten !

Sucht Euch dazu aus dem Haufen von Widerständen vor Euch eine Handvoll Widerstände heraus und bestimmt deren Werte anhand des Farbcodes.

Nehmt Euch dazu ein Blatt Papier, notiert die Farben und die Widerstandswerte dazu.

Zur Kontrolle messt Ihr dann die Werte mit dem Messgerät nach.

Das Ohmsche Gesetz

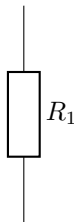
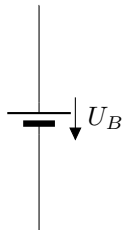
Toleranzen und Widerstandsreihen

- Aufgrund der Toleranzen macht es keinen Sinn, Widerstandswerte von z. B. $99\ \Omega$, $100\ \Omega$, $101\ \Omega$, $102\ \Omega$, etc. zu produzieren.
- Es sind statt dessen eine Reihe von Standardwerten so festgelegt worden, dass sich ihre Toleranzbereiche überlappen. Dies sind
10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68 und 82.
- Dies ist die sog. *E12-Reihe*, weil es 12 Werte pro Zehnerpotenz² gibt. Sie gilt für Widerstände mit 10% Toleranz, mit denen wir es hier meist zu tun haben werden.
- Für Widerstände mit einer Toleranz von 5% gibt es die *E24-Reihe* mit 24 Werten pro Zehnerpotenz.
- Für die modernen Metallfilm-Widerstände mit einer Toleranz von 1% gibt die *E96-Reihe*. Bei diesen Widerständen ist der Wert mittels fünf Ringen angegeben.
- Die ersten *drei* Ringe stehen dann für Zahlen, und der vierte steht für den Multiplikator.

²Eine Zehnerpotenz ist der Zahlenbereich von 1 bis 10 oder 10 bis 100 oder auch von 100 bis 1000.

Das Ohmsche Gesetz

Unser erster Schaltplan I



- Wir haben unsere Stromquelle (Batterie, Netzgerät) und den Widerstand.
- Die beiden Schaltsymbole kennen wir ja schon.
- Der Pfeil über der Stromquelle U_B symbolisiert die Spannung.
- Der Pfeil zeigt immer von plus nach minus (technische Stromrichtung!).

Das Ohmsche Gesetz

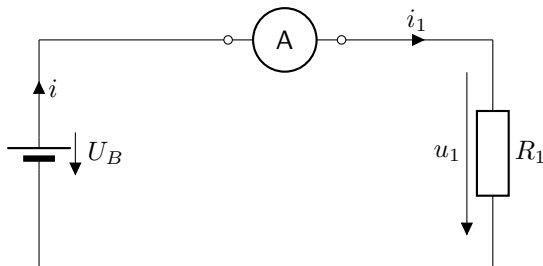
Unser erster Schaltplan II



- Wenn wir die beiden Bauelemente jetzt mit einem Draht verbinden, wird dieser Draht als Linie dargestellt.
- Der kleine Pfeil auf der Linie, beschriftet mit i , kennzeichnet den Strom, der in der Leitung fließt.
- Der Pfeil u_1 über dem Widerstand symbolisiert die Spannung, welche an dem Widerstand anliegt.
- **Wichtig: Der Stromkreis muss immer geschlossen sein.**

Das Ohmsche Gesetz

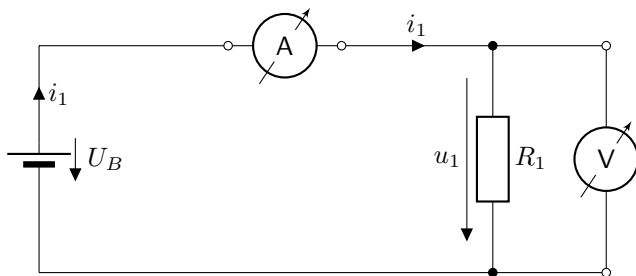
Unser erster Schaltplan III



- Wenn wir den Strom messen wollen, müssen wir das Messgerät in die Leitung „einschleifen“. D. h., dass die Leitung dafür aufgetrennt werden muß.
- Messungen von Strömen sind daher immer mit einem gewissen Aufwand verbunden.
- Der Strom i_1 , welcher durch das Messgerät und den Widerstand fließt, muss naturgemäß gleich dem Strom i sein, welcher aus der Stromquelle kommt.
- Die beiden kleinen Kreise symbolisieren die Auftrennung der Leitung.

Das Ohmsche Gesetz

Unser erster Schaltplan IV

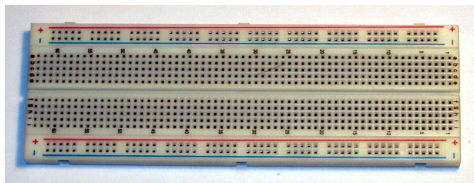


- Jetzt wollen wir aber auch noch die Spannung über dem Widerstand messen.
- Dafür müssen wir den Spannungsmesser parallel zum Widerstand schalten.
- Die beiden kleinen Kreise symbolisieren wieder den Anschluß der Messkabel.

Damit ist unser erster Schaltplan fertig. Wir bauen die Schaltung jetzt auf dem Steckbrett auf.

Das Ohmsche Gesetz

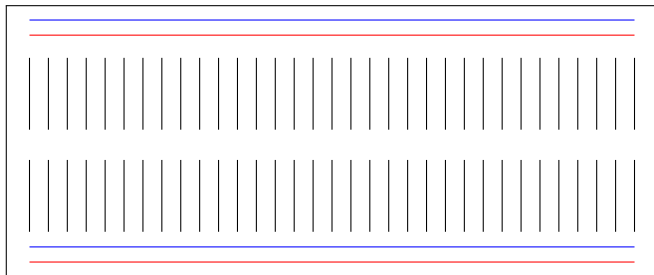
Das Steckbrett I



- Ein Steckbrett ist eine sehr einfache Möglichkeit, eine Testschaltung aufzubauen, ohne löten zu müssen.
- Hinter den vielen kleinen Löchern verbergen sich Klammern, in die die Bauteile gesteckt werden können.
- Diese Klammern stellen senkrechte und waagrechte Verbindungen dar.
- Oben und unten befinden sich auf dem Steckbrett jeweils zwei durchgehende Klammerleisten.
- Diese Leisten sind für die Spannungsversorgung gedacht, so dass die Betriebsspannung auf der ganzen Länge des Steckbretts zur Verfügung steht.

Das Ohmsche Gesetz

Das Steckbrett II



- In der Skizze sind die Verbindungen nochmal schematisch dargestellt.
- Bitte beachten:
 - Keine Bauteile mit Gewalt in die Klammern drücken. Zu dicke Anschlussdrähte können die Klammern beschädigen.
 - Bauteile mit „flachen“ Anschlüssen, wie z. B. Schalter, Taster oder Potentiometer halten oft nicht gut in diesen Steckbrettern.
 - Diese Bauteile werden wir daher über Drähte anschließen.

Experiment: Messung des Ohmschen Gesetzes

Wir bauen jetzt die Schaltung, so wie sie auf den vorhergehenden Folien beschrieben wurde, auf dem Steckbrett auf.

Für die Widerstandswerte $1\text{ k}\Omega$, $3.3\text{ k}\Omega$, $4.7\text{ k}\Omega$ und $10\text{ k}\Omega$ messen wir den Strom bei unterschiedlichen Spannungen.

Mit dem Netzgerät stellen wir die Spannungen 3 V , 5 V , 9 V und 12 V ein. Ihr messt den dazugehörigen Strom und tragt das Ergebnis in das Messprotokoll und in das Diagramm ein.

Welche Zusammenhänge könnt Ihr aus den Messwerten und dem Diagramm erkennen?

Das Ohmsche Gesetz

Messung des Ohmschen Gesetzes II

Aus den Messergebnissen geht hervor:

- Je höher die Spannung ist, desto höher ist der Strom.
- Je größer der Widerstand ist, desto geringer ist der Strom.
- Daraus ergibt sich: $I = U : R$
- In Wissenschaft und Technik verwendet man diese Schreibweise allerdings nicht, sondern man verwendet die *Bruchschreibweise*.

Das sieht dann so aus:

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

- Der Bruchstrich bedeutet genau wie der Doppelpunkt „geteilt durch“.
- In der Bruchschreibweise lassen sich kompliziertere Gleichungen (die wir hier aber nicht haben) deutlich einfacher berechnen.

Das Ohmsche Gesetz

Messung des Ohmschen Gesetzes III

- Wenn man Gleichung (1) umstellt ergibt sich daraus die Basisform des Ohmschen Gesetzes:

Das Ohmsche Gesetz

$$U = R \cdot I$$

- Das Ohmsche Gesetz ist eines der wichtigsten Gesetze der Elektrotechnik.
- Man kann es sich auch einfach merken:

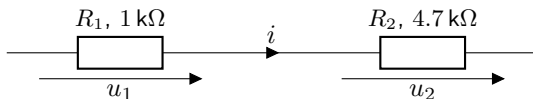
$$U = R \cdot I \quad \Rightarrow \quad URI \quad \Rightarrow \quad \text{Uri,}$$

wie der gleichnamige Schweizer Kanton.

Das Ohmsche Gesetz

Serienschaltung von Widerständen

- Bei einer Serienschaltung von Widerständen werden, wie schon der Name sagt, zwei Widerstände hintereinander geschaltet.



- Der Gesamtwiderstand der Serienschaltung errechnet sich aus der Addition der Einzelwiderstände:

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

- Der Strom durch beide Widerstände ist logischerweise identisch.

Experiment: Messung der Serienschaltung von Widerständen

Sucht Euch aus dem Sortiment von Widerständen eine Handvoll aus, schaltet diese auf dem Steckbrett in Reihe, bestimmt den Gesamtwiderstand mit dem Multimeter und notiert die Ergebnisse.

Ihr könnt auch drei oder mehr Widerstände hintereinander schalten.

Das Ohmsche Gesetz

Anwendungsfälle der Serienschaltung

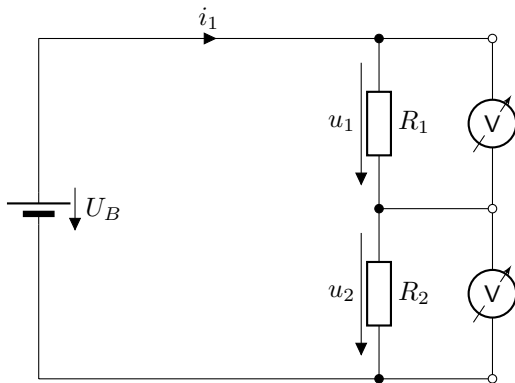
- Eine Serienschaltung wird verwendet, wenn
 - man einen bestimmten Widerstandswert benötigt, welcher nicht erhältlich oder nicht vorhanden ist,
 - die Verlustleistung auf mehrere Widerstände verteilt werden soll oder muss oder
 - man einen **Spannungsteiler** benötigt.

Was ist denn das nun wieder ???

Das Ohmsche Gesetz

Der Spannungsteiler

- Wir hatten ja gesagt, dass bei einer Serienschaltung von Widerständen durch alle Widerstände der gleiche Strom fließt.
- Aber was ist mit den Spannungen ?



Experiment: Messungen am Spannungsteiler

Sucht Euch aus dem Sortiment von Widerständen mehrere Widerstände Eurer Wahl heraus, schaltet jeweils zwei davon auf dem Steckbrett in Reihe und messt die Spannungen. Berechnet dann jeweils das Verhältnis von Widerständen und Spannungen. Es gelten aber folgende Randbedingungen:

- Beginnen werden wir mit $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$
- Keine Widerstände kleiner als 470Ω wählen.
- Für jede Widerstandskombination machen wir drei Messungen mit den Spannungen 5 V , 9 V und 12 V .

Das Ohmsche Gesetz

Spannungsteiler: Ergebnisse

Was haben wir nun über den Spannungsteiler herausgefunden:

- 1 Die Summe der Einzelspannungen über den Widerständen R_1 und R_2 ist gleich der Batteriespannung. Es gilt also:

$$U_B = u_1 + u_2$$

- 2 Die Teilspannungen verhalten sich zueinander wie die Widerstände. Es gilt also:

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

und zwar **unabhängig** von der Batteriespannung.

Das Ohmsche Gesetz

Das Potentiometer I

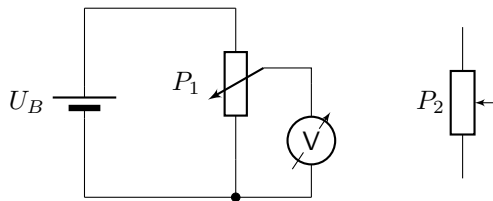
- Wir haben gesehen, dass sich mit einem Spannungsteiler Spannungen einstellen lassen.
- Wenn man jetzt Spannungen kontinuierlich verändern will, ist es natürlich unpraktisch, wenn man dauernd Widerstände austauschen oder umschalten muss.
- Aber auch für dieses Problem gibt es eine Lösung, das *Potentiometer*.
- Bei diesem Bauteil hat die Kohleschicht die Form eines $\frac{3}{4}$ -Kreises, liegt offen, und man kann mit einem Schleifer beliebig an ihr entlang fahren.
- Meist wird die Ausführung mit einem Schleifer auf einer Kohleschicht verwendet.
- Es gibt aber auch Ausführungen mit Widerstandsdraht für höhere Leistungen.



Das Ohmsche Gesetz

Das Potentiometer II

- Über den Verlauf der Kohleschicht wird die Spannung kontinuierlich geringer und fällt von der Betriebsspannung U_B bis auf 0V ab.



- In der kleinen Beispielschaltung seht Ihr das Schaltsymbol für ein Potentiometer.
- Der Pfeil soll andeuten, dass sich der Schleifer frei über die Oberfläche der Kohleschicht bewegen kann.
- Es gibt auch die Darstellungsweise mit dem Pfeil an der Seite, was eigentlich die bessere Darstellung ist.

Das Ohmsche Gesetz

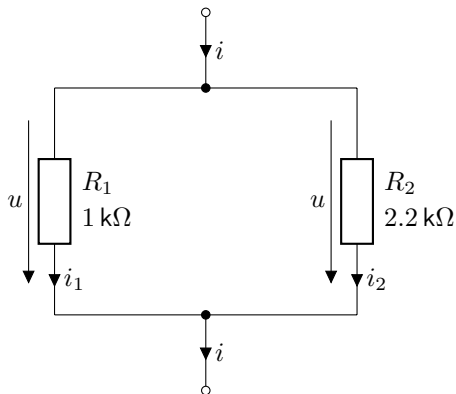
Das Potentiometer III

- Potentiometer gibt es auch in gestreckter Form. Das sind dann die Schieberegler.
- Potentiometer findet man überall dort, wo etwas eingestellt werden soll oder muss, z. B. die Lautstärke eines Radios.
- Wir machen auch noch Experimente mit Potentiometern, wollen das aber auf das nächste Kapitel verschieben.

Das Ohmsche Gesetz

Parallelschaltung von Widerständen

- Wir hatten ja schon die Serienschaltung von Widerständen untersucht.
- Es ist aber auch möglich, Widerstände **parallel** zu schalten.
- Betrachtet dazu folgende Schaltung:



Das Ohmsche Gesetz

Experiment: Messung der Parallelschaltung von Widerständen

Experiment: Messung der Parallelschaltung von Widerständen

Sucht Euch aus dem Sortiment von Widerständen eine Handvoll aus, schaltet diese auf dem Steckbrett parallel und bestimmt mit dem Multimeter den Gesamtwiderstand.

Notiert die Ergebnisse in einem Meßprotokoll.

Zur Vereinfachung solltet Ihr wieder mit zwei gleichen Widerständen von $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ beginnen.

Ihr könnt auch auch 3 oder 4 Widerstände parallel schalten.

Das Ohmsche Gesetz

Parallelschaltung von Widerständen – Das Ergebnis

Was haben wir jetzt bei der Parallelschaltung von Widerständen festgestellt ?

- Bei einer Parallelschaltung von Widerständen *verringert* sich der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung.
- Der **Gesamtwiderstand** ist auf jeden Fall **kleiner** als der **kleinste** an der Parallelschaltung beteiligte **Widerstand**.
- Dies läßt sich auch wieder mit Wasserrohren vergleichen.
- Durch zwei oder mehr Rohre parallel fließt auf jeden Fall insgesamt mehr Wasser als durch jedes einzelne Rohr.
- Ein höherer Strom bedeutet nach dem Ohmschen Gesetz einen geringeren Widerstand.
- Wie aber wird der Wert einer Parallelschaltung berechnet ?

Das Ohmsche Gesetz

Parallelschaltung von Widerständen – Der Leitwert

Ein paar Worte müssen noch zum sog. **Leitwert** gesagt werden.

- Der Leitwert ist der Kehrwert des Widerstands.
- Das Formelzeichen des Leitwerts ist G , die Einheit ist *Siemens*.
- Es gilt also:

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

- Ein Widerstand von 1Ω hat somit einen Leitwert von 1 S .
- Ein Widerstand von 100Ω hat somit einen Leitwert von 0.01 S .
- Der Leitwert wird in Schaltplänen normalerweise nicht verwendet.
- Er vereinfacht aber einige Berechnungen.

Das Ohmsche Gesetz

Parallelschaltung von Widerständen – Die Berechnung I

- Wenn wir Widerstände parallel schalten, schalten wir damit ja auch Leitwerte parallel.
- Analog zur Addition der Wassermengen aus mehreren Rohren addieren sich die Ströme und damit die Leitwerte.
- Es gilt also bei zwei Widerständen in Parallelschaltung:

$$G_{ges} = G_1 + G_2 \quad (2)$$

- Da ja aber nun gilt $G = \frac{1}{R}$ können wir einsetzen und erhalten:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (3)$$

- Die Gleichungen (2) und (3) lassen sich einfach erweitern für die Parallelschaltung beliebig vieler Widerstände. Es gilt dann z. B.:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (4)$$

Das Ohmsche Gesetz

Parallelschaltung von Widerständen – Die Berechnung II

- Wenn wir jetzt nur zwei Widerstände haben, kann man Gleichung (3) umstellen und erhält

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

- Hieraus sieht man aber auch, dass sich der Gesamtwiderstandswert bei der Parallelschaltung zweier *gleicher* Widerstände halbiert. Setzt man in Gleichung (5) $R_1 = R_2 = R$, so erhält man

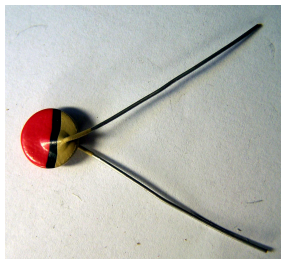
$$R_{ges} = \frac{R \cdot R}{R + R} = \frac{R^2}{2R} = \frac{R}{2}$$

- Daher solltet Ihr die Messreihe auch mit zwei gleichen Widerständen beginnen 😊.

Das Ohmsche Gesetz

Spezielle Arten von Widerständen – Der PTC

- Es war ja schon gesagt worden, dass sich der Widerstand mit der Temperatur erhöht.
 - Normalerweise ist dieser Effekt unerwünscht.
 - Wenn man jetzt jedoch z. B. ein elektronisches Thermometer bauen will, benötigt man ein Bauteil, welches besonders stark auf Temperaturänderungen reagiert.
-
- Dieses Bauteil ist der **PTC**.
 - PTC steht dabei für **P**ositive **T**emperature **C**oefficient (englische Schreibweise).
 - Das soll andeuten, dass sich der Widerstand besonders stark mit der Temperatur erhöht.



Das Ohmsche Gesetz

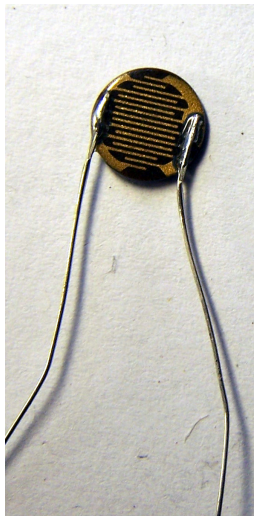
Spezielle Arten von Widerständen – NTC, Dehnungsmessstreifen

- Der **NTC** ist das Gegenstück zum PTC.
 - NTC steht für **Negative Temperature Coefficient**.
 - Das bedeutet, dass sich der Wert des Widerstands mit steigender Temperatur *verringert*.
 - Auch der NTC wird für Temperaturmessungen eingesetzt.
-
- **Dehnungsmessstreifen** sind folienartige Widerstände.
 - Diese verändern ihren Widerstand, wenn man sie in die Länge zieht.
 - Dehnungsmessstreifen werden z. B. in elektronischen Waagen oder zur Überwachung von Bauwerken verwendet.

Das Ohmsche Gesetz

Spezielle Arten von Widerständen – Der LDR

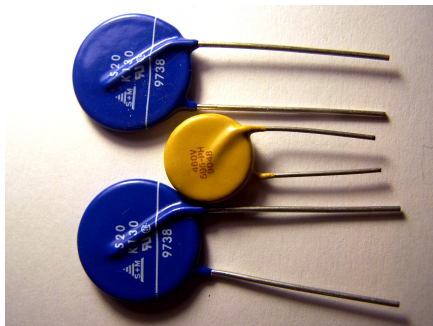
- Der **LDR** ist ein lichtabhängiger Widerstand.
- Je mehr Licht auf das Bauteil fällt, desto geringer ist sein Widerstand.
- LDR steht für **L**ight **D**ependent **R**esistor.
- Verwendet werden LDRs z. B. in Dämmerungsschaltern und Belichtungsmessern.



Das Ohmsche Gesetz

Spezielle Arten von Widerständen – Der VDR

- Der **VDR** ist ein spannungsabhängiger Widerstand.
- Ab einer bestimmten Spannung wird dieses Bauteil plötzlich sehr niederohmig.
- VDR steht für **V**oltage **D**ependent **R**esistor.
- VDRs werden verwendet, um Spannungsspitzen zu unterdrücken und dadurch andere Bauteile zu schützen.



Das Ohmsche Gesetz

Referenzen

- [1] Der Deutsche Amateur-Radio-Club e.V.: www.darc.de
- [2] Die Webseite des OV I07: www.amateurfunk-leer.de
- [3] Verband der Funkamateure in Telekommunikation und Post e.V. (früher: Vereinigung der Funkamateure der Deutschen Bundespost): www.vfdb.org, z31.vfdb.org
- [4] Wikipedia: Georg Simon Ohm, https://de.wikipedia.org/wiki/Georg_Simon_Ohm
- [5] Wikipedia: Einheitenvorsätze, https://de.wikipedia.org/wiki/Vors%C3%A4tze_f%C3%BCr_Ma%C3%9Fseinheiten
- [6] Wikipedia: Innerer Aufbau eines Widerstands.
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20%DA%86.png>.
Verwendung gem. [7].
- [7] creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de

© Alle Rechte beim DARC OV I07 bzw. den Autoren. Für Ausbildungs- und Lehrzwecke frei verwendbar.
Die gewerbliche oder kommerzielle Nutzung bedarf der schriftlichen Genehmigung.

Nicht referenzierte Bilder von DJ1FC oder vom Author.

Version 1.0, Oktober 2025. Dokument erstellt mit L^AT_EX unter Verwendung der Pakete TikZ, CircuiTikZ und Beamer.