

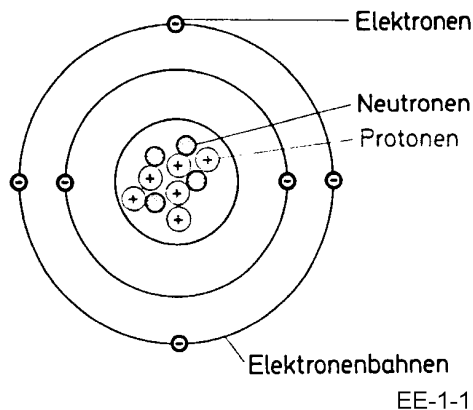
Grundlagen der Elektrik

1. Atomaufbau	2
2. Elektrische Leitfähigkeit	4
3. Elektrische Spannung	5
4. Elektrischer Strom	7
5. Elektrischer Widerstand	11
6. Ohmsches Gesetz	14
7. Grundsaltungen	17
8. Elektrische Leistung	21

1. Atomaufbau

Das Wesen der Elektrizität lässt sich aus dem Aufbau der Atome erklären. Zerlegt man einen Körper (z. Bsp. aus Kupfer) in immer kleinere Teile, so erhält man am Ende das Atom.

Das Atom ist ein unvorstellbares kleines Masseteilchen.



Atomkern : - Protonen : elektrisch positiv geladene Teilchen
- Neutronen : elektrisch neutrale Elementarteilchen

Elektronen : - elektrisch negativ geladene Elementarteilchen

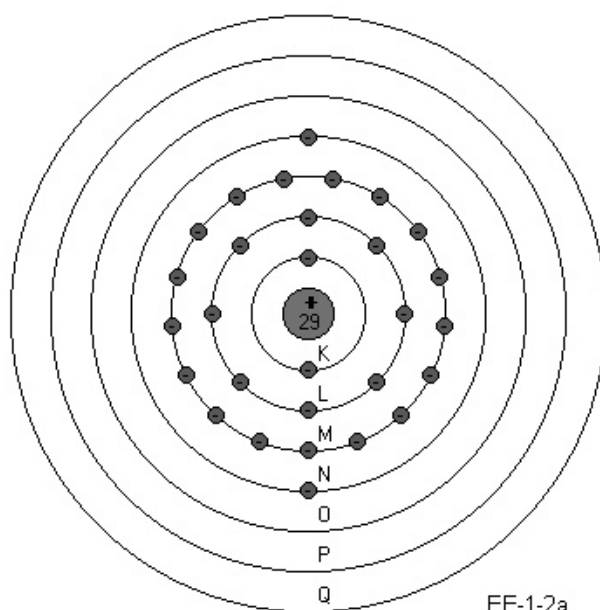
Im Atomkern befinden sich die Protonen und Neutronen. Die Elektronen bewegen sich um den Atomkern.

Die kleinste in der Natur vorkommende elektrische Ladung ist die Elementarladung. Jedes Elektron ist Träger einer Elementarladung und diese ist negativ. Betrachtet man die Atome der verschiedenen Elemente (z. Bsp. Kupfer, Eisen, Aluminium usw.), so unterscheiden sich diese in der Anzahl der Ladungsträger.

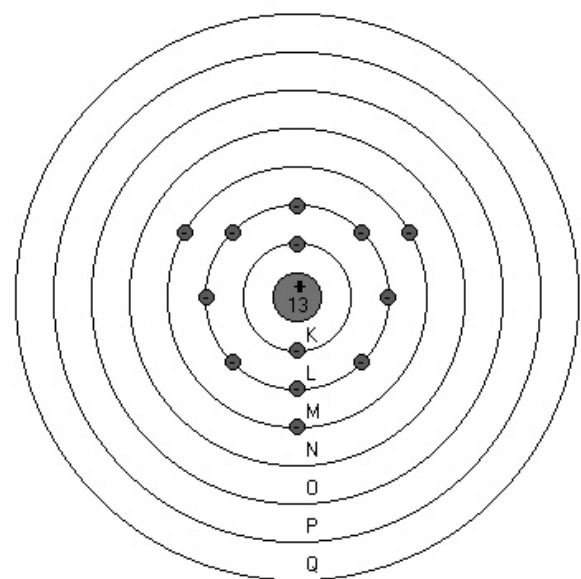
Bsp.:

Kupfer
(29 Ladungsträger)

Aluminium
(13 Ladungsträger)



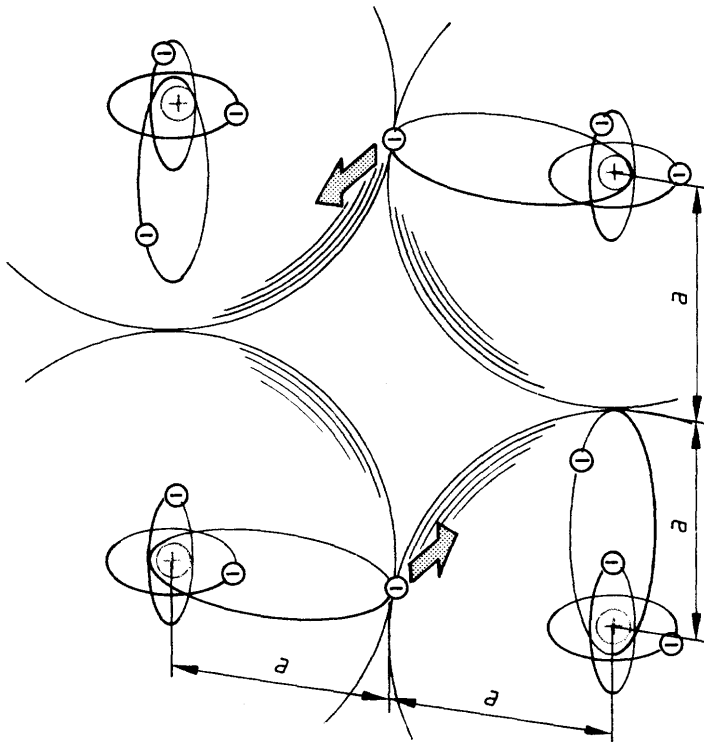
EE-1-2a



EE-1-2b

Diese Ladungsträger bewegen sich mit einem unterschiedlichem Abstand um den Atomkern. Durch die Anziehungskraft zwischen dem Atomkern und den Elektronen, bleiben die Elektronen an den jeweiligen Atomkern gebunden. Die Anziehungskraft nimmt mit dem Abstand der Elektronen vom Atomkern ab.

Betrachtet man nun in Metallen die dicht gepackten Atome, kann es in diesem Atomverbund dazu kommen, dass ein Elektron auf der äußeren Schale den gleichen Abstand zum benachbarten Atomkern aufweist. Ist dies der Fall, kommt es zur Aufhebung der Anziehungskräfte und das Elektron kann sich frei bewegen. Diese Wechselwirkung findet im Atomverbund ständig statt.



EE-1-3

Entstehen freier Elektronen im Metall

Wird eine Spannungsquelle angeschlossen, bewegen sich die freien Elektronen in eine Richtung. Dies bezeichnet man als Stromfluss.

2. Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist eine stoffabhängige Größe und resultiert aus der Anzahl der freien Elektronen eines Stoffes.

Man unterscheidet :

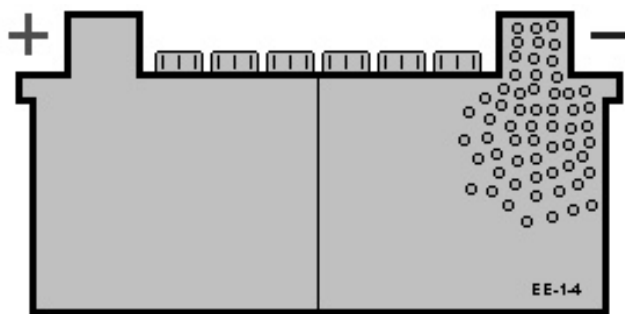
- ⌚ Elektrische Leiter** : Diese Stoffe besitzen viele freie Elektronen. Der elektrische Strom (Elektronenstrom) in einem metallischen Leiter besteht in der gerichteten Bewegung der freien Elektronen des Leiterwerkstoffes (z. Bsp. Kupfer, Aluminium, Silber, Gold).
- ⌚ Halbleiter** : Halbleiter sind Stoffe, bei denen erst durch äußere Einflüsse Elektronen frei werden und dadurch die Leitfähigkeit eintritt. (z. Bsp. Silizium, Selen, Germanium)
- ⌚ Nichtleiter** : Stoffe, die nur wenige und an die einzelnen Moleküle gebundene Ladungsträger besitzen. (z. Bsp. Papier, Öl, reines Wasser)

3. Elektrische Spannung

Eine elektrische Spannung entsteht durch das Trennen von elektrischen Ladungen. Bei einer Spannungsquelle, z. Bsp. in einer Batterie oder einem Generator, werden elektrische Ladungen unter Energieaufwand voneinander getrennt.

Die Energie zur Ladungstrennung stammt aus :

- ⇒ chemischer Energie bei der Batterie und
- ⇒ mechanischer Energie beim Generator.



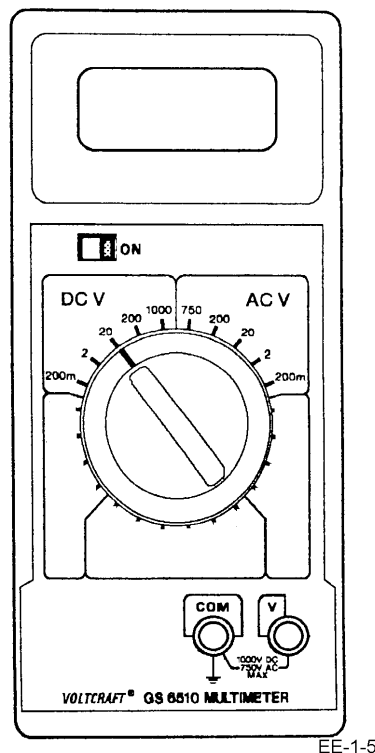
Eine Klemme der Spannungsquelle erhält Elektronenüberschuss (negativer Pol), die andere Elektronenmangel (positiver Pol).

3.1 Messen der elektrischen Spannung

Die elektrische Spannung wird mit einem Spannungsmesser (Voltmeter) gemessen.

In der Abbildung 1 wurden alle Punkte vom Multimeter entfernt, die nicht für die Spannungsmessung benötigt werden.

Abbildung 1 Voltmeter



Spannungsmesser werden zum Messobjekt parallel geschaltet.

Der Spannungsmesser zeigt nur dann eine Spannung an, wenn ein Strom durch ihn hindurch fließt. Diesen bezeichnet man als Messstrom und er sollte sehr klein gehalten werden (konstruktive Auslegung vom Messgerät), damit der Stromkreis nicht zu hoch belastet wird.

Die Einheit für die Spannung ist Volt.¹

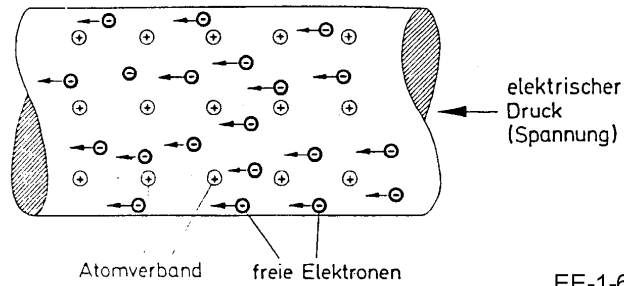
Die gemessene Spannung entspricht dem Ladungsunterschied zwischen zwei Messpunkten eines Stromkreises und wird auch als Potentialdifferenz bezeichnet.

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Einheitenkurzzeichen
Spannung	U	Volt	V

¹ nach Alessandro Volta, ital. Physiker, 1745 bis 1827

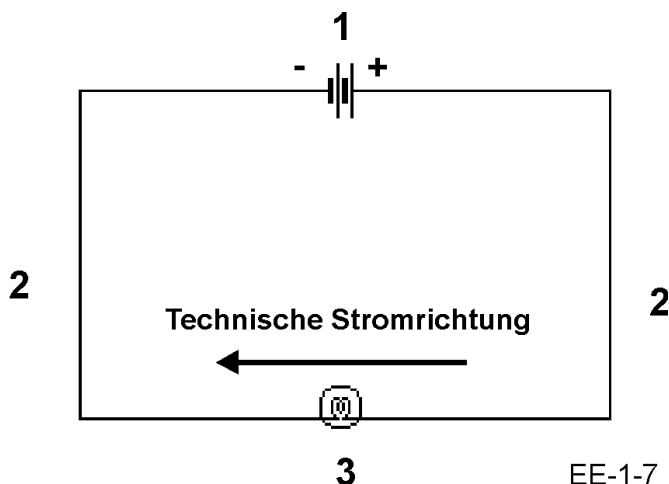
4. Elektrischer Strom

In Metallen besteht der elektrische Strom aus der gerichteten Bewegung der freien Elektronen.



EE-1-6

Ein elektrischer Strom fließt nur in einem geschlossenen Stromkreis.



Ein **Stromkreis** besteht mindestens aus:

1. Spannungsquelle
2. Verbindungsleitungen
3. Verbraucher

EE-1-7

Die Elektrizitätslehre hat sich in ihren Anfängen damit begnügt, dass es positive und negative Ladungen gibt. Aus dieser Zeit stammt auch die Festlegung von Plus- und Minuspol. Genaue Kenntnisse über die Vorgänge im elektrischen Leiter waren noch nicht vorhanden.

An der einmal festgelegten Stromflussrichtung wurde, auch nach der Erkenntnis der tatsächlichen Stromflussrichtung, festgehalten. So existieren heute die Begriffe: physikalische und technische Stromflussrichtung.

Physikalische Stromrichtung : Die Elektronen bewegen sich vom Minuspol zum Pluspol.

Technische Stromrichtung : Der Strom fließt vom Pluspol zum Minuspol.

Umgangssprachlich wird die technische Stromflussrichtung verwendet. Bei der Funktionserklärung von Bauteilen (Bsp. Dioden, Transistoren) ist die physikalische Stromflussrichtung zu verwenden.

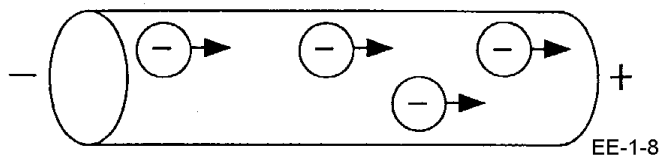
4.1 Stromarten

4.1.1 Gleichstrom

Gleichstrom $\Rightarrow$ DC (Direct Current), Darstellung auf Messgeräten –

Voraussetzung ist hier eine Gleichspannungsquelle. Die Spannung kann einen konstanten Wert haben (Konstantspannung) oder pulsieren (Grenzwert ist 0 V).

- Elektronen bewegen sich in eine Richtung

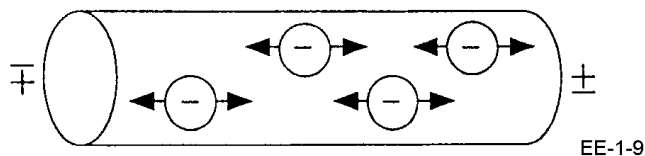


4.1.2 Wechselstrom

Wechselstrom $\Rightarrow$ AC (Alternating Current), Darstellung auf Messgeräten ~

Voraussetzung ist hier eine Wechselfeldspannungsquelle. Die Spannung wechselt zwischen Minus- und Pluswert.

- Elektronen bewegen sich in beide Richtungen

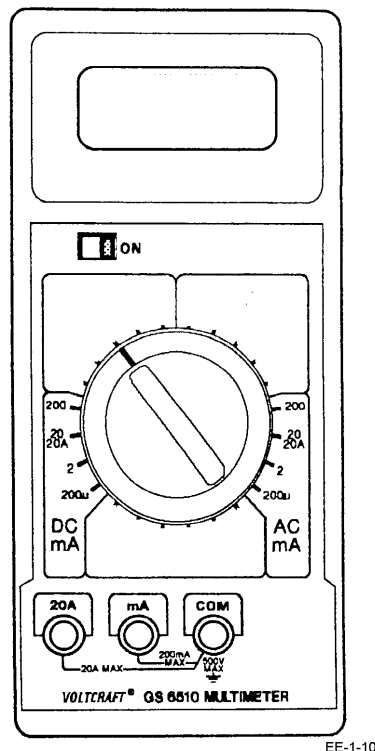


4.2 Messen der elektrischen Stromstärke

Zum Messen der elektrischen Stromstärke verwendet man einen Strommesser bzw. ein Amperemeter.

In der Abbildung des Multimeters wurden alle Punkte entfernt, die nicht für die Strommessung benötigt werden.

Abbildung 2 Amperemeter



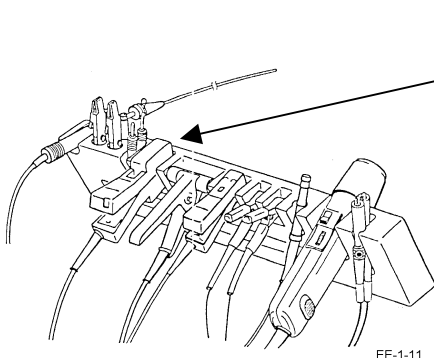
EE-1-10

Bei der Strommessung wird das Amperemeter in Reihe geschaltet. Da das Amperemeter in den Stromkreis geschaltet wird, muss der Widerstand des Messgeräts sehr klein gehalten werden. Der gesamte Strom fließt durch das Messgerät. Hier muss auf den maximalen Messstrom für das Amperemeter geachtet werden. Übersteigt der Strom den zulässigen Wert für das Messgerät, so kann dies zerstört werden.

Die Einheit für den Strom ist Ampere.²

² André Marie Ampère, französischer Physiker, 1775 bis 1836

Eine weitere Möglichkeit zur Strommessung bieten z. Bsp. Motortester. Bei diesen kann mit einer Stromzange meist ein viel größerer Strom gemessen werden. Diese eignen sich z. Bsp. zum Messen von Anlasserstrom, Ladestrom, Vorglühanlagenstrom usw..



EE-1-11

Eine Strommessung kann auch über eine Stromzange (z. Bsp. am Motortester) erfolgen.

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Einheitenkurzzeichen
Strom	I	Ampere	A

Die Stromstärke ist eine wichtige Größe bei der Bemessung von Leiterquerschnitten. Ein elektrischer Leiter erwärmt sich um so stärker, je größer die Stromdichte ist. Sollen nachträglich elektrische Geräte im Fahrzeug installiert werden, so muss der Kabelquerschnitt für die Anschlussleitungen ermittelt werden. Beispiele finden Sie in der Tabelle 1.

Tabelle 1

Elektrische Kupferleitungen für Kraftfahrzeuge Einadrig, unverzinkt, PVC-isoliert. Zulässige Betriebstemperatur 70°C. ²⁾							
Nennleiterquerschnitt	Ungefähre Anzahl der Einzeldrähte ¹⁾	Maximaler Widerstand je Meter ¹⁾ bei +20°C	Maximaler Leiterdurchmesser ¹⁾	Nennwanddicke der Isolation ¹⁾	Maximaler Leitungs-Außen-durchmesser ¹⁾	Zulässiger Dauerstrom (Richtwert) ²⁾ bei Umgebungstemperatur	
mm ²		m Ω/m	mm	mm	mm	+30°C	bei +50°C
1	32	18,5	1,5	0,6	2,7	19	13,5
1,5	30	12,7	1,8	0,6	3,0	24	17,0
2,5	50	7,60	2,2	0,7	3,6	32	22,7
4	56	4,71	2,8	0,8	4,4	42	29,8
6	84	3,14	3,4	0,8	5,0	54	38,3
10	80	1,82	4,5	1,0	6,5	73	51,8
16	126	1,16	6,3	1,0	8,3	98	69,6
25	196	0,743	7,8	1,3	10,4	129	91,6
35	276	0,527	9,0	1,3	11,6	158	112
50	396	0,368	10,5	1,5	13,5	198	140
70	360	0,259	12,5	1,5	15,5	245	174
95	475	0,196	14,8	1,6	18,0	292	207
120	608	0,153	16,5	1,6	19,7	344	244

¹⁾ Nach DIN ISO 6722, Teil 3.

²⁾ Nach DIN VDE 0298, Teil 4.

EE-1-12

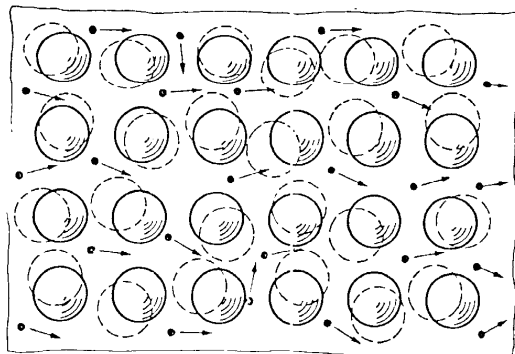
Hinweis:

Beachten Sie für die Durchführung von Spannungs- und auch Strommessungen unbedingt die Hinweise im Kapitel 3 (Multimeter).

5. Elektrischer Widerstand

5.1 Allgemein

Stromfluss ist die gerichtete Bewegung der freien Elektronen (z. Bsp. durch einen metallischen Leiter). Die Elektronen bewegen sich dabei zwischen den Atomen hindurch. Diese Atome sind nicht in Ruhestellung, sondern schwingen auch bei normaler Temperatur in allen Richtungen um ihre Ruhelage (ungeordnete Wärmebewegung). Dadurch werden die freien Elektronen in ihrer Bewegung behindert. Es vergeht somit mehr Zeit bis die Elektronen eine bestimmte Wegstrecke bewältigt haben. Diese Behinderung der Elektronenwanderung bezeichnet man als **elektrischen Widerstand**. Jeder Leiter setzt dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegen, der durch Spannung überwunden werden muss. Dieser elektrische Widerstand ist eine stoffabhängige Größe und wird mit dem Wert „**spezifischer elektrischer Widerstand**“ zum Ausdruck gebracht. Der spezifische elektrische Widerstand ist der Kehrwert der elektrischen Leitfähigkeit.

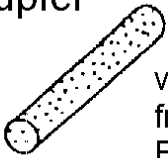
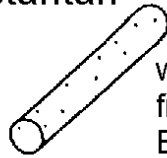
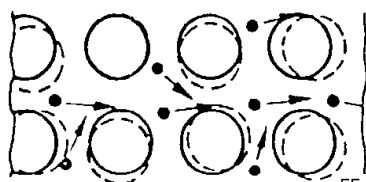
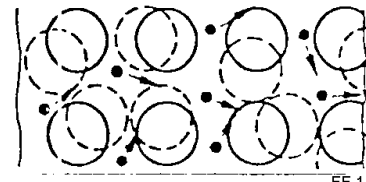
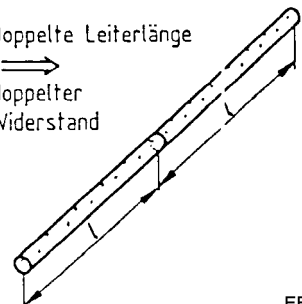
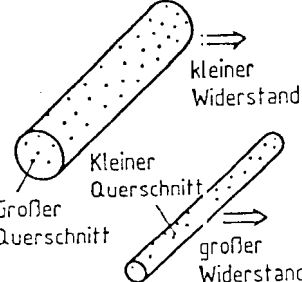


EE-1-13

Der elektrische Widerstand ist die Behinderung der Elektronenwanderung durch den Gitteraufbau des Leiters.

Der elektrische Widerstand ist keine konstante Größe, sondern steht in Abhängigkeit zu verschiedenen Faktoren.

z. B.

Faktoren	
- Anzahl der freien Elektronen	Kupfer  viele freie Elektronen EE-1-14 Kleiner Widerstand Konstantan  wenige freie Elektronen EE-1-15 Großer Widerstand
- Temperatur	niedrige Metalle  EE-1-16 Kleiner Widerstand hohe  EE-1-17 Großer Widerstand
- Leiterlänge	Doppelte Leiterlänge ⇒ doppelter Widerstand  EE-1-18
- Leiterquerschnitt	 kleiner Widerstand Kleiner Querschnitt Großer Querschnitt großer Widerstand EE-1-19

5.2 Der elektrische Widerstand als Bauteil

Das Bauteil Widerstand gibt es in verschiedenen Ausführungen :

- z. Bsp.:
- Festwiderstände
 - veränderbare Widerstände

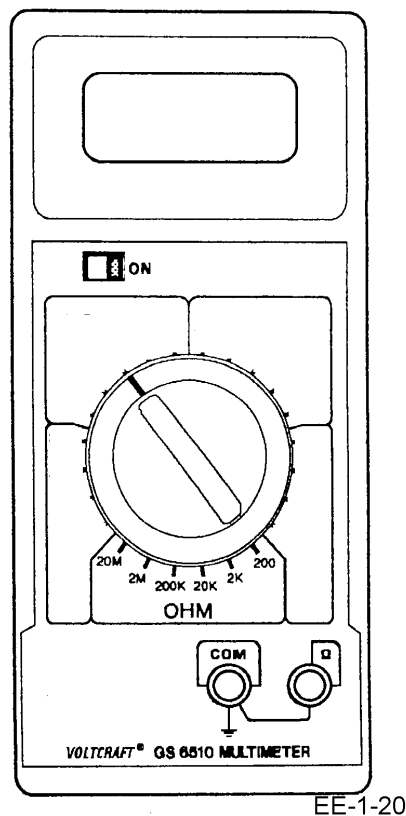
Weitere Ausführungen zu diesem Thema finden Sie im Kapitel 5 Bauteile.

5.3 Messen des Widerstandes

Der Widerstand wird mit dem Ohmmeter gemessen.

In der Abbildung 3 wurden alle Punkte vom Multimeter entfernt die nicht für die Widerstandsmessung benötigt werden.

Abbildung 3 Ohmmeter



EE-1-20

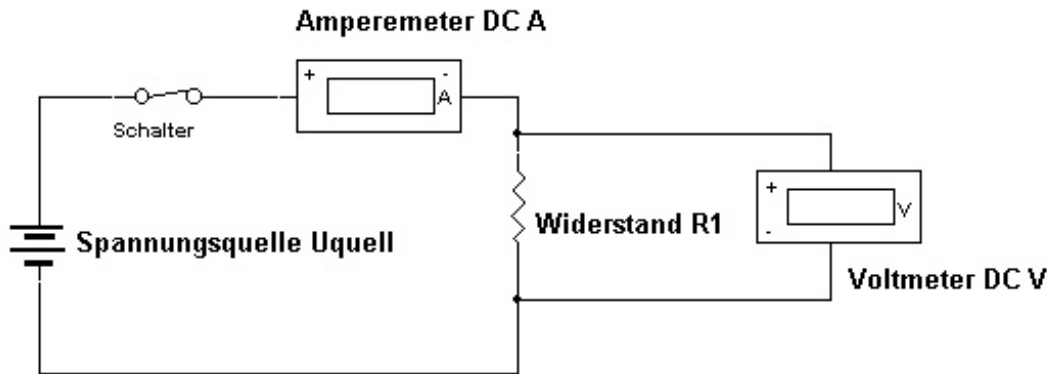
Die zu messende Leitung bzw. Bauteil muss vom Stromkreis getrennt und an das Ohmmeter angeschlossen werden!

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Einheiten-kurzzeichen
Widerstand	R	Ohm ³	Ω

³ nach Georg Simon Ohm, deutscher Physiker, 1787 bis 1854

6. Ohmsches Gesetz

Abbildung 4



EE-1-21

Die nächste Tabelle bezieht sich auf die Abbildung 4.

Die in der Tabelle grau hinterlegten Spalten sind die Größen, die in der obigen Schaltung vorgegeben sind bzw. eingestellt werden. Die anderen Spalten sind die Messwerte die sich am Amperemeter ergeben. Die Spannung DCV ist der gemessene Spannungsabfall (siehe auch Seite 17) am Widerstand. Dieser ist gleich der Höhe der Spannung an der Spannungsquelle. Der Grund hierfür ist, dass nur ein Widerstand („Verbraucher“), bei Vernachlässigung der Widerstände von den Leitungen, in der Schaltung vorhanden ist.

In der Messreihe 1 ist die Spannungsquelle konstant bei 12 V, der Widerstand in der Schaltung wird verändert und der Strom wird gemessen. Bei der Messreihe 2 bleibt der Widerstand konstant, die Spannungsquelle wird verändert und der Strom wird gemessen. Über diese Messergebnisse sollen Sie die Zusammenhänge zwischen Spannung, Strom und Widerstand erkennen.

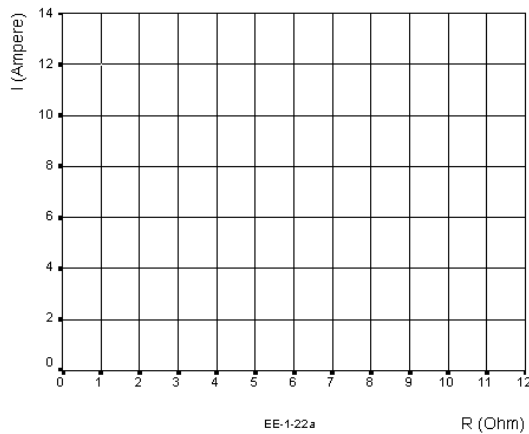
Tabelle 2

Messreihe 1			Messreihe 2		
Spannung DCV (Volt)	Strom DCA (Ampere)	Widerstand (Ohm)	Spannung DCV (Volt)	Strom DCA (Ampere)	Widerstand (Ohm)
12	12	1	1	0,167	6
12	4	3	3	0,5	6
12	3	4	4	0,667	6
12	2	6	6	1	6
12	1	12	12	2	6

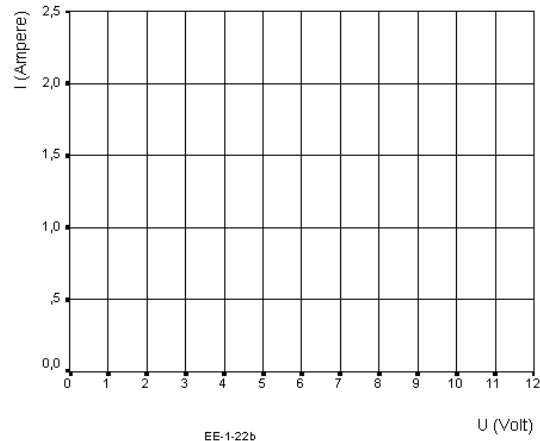
Führt man mit der Schaltung in der Abbildung 4 die Messreihen aus der Tabelle 2 durch, kann man die nachstehenden Zusammenhänge zwischen Spannung, Strom und Widerstand erkennen.

Tragen Sie bitte die Ergebnisse der Messreihen 1 und 2 in die nachstehenden Diagramme ein und verbinden Sie die Punkte zu einer Linie!
Betrachten Sie die Graphiken zusammen mit der Schlussfolgerung!

Messreihe 1



Messreihe 2



Schlussfolgerung:

Verringert oder vergrößert man den Widerstand bei konstanter Spannung, so verhält sich der Strom umgekehrt proportional. Lässt man den Widerstand konstant und verändert die Spannung, so verhält sich der Strom proportional zur Spannung.

Mathematisch kann der Zusammenhang zwischen den drei Größen wie folgt ausgedrückt werden:

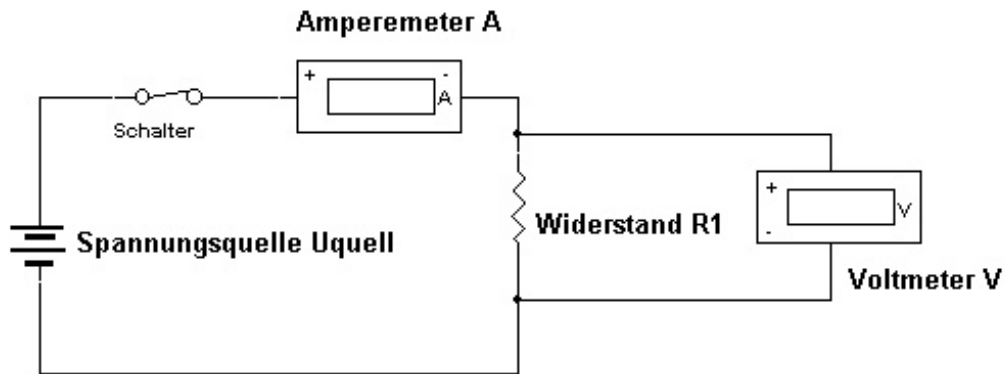
$$R = \frac{U}{I} \quad I = \frac{U}{R} \quad U = R \times I$$

Mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes lassen sich die drei Grundgrößen in einem Stromkreis bestimmen, wenn jeweils zwei Größen bekannt sind.

Den Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand nennt man das Ohmsche Gesetz, nach seinem Entdecker Georg Simon Ohm.

Übung 1:

Aufgabenstellung: In der nachfolgenden Abbildung sehen Sie einen einfachen Stromkreis mit einem Volt- und Amperemeter. Unter der Abbildung ist eine Tabelle, in der Sie bitte die fehlenden Werte ergänzen!



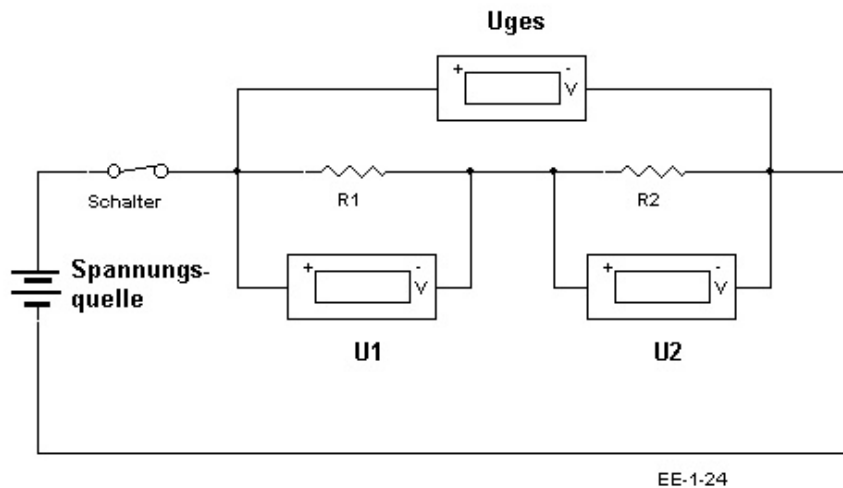
EE-1-23

Aufgabe: Ohmsches Gesetz				
Messreihe	1	2	3	
U _{ges}	5 V	10 V		?
Widerstand R1	1 Ω		30 Ω	?
Voltmeter V				?
Amperemeter A		5 A	6 A	?

7. Grundsaltungen

7.1 Reihenschaltung - Spannung

Abbildung 5



Die nächste Tabelle bezieht sich auf die Abbildung 5.

Die grau hinterlegten Spalten sind die vorgegebenen Werte. Der gemessene Gesamtspannungsabfall (U_{ges}) entspricht der zur Verfügung stehenden Gesamtspannung von der Batterie (Spannungsquelle). Daraus ergibt sich schon eine Schlussfolgerung: Addiert man die gemessenen Einzelspannungsabfälle, so muss die Summe gleich der Gesamtspannung sein.

In den Messreihen 1 bis 4 wird der Widerstand R_2 verändert. Mit den Voltmetern werden die Spannungsabfälle U_1 und U_2 gemessen. Die 4. Messreihe vervollständigen Sie bitte selbst.

Tabelle 3

Reihenschaltung von Widerständen				
Messreihe	1	2	3	4
$R_1 (\Omega)$	1	1	1	1
$R_2 (\Omega)$	1	2	3	5
$U_{ges} (V)$	12	12	12	12
$U_1 (V)$	6	4	3	
$U_2 (V)$	6	8	9	

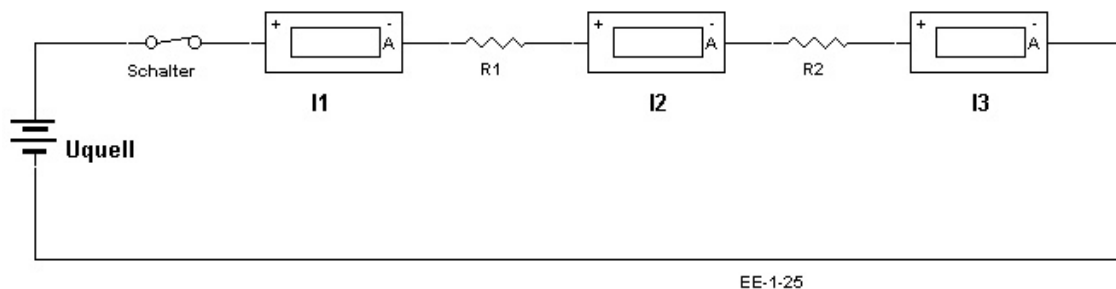
Schlussfolgerung:

An den in Reihe geschalteten Widerständen entstehen Spannungsabfälle, wenn der Stromkreis geschlossen ist. Unter Spannungsabfall ist die Spannungsdifferenz zwischen dem Messpunkt vor und nach dem Widerstand zu verstehen. Die Höhe der Spannungsabfälle ist von dem Verhältnis der Widerstände zueinander und der Gesamtspannung abhängig.

$$U_{ges} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

7.2 Reihenschaltung – Strom

Abbildung 6



Die nächste Tabelle bezieht sich auf die Abbildung 6.

Die grau hinterlegten Spalten sind die vorgegebenen Werte. Genau wie in der vorangegangenen Übung wird der Widerstand R_2 verändert, wobei hier als Messwert der Strom von Interesse ist. Ergänzen Sie bitte die Messreihe 4 und die Werte für R_{ges} und U_{Quelle} !

Tabelle 4

Reihenschaltung von Widerständen				
Messreihe	1	2	3	4
R ₁ (Ω)	1	1	1	1
R ₂ (Ω)	1	2	3	5
R _{ges} (Ω)				
U _{quell} (V)				12
I ₁ (A)	6	4	3	
I ₂ (A)	6	4	3	
I ₃ (A)	6	4	3	

Schlussfolgerung:

In einer Reihenschaltung fließt überall der gleiche Strom.

$$I_{\text{ges}} = I_1 = I_2 = I_3$$

Die Höhe des Gesamtstroms ist von dem Gesamtwiderstand abhängig.

Der Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung ist:

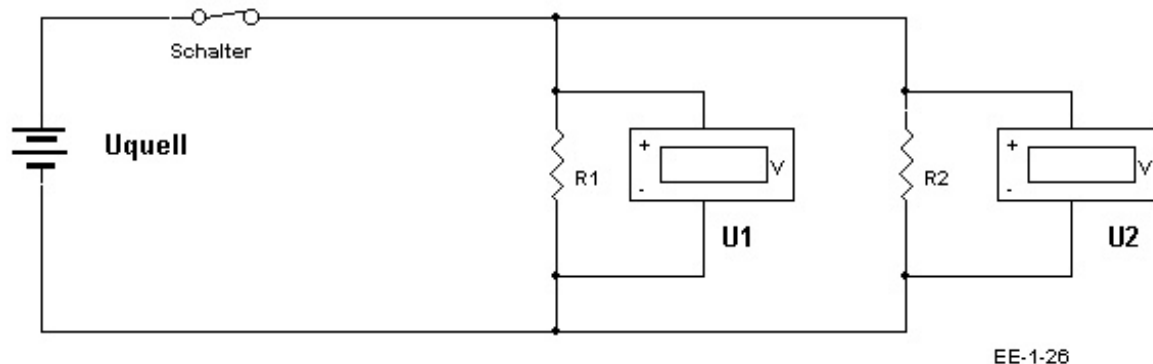
$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Es gilt:

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}}$$

7.3 Parallelschaltung - Spannung

Abbildung 7



Die nachfolgende Tabelle bezieht sich auf die Abbildung 7.

Die grau hinterlegten Spalten sind die vorgegebenen Werte. Auch hier wird der Widerstand R_2 verändert. Aus den Messergebnissen kann man den Einfluss auf die gemessenen Spannungsabfälle erkennen. Bitte ergänzen Sie die Messwerte der Reihe 4!

Tabelle 5

Messreihe: Parallelschaltung von Widerständen				
Messreihe	1	2	3	4
$R_1 (\Omega)$	1	1	1	1
$R_2 (\Omega)$	1	2	3	4
$U_{\text{quell}} (V)$	12	12	12	12
$U_1 (V)$	12	12	12	
$U_2 (V)$	12	12	12	

?

?

Schlussfolgerung:

An parallel geschalteten Widerständen liegt dieselbe Spannung an.

$$U_{\text{ges}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

Diese Schaltungsart wird als Grundschaltung in der Kraftfahrzeugtechnik verwendet.

7.4 Parallelschaltung - Strom

Abbildung 8

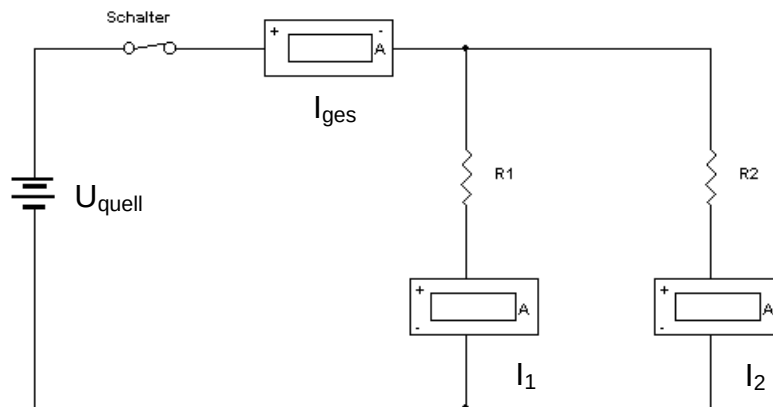


Tabelle 6 zur Abbildung 8

Die grau hinterlegten Spalten sind die vorgegebenen Werte. Bei dieser Übung soll der Einfluss der Widerstandsänderung R_2 auf die Teilströme I_1 und I_2 sowie auf I_{ges} untersucht werden. Die Messreihe 4 und R_{ges} bzw. U_{quell} ist wieder zu ergänzen.

Messreihe: Parallelschaltung von Widerständen					
Messreihe	1	2	3	4	
R ₁ (Ω)	1	1	1	1	
R ₂ (Ω)	1	2	3	4	
R _{ges} (Ω)					?
U _{quell} (V)					?
I _{ges} (A)	24	18	16	15	
I ₁ (A)	12	12	12		?
I ₂ (A)	12	6	4		?

Schlussfolgerung:

Der Gesamtstrom ist gleich der Summe der Teilströme.

$$I_{ges} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Der Gesamtwiderstand einer Parallelschaltung ist:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

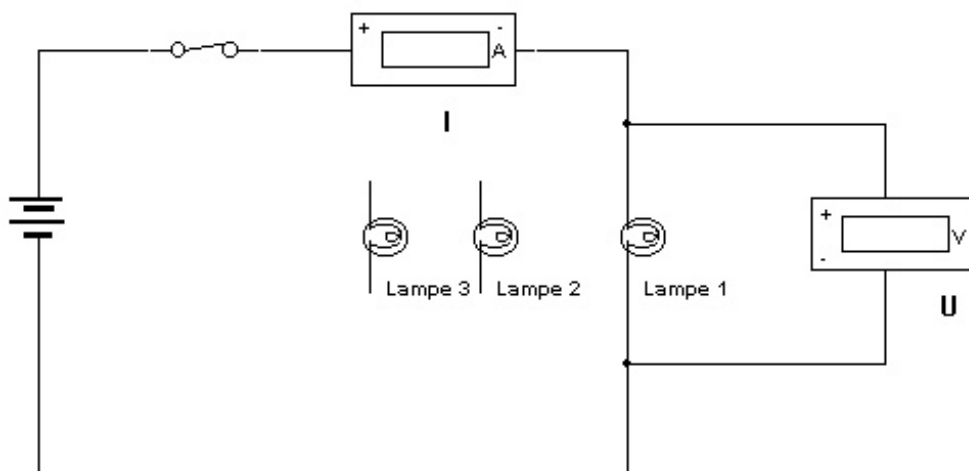
Der Gesamtwiderstand parallel geschalteter Widerstände ist immer kleiner, als der kleinste Einzelwiderstand.

8. Elektrische Leistung

Die elektrische Leistung ergibt sich aus dem Produkt von Spannung und Strom. Man unterscheidet zwischen abgegebener und aufgenommener Leistung. Die abgegebene Leistung ist vergleichbar mit dem Begriff Leistung der als Angabe für die Motorleistung verwendet wird. Für die Auslegung der Lichtmaschine ist die aufgenommene Leistung aller Verbraucher am Fahrzeug wichtig.

In der Abbildung 9 werden 3 Lampen mit einer unterschiedlichen Leistung verwendet. Unter Verwendung von einem Voltmeter und einem Amperemeter kann die Leistung bestimmt werden (siehe Tabelle 6).

Abbildung 9



EE-1-28

Tabelle 7 zur Abbildung 9

Messreihe: Leistungsmessung			
Messreihe	1	2	3
Glühlampen	1	2	3
DC V (V)	12	12	12
DC A (A)	0,083	1,25	2,5
P (W)	1	15	30

Die elektrische Leistung errechnet man aus der Spannung und der Stromstärke.

$$P = U \times I$$

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Einheiten-kurzzeichen
Leistung	P	Watt ⁴	W

⁴ nach James Watt, englischer Ingenieur, 1736 bis 1819