

Fachmathematik Elektrik / Elektronik

Inhalt

- Grundgröße: Der elektrische Strom I [A]
- Grundgröße: Die elektrische Spannung U [V]
- Grundgröße: Der elektrische Widerstand R [Ω]
- Stromflussrichtung
technische Stromflussrichtung = Stromfluss I
physikalische Stromflussrichtung = Elektronenstromfluss I_e
- normgerechte Darstellung des Stromflusses durch einen Leiter

Grundgröße: Die elektrische Spannung

Formelbuchstabe der elektrischen Spannung: **U**

Einheit der elektrischen Spannung: **[Volt] [V]**

(Volt, abgeleitet von **Alessandro Volta** = italienischer Physiker, 18.02.1745 – 05.03.1827)

Der Formelbuchstabe **U**, für die elektrische Spannung, hat einen grammatikalischen Hintergrund. Früher wurde **U** wie **V** geschrieben, da man das **V** für **Volt** zu Ehren von Alessandro Volta benannte, wurde der Buchstabe **U** für die Bezeichnung der elektrischen Spannung gewählt.

Verschiedene Größen der elektrischen Spannung:

Mega Volt	[MV]	= 1000000 V eine Millionen Volt	= 1×10^6 V
kilo Volt	[kV]	= 1000 V eintausend Volt	= 1×10^3 V
Volt	[V]	= 1 V ein Volt	= 1×10^0 V Basis
milli Volt	[mV]	= 0,001 V ein tausendstel Volt	= 1×10^{-3} V
micro Volt	[μ V]	= 0,000001 V ein millionstel Volt	= 1×10^{-6} V
nano Volt	[nV]	= 0,000000001 V ein milliardstel Volt	= 1×10^{-9} V

Begriffsdefinition der elektrischen Spannung:

Die elektrische Spannung ist eine Differenz von Ladungen zwischen zwei Punkten.

In einer Spannungsquelle, zum Beispiel Generator, werden die unterschiedlichen Ladungen (Elektronen, elektrisch negative Elementarladung) und die (Protonen, elektrisch positive Elementarladung) unter Energieaufwand (Magnetfeld, Drehbewegung und Leiterlänge) voneinander getrennt. Es bilden sich zwei unterschiedliche Pole aus:

Negativer Pol: hier herrscht Elektronenüberschuss

Positiver Pol: hier herrscht Elektronenmangel

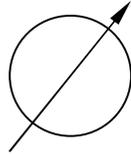
Man kann auch von einer jetzt entstandenen **Potenzialdifferenz** zwischen zwei Punkten sprechen.

Diese beiden, unterschiedlichen Ladungen, haben das Bestreben sich auszugleichen.

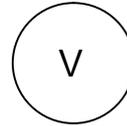
Dieses Ausgleichsbestreben wird als elektrische Spannung bezeichnet.

Spannungsmessung:

Schaltzeichen eines Spannungsmessgerätes:



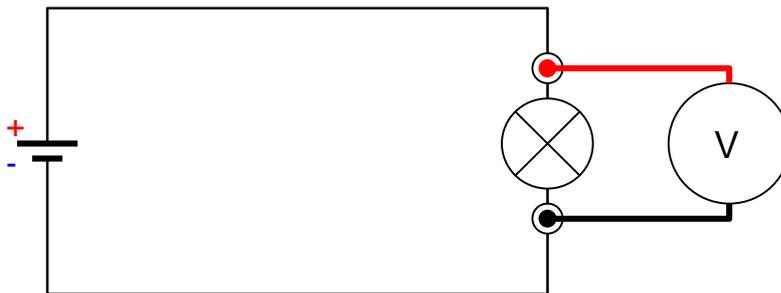
Messgerät, elektrisch
allgemein



Messgerät, elektrisch speziell
Spannungsmessgerät

Bei der Darstellung eines Spannungsmessgerätes bevorzuge ich die rechte Darstellung, damit wird unmissverständlich dargestellt, dass es sich um eine Spannungsmessung handelt.

Abb.: 1 Klemmenspannungsmessung an einer Glühlampe



Messung:

Das Spannungsmessgerät wird grundsätzlich parallel zum Messobjekt geschaltet.

Messvoraussetzung:

Der Stromkreis muss geschlossen sein.

Besonderheit des Spannungsmessgerätes:

Spannungsmessgeräte besitzen einen sehr hohen Innenwiderstand (R_i)

Diese Besonderheit ist eine ultimative Voraussetzung.

siehe auch [http://www.horst-weinkauf.de/Grundlagen der Messmethodik/Wie wird die Stromstärke, Spannung, Widerstand, Masseschluss und Plusschluss gemessen](http://www.horst-weinkauf.de/Grundlagen%20der%20Messmethodik/Wie%20wird%20die%20Stromst%C3%A4rke,%20Spannung,%20Widerstand,%20Masseschluss%20und%20Plusschluss%20gemessen)

Hintergrund des sehr hohen Innenwiderstandes:

Da ja das Spannungsmessgerät parallel zum Messobjekt geschaltet wird, kommt es dabei zu einer klassischen Parallelschaltung von zwei Widerständen.

Widerstand Nr. 1 Der Innenwiderstand des Messgerätes (R_i)

Widerstand Nr. 2 Der Widerstand, an dem die Spannung gemessen werden soll (R_a).

Wichtige Grundsätzlichkeit:

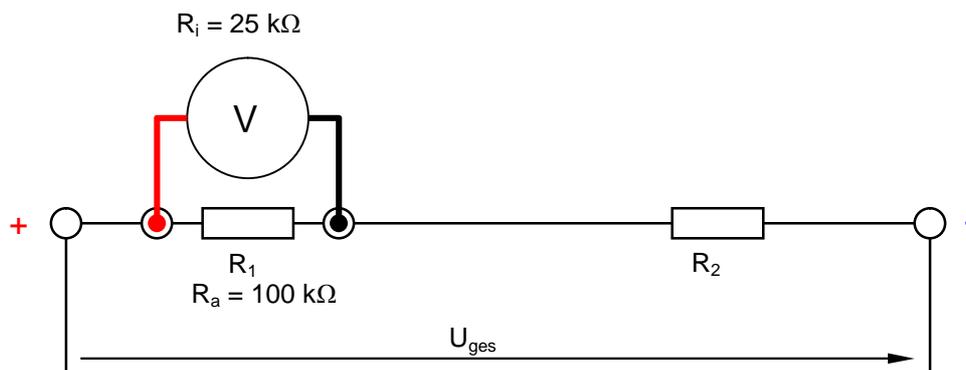
Der Gesamtwiderstand einer Parallelschaltung ist stets kleiner, als der kleinste Einzelwiderstand.

Der angezeigte Spannungswert einer Spannungsmessung orientiert sich immer an dem Gesamtwiderstand der beiden parallel geschalteten Widerstände. Ist nun der zu messende Widerstand, an dem die Spannung gemessen werden soll, hochohmiger als der Innenwiderstand des Messgerätes, mit dem die Spannung gemessen werden soll, orientiert sich der angezeigte Spannungswert an dem Gesamtwiderstand und damit an dem kleinsten Einzelwiderstand.

Dieser kleinste Einzelwiderstand ist der Innenwiderstand R_i des Spannungsmessgerätes.

Beispiel 1: Das Spannungsmessgerät besitzt einen kleineren Innenwiderstand R_i als der Außenwiderstand R_a

Abb.: 2 Klemmenspannungsmessung an Widerständen, Innenwiderstand R_i des Spannungsmessgerätes ist kleiner als der zu messende Außenwiderstand R_a



geg = II
 $R_a = 100000 \Omega = R_1$
 $R_i = 25000 \Omega$

ges = R_{ges}

$$R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_a}}$$

$$R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{25000} + \frac{1}{100000}} \Rightarrow \left[\frac{1}{\frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega}} = \frac{1}{\frac{1}{\Omega}} = \frac{1}{S} \right] = \Omega$$

$R_{ges} = \underline{\underline{20000 \Omega}}$

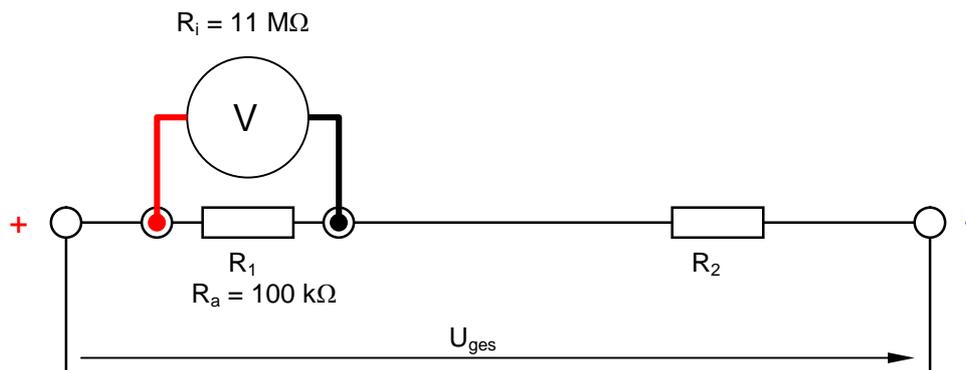
Erläuterungen:

- II = Kennzeichnung für eine Parallelschaltung
- R_a = Außenwiderstand
- R_i = Innenwiderstand
- R_1 = Widerstand Nr. 1 = R_a
- R_2 = Widerstand Nr. 2
- R_{ges} = Gesamtwiderstand
- Ω = Einheit des Widerstandes Ohm
- S = Einheit des Leitwertes Siemens

Der mathematisch errechnete Gesamtwiderstand beträgt in dieser Zusammenstellung 20000Ω . Dieser errechnete Widerstandswert kommt dem Innenwiderstand sehr nahe. Damit wird sich der gemessene Spannungswert an dem Innenwiderstand R_i des Messgerätes orientieren und damit ergibt sich eine Falschmessung.

Beispiel 2: Das Spannungsmessgerät besitzt einen größeren Innenwiderstand R_i als der Außenwiderstand R_a

Abb.: 3 Klemmenspannungsmessung an Widerständen, Innenwiderstand R_i des Spannungsmessgerätes ist größer als der zu messende Außenwiderstand R_a



geg = II

$$R_a = 100000 \Omega = R_1$$

$$R_i = 11000000 \Omega$$

ges = R_{ges}

$$R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_a}}$$

$$R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{11000000} + \frac{1}{100000}} \Rightarrow \left[\frac{1}{\frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega}} = \frac{1}{\frac{1}{\Omega}} = \frac{1}{S} \right] = \Omega$$

$$R_{ges} = \underline{\underline{99099,0991 \Omega}}$$

Erläuterungen:

II = Kennzeichnung für eine Parallelschaltung

R_a = Außenwiderstand

R_i = Innenwiderstand

R_1 = Widerstand Nr. 1 = R_a

R_2 = Widerstand Nr. 2

R_{ges} = Gesamtwiderstand

Ω = Einheit des Widerstandes Ohm

S = Einheit des Leitwertes Siemens

Der mathematisch errechnete Gesamtwiderstand beträgt in dieser Zusammenstellung 99099,0991 Ω .

Dieser errechnete Widerstandswert kommt dem Außenwiderstand R_a sehr nahe.

Damit wird sich der gemessene Spannungswert an dem Außenwiderstand R_a orientieren und ergibt somit eine richtige Messung.

Fazit:

Möchte man eine vernünftige und damit eine qualitätsorientierte Spannungsmessung durchführen, sollte immer ein Spannungsmessgerät benutzt werden, das einen sehr hohen Innenwiderstand besitzt.

Anmerkung, Tipp 1:

Diese vorgenannten dargestellten Zusammenhänge treten immer nur dann auf, wenn Spannungen in Schaltungen gemessen werden möchten/sollen, die aus mindestens 2 Widerstände bestehen, die in Reihe zueinander liegen.

Diese Konstellation liegt schon dann vor, wenn Sie Spannungsverluste an Airbagverbindungssteckern messen möchten. Der Airbag liegt mit der Anschlussleitung in Reihe, somit ergeben sich die von mir beschriebenen Voraussetzungen.

Also Vorsicht:

Benutzen Sie, speziell bei Messungen an Airbagsystemen, also pyrotechnische Systemen, immer die vom Hersteller erlaubten und damit zugelassenen Spannungsmessgeräte! Hier kann von mir keine Empfehlung ausgesprochen werden.

Soviel sei aber gesagt:

Digitale Multimeter, nicht solche aus Discountmärkten für 2 – 5 €, besitzen einen sehr hochohmigen Innenwiderstand. Er liegt etwa bei den vorgenannten 11 M Ω .

Anmerkung, Tipp 2:

Messen Sie einfach den Innenwiderstand Ihres Spannungsmessgerätes mit einem anderen Messgerät (Widerstandsmessgerät).

Anmerkung, Tipp 3:

Wenn Sie den Innenwiderstand eines/Ihres Spannungsmessgerätes messen, werden Sie folgendes feststellen:

Wenn Sie ein Messgerät mit 11 M Ω Innenwiderstand im **Gleichspannungsmessbereich DC V** gemessen haben und dann auf den **Wechselspannungsmessbereich AC V** umschalten, wird die Widerstandsanzeige auf den Widerstandswert $\infty \Omega$ (unendlich Ohm) wechseln.

Hintergrund:

In jedem Wechselspannungsmessgerät befindet sich im Eingang zum Messwerk ein Kondensator. Dieser Kondensator hat die Aufgabe, den Gleichspannungsanteil bei einer Wechselspannungsmessung zu unterdrücken. Kondensatoren sperren bekanntlich den Gleichstrom, wenn er sich aufgeladen hat. Sein Widerstand wird unendlich Ohm.

Eine Widerstandsmessung wird immer mit einem Gleichstrom aus dem Multimeter durchgeführt. Dieser Gleichstrom fließt durch den zu messenden Widerstand, dieses erzeugt im Messgerät durch eine Brückenschaltung eine Brückenspannung.

Aus dieser Messphilosophie entsteht der gemessene Widerstandswert.

Der Kondensator lädt sich jetzt im **Wechselspannungsmessbereich AC V** mit diesem Messstrom auf und sperrt nach seiner Aufladung den Stromfluss. Somit zeigt das Widerstandsmessgerät einen unendlichen Widerstand an.

Anmerkung, Tipp 4:

Wenn Sie ein Multimeter an den dafür vorgesehenen Ablageplatz ablegen, stellen/schalten Sie das Messgerät immer auf den höchsten Wert **Wechselspannung AC V**. Sollte jemand das Multimeter anschließend benutzen und der Benutzer schließt das Spannungsmessgerät an eine Schaltung, ohne auf die entsprechende Messart des Multimeters zu schauen, kann an der Schaltung und an dem Messgerät nichts passieren, da Sie ja das Messgerät zuletzt auf **Wechselspannung AC V** (Kondensator lädt sich auf und schützt somit die Schaltung und das Messgerät), höchsten Messwert eingestellt, abgelegt haben.

Voraussetzung ist natürlich auch, dass die entsprechenden **Buchsen Volt / COM** adaptiert wurden.

Üben Sie also das Ablegen des Multimeters entsprechend und weisen Sie auch Ihre Mitarbeiter und auch die Kollegen entsprechend ein. Halten Sie bitte die vorgegebene Maßnahme auch immer ein.

Anmerkung, Tipp 5:

Kennzeichnungen und Aufschriften auf Multimetern

COM		steht für common (engl.) gemeinsam, diese Buchse ist das gemeinsame Minus für:
AC V		alternating current Volt, Wechselspannung
AC A		alternating current Ampere, Wechselstrom
DC V		direct current Volt, Gleichspannung, gestrichelte Linie steht für Mischspannung
DC A		direct current Ampere, Gleichstrom, gestrichelte Linie steht für Mischstrom
Ω		Widerstand, Ohm
		Diodendiffusionsspannung V und akustischer Durchgangsprüfer
		U_{diff} Silizium = 0,5 V – 0,8 V, U_{diff} Germanium = 0,2 – 0,4 V

Unter Mischspannung -strom versteht eine Gleichspannung -strom mit einem kleinen Oberwelligkeitsanteil, oder es handelt sich um eine Gleichspannung, der man eine Wechselspannung überlagert hat. Diese Spannungs- Stromart wird auch unter Gleichspannung -strom DC V DC A messtechnisch erfasst. Bei dieser Strom-Spannungsart wechselt die Polarität nicht ihr Vorzeichen, das heißt, das Signal unterschreitet nicht die Nulllinie, es gibt also keine negativen Halbwellen im klassischen Sinne.

Beispiel:

- Generatorgleichspannung eines Drehstromgenerators
- Eingangssignal eines HDK, Halbdifferenzieller Kurzschlussringgeber, Diesel Verteilerpumpe. Die Primässpule des HDK wird mit einer Gleichspannung aus dem Steuergerät versorgt, dieser Gleichspannung wird ein 10 kHz Rechtecksignal überlagert. In der Sekundärspule des HDK wird ein 10 kHz frequentes Rechtecksignal mit einer sich ändernden Amplitudenhöhe induziert, je nach Stellung des Regelschiebers.
Die Änderung der Amplitudenhöhe ist die Information für das Steuergerät, in welcher Stellung steht der Regelschieber.

Grundgröße: Der elektrische Widerstand

Formelbuchstabe des elektrischen Widerstandes: **R** resistor

Einheit des elektrischen Widerstandes: [Ohm] [Ω]

(Ohm, abgeleitet von Georg Simon Ohm = deutscher Physiker, 16.03.1789 – 07.07.1854)

Der Formelbuchstabe **R** ist vom englischen Wort resistor = Widerstand abgeleitet.

Verschiedene Größen des elektrischen Widerstandes:

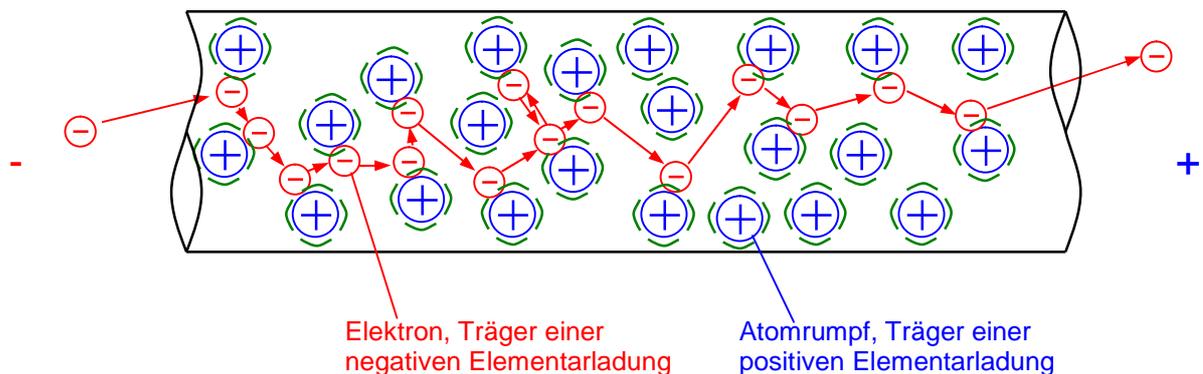
Mega Ohm	[M Ω]	= 1000000 Ω eine Millionen Ohm	= $1 \times 10^6 \Omega$
kilo Ohm	[k Ω]	= 1000 Ω eintausend Ohm	= $1 \times 10^3 \Omega$
Ohm	[Ω]	= 1 Ω ein Ohm	= $1 \times 10^0 \Omega$ Basis
milli Ohm	[m Ω]	= 0,001 Ω ein tausendstel Ohm	= $1 \times 10^{-3} \Omega$
micro Ohm	[$\mu\Omega$]	= 0,000001 Ω ein millionstel Ohm	= $1 \times 10^{-6} \Omega$
nano Ohm	[n Ω]	= 0,000000001 Ω ein milliardstel Ohm	= $1 \times 10^{-9} \Omega$

Begriffsdefinition des elektrischen Widerstandes:

Der elektrische Widerstand ist die Hemmung des Ladungstransports der elektrischen Ladungen in/durch einem leitenden Stoff.

Bewegen sich Elektronen durch einen leitenden Stoff, so prallen sie auf ihrem Weg durch den Leiter, ständig mit den Atomen des Leiterwerkstoffes zusammen. Das heißt, ihrer Fortbewegung wird ein Hemmnis entgegengesetzt. Dieses Behindern der Ladungsträger wird als elektrischer Widerstand bezeichnet.

Abb.: 4 Elektronentransport in einem elektrischen Leiter



(+) = thermische Schwingbewegungen der Atome um ihre Ruhelage

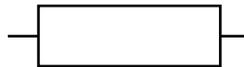
Die Elektronen werden, durch den von außen angelegten Druck (elektrische Spannung), durch den leitenden Stoff getrieben und prallen auf ihrem Weg durch den Leiter ständig mit den Atomen des Leiterwerkstoffes zusammen.

Wenn nun die Elektronen auf ihrem Weg durch den Leiter ständig mit den Atomen des Leiterwerkstoffes zusammenprallen, geraten die Atomrümpfe in Schwingungen. Es wird also Energie von den Elektronen auf die Atomrümpfe übertragen. Durch diese Energieübertragung und damit durch die auftretenden Schwingungen wird das Behindern der Ladungsträger immer größer, das heißt, der Widerstand erhöht sich. Gleichzeitig findet durch diese Erwärmung eine Ausdehnung des leitenden Stoffes statt.

Anmerkung, Erkenntnis:

Alle metallischen Leiter sind ausgesprochene Kaltleiter, das heißt, sie leiten im kalten Zustand besser als im warmen Zustand.

Abb.: 5 Schaltzeichen eines Widerstandes



Widerstände werden, wenn sie in einer Schaltung gezeichnet werden, immer im Verhältnis 1 : 3 gezeichnet. Es gibt kein absolutes Maß, nur ein Verhältnismaß.

Abb.: 5.1 Schaltzeichen eines Widerstandes, Darstellung des Widerstandswertes Ω



Ist diese Darstellung eines Widerstandes mit einer Größenangabe vorhanden, handelt es sich um die Widerstandsgröße in Ohm dieses Widerstandes.

Dieser Widerstand hat den Widerstandswert von 520 Ω .

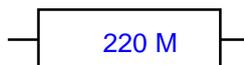
Die Vereinbarung in der Elektroindustrie und der Wissenschaft sieht vor, dass Widerstände, die sich im ohmschen Bereich befinden, ohne Einheit gekennzeichnet werden, also nur mit ihrem Widerstandswert.

Abb.: 5.2 Schaltzeichen eines Widerstandes, Darstellung des Widerstandswertes $k\Omega$



Steht auf/im/am Widerstand eine Kennzeichnung, siehe oben 2,2 k, hat dieser Widerstand einen Widerstandswert von 2,2 $k\Omega$, also 2200 Ω .

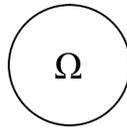
Abb.: 5.3 Schaltzeichen eines Widerstandes, Darstellung des Widerstandswertes $M\Omega$



Steht auf/im/am Widerstand eine Kennzeichnung, siehe oben 220 M, hat dieser Widerstand einen Widerstandswert von 220 $M\Omega$, also 220000000 Ω .

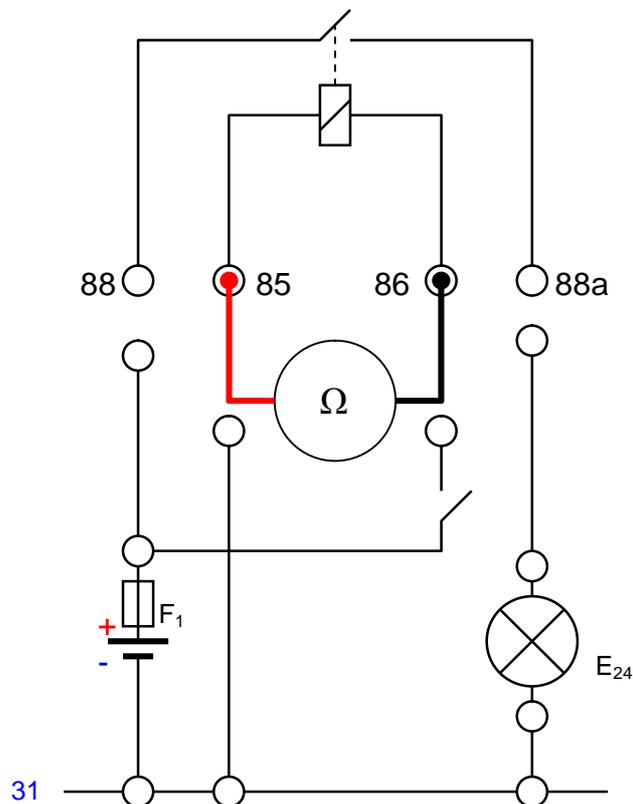
Widerstandsmessung:

Schaltzeichen eines Widerstandsmessgerätes:



Messgerät, elektrisch speziell
Widerstandsmessgerät

Abb.: 6 Widerstandsmessung an einer Relaispule



Messung:

Das Widerstandsmessgerät wird parallel zum Messobjekt geschaltet.

Messvoraussetzung:

Das Messobjekt muss aus dem Stromkreis herausgelöst sein und sich im spannungslosen Zustand befinden.

siehe auch <http://www.horst-weinkauf.de/Grundlagen der Messmethodik/Wie wird die Stromstärke, Spannung, Widerstand, Masseschluss und Plusschluss gemessen>

Anmerkung, wichtiger Hinweis, Tipp 6:

Die Anschlusspolarität des Widerstandsmessgerätes spielt im Kraftfahrzeug keine Rolle, achten Sie aber unbedingt darauf, dass das Messobjekt **aus dem Stromkreis herausgelöst ist**. Die Messphilosophie der Widerstandsmessung besteht darin, dass ein Messstrom aus dem Messgerät, aus der eigenen Spannungsquelle des Messgerätes fließt. Diese eigene Spannungsquelle und damit auch das Messwerk, werden durch die von außen, durch das angeschlossene Messobjekt, anliegende Spannung, zerstört.

Einsatzmöglichkeiten von Widerständen

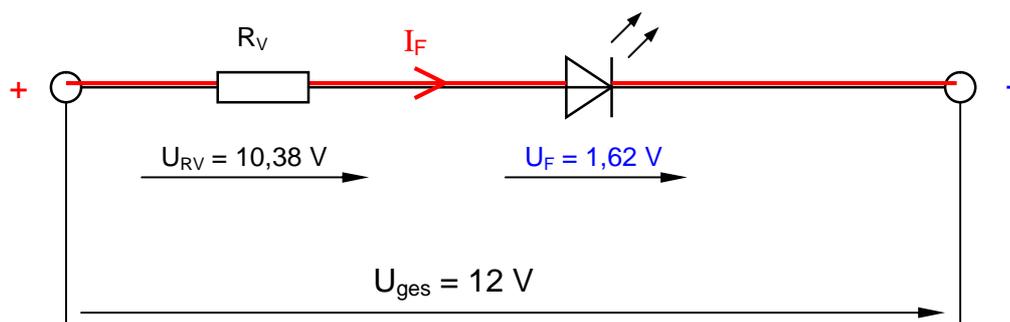
1. Spannungsteilung, Spannungsaufteilung
2. Stromstärkenbegrenzung,
3. Stromstärkenerhöhung,
4. Leistungsteilung,

1. **Spannungsteilung, Spannungsaufteilung,**
2. **Stromstärkenbegrenzung,**
3. **Stromstärkenerhöhung,**

Widerstände dienen dazu, zum Beispiel, eine Gesamtspannung aufzuteilen. Dies geschieht dadurch, dass ein elektrisches Bauteil zum Beispiel eine Leuchtdiode, mit einem Widerstand in Reihe geschaltet wird. Durch diese Reihenschaltung wird die **Vorwärtsspannung** U_F , Spannung in Durchlassrichtung an der Leuchtdiode, für die Leuchtdiode auf den vom Hersteller vorgegebenen Spannungswert gemindert, ferner wird dadurch auch die **Vorwärtsstromstärke** I_F , Stromfluss in Durchlassrichtung, für die Leuchtdiode auf den vom Hersteller geforderten und nur erlaubten Stromwert gemindert. Möchte man den Stromfluss für ein bestimmtes Bauteil erhöhen, zum Beispiel der Stromfluss durch die Feldwicklung eines Drehstromgenerators, um den Vorerregerstrom zu erhöhen, schaltet man einen Widerstand parallel zu einer Leuchtdiode als Ladekontrollleuchte mit dazugehörigem in Reihe geschalteten Vorwiderstand.

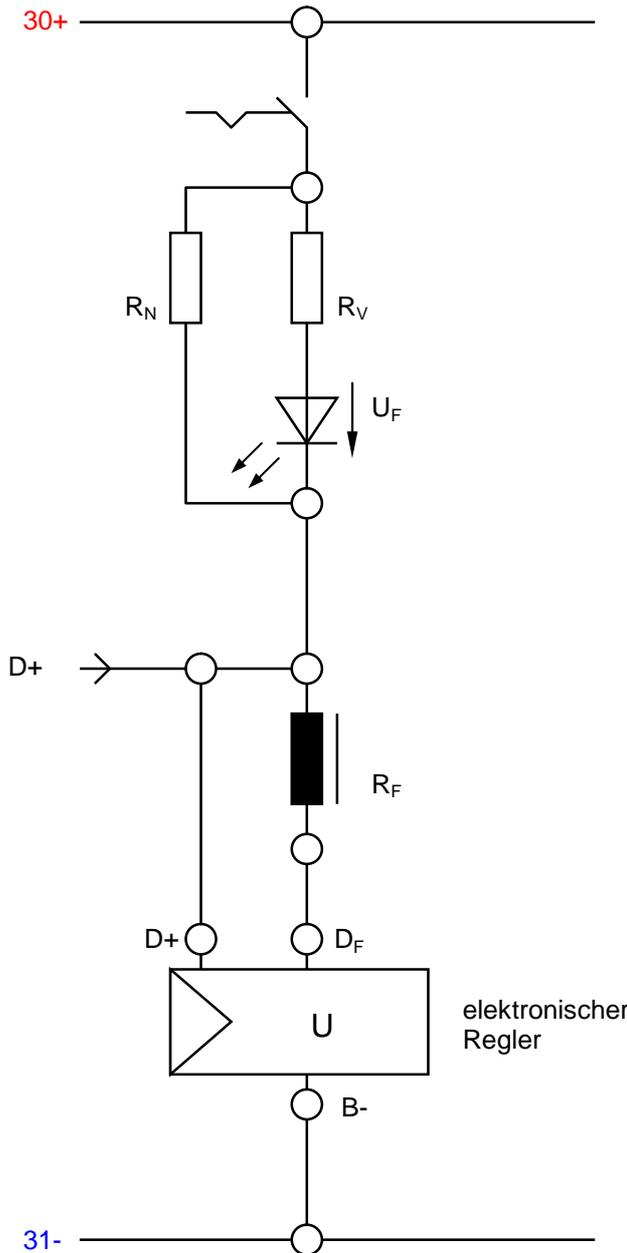
Siehe Abb.: 8 Grundschtung Parallelschaltung eines Widerstandes zur Stromflusserhöhung, hier, Vorerregerstrom durch/für die Feldwicklung des Drehstromgenerators

Abb.: 7 Vorwiderstandsschaltung für eine Leuchtdiode, Spannung und Stromstärke für die LED werden vermindert



Durch die Vorschaltung eines Widerstandes, wird die Spannung für die Leuchtdiode auf den **Vorwärtsspannungswert** U_F reduziert, den der Hersteller für diese Leuchtdiode vorgibt. Gleichzeitig begrenzt der Vorwiderstand die Stromstärke für die Leuchtdiode auf den **Vorwärtsstromwert** I_F , den der Hersteller für diese Leuchtdiode vorgibt.

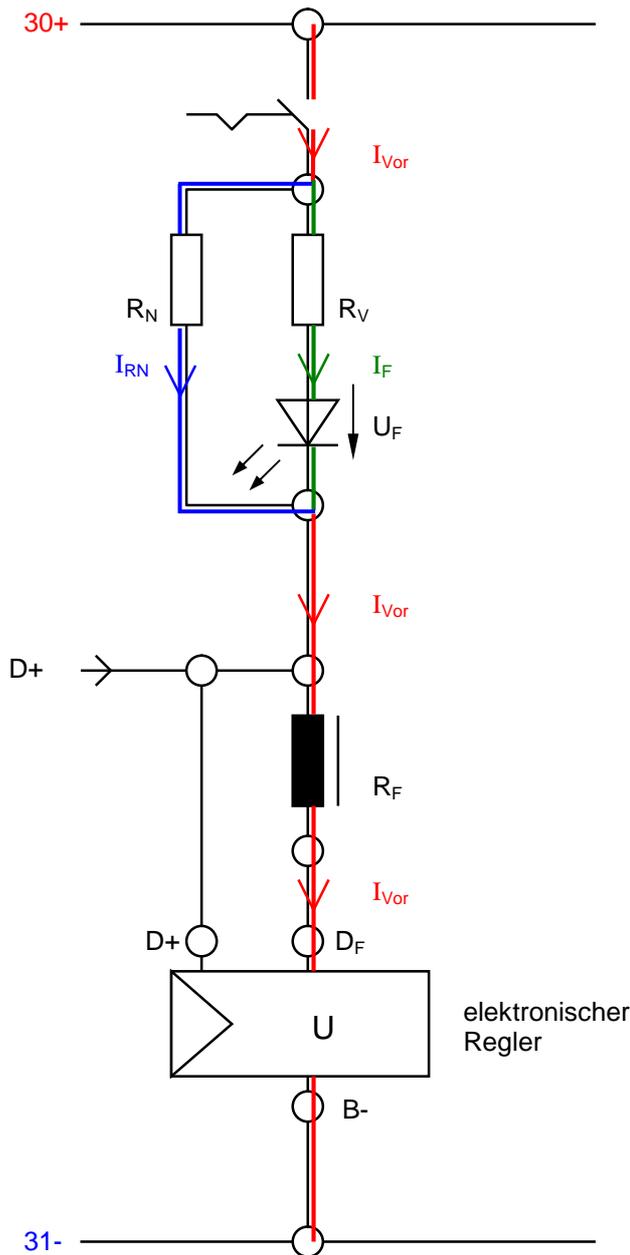
Abb.: 8 Grundsaltung
 Parallelschaltung eines Widerstandes zur Stromflusserhöhung R_N ,
 hier, Vorerregerstrom durch/für die Feldwicklung des Drehstromgenerators.
 Reihenschaltung eines Widerstandes zur Stromflussbegrenzung R_V



Erläuterungen:

- R_N = Nebenwiderstand
- R_V = Vorwiderstand
- R_F = Widerstand Feldwicklung
- D_F = Anschluss Dynamo Feld
- $D+$ = Anschluss Dynamo Plus
- $B-$ = Anschluss Batterie Minus
- U_F = Vorwärtsspannung
Leuchtdiode, Spannung in
Durchlassrichtung
- $30+$ = Klemme 30 Plus
- $31-$ = Klemme 31 Minus

Abb.: 8.1 Grundsaltung, Verlauf der Stromflüsse
 Parallelschaltung eines Widerstandes R_N zur Stromflusserhöhung,
 hier, Vorerregerstrom durch/für die Feldwicklung des Drehstromgenerators.
 Reihenschaltung eines Widerstandes R_V zur Stromflussbegrenzung



Erläuterungen:
 R_N = Nebenwiderstand
 R_V = Vorwiderstand
 R_F = Widerstand Feldwicklung
 D_F = Anschluss Dynamo Feld
 $D+$ = Anschluss Dynamo Plus
 $B-$ = Anschluss Batterie Minus
 U_F = Vorwärtsspannung
 Leuchtdiode, Spannung in
 Durchlassrichtung
 $30+$ = Klemme 30 Plus
 $31-$ = Klemme 31 Minus
 I_{Vor} = Vorerregerstrom
 I_F = Vorwärtsstrom, Stromfluss
 durch den Vorwiderstand und
 die Leuchtdiode in
 Durchlassrichtung
 I_{RN} = Stromfluss durch den
 Nebenwiderstand

- I_{Vor} Vorerregerstrom
- I_F Vorwärtsstrom, Stromfluss durch die LED und Vorwiderstand
- I_{RN} Stromfluss durch den Nebenwiderstand

Hintergrund des parallel zum Vorwiderstand und Leuchtdiode geschalteten Nebenwiderstandes:

Der Vorwärtsstrom I_F durch eine Leuchtdiode beträgt als typischer Wert ca. 20 mA, dieser Stromfluss wird durch den Vorwiderstand R_V auf diesen Stromwert begrenzt. Diese Stromstärke als Vorerregerstrom I_{Vor} , reicht bei angemessener Drehzahl des Motors und damit des Generators nicht aus, so ein großes Magnetfeld in der Feldwicklung zu erzeugen, um in die Selbsterregung zu gelangen. Aus diesem Grund schaltet man einen Nebenwiderstand R_N parallel zum Vorwiderstand R_V der Leuchtdiode und zur Leuchtdiode. Durch den jetzt zusätzlich fließenden Strom I_{RN} wird der Vorerregerstrom I_{Vor} erhöht. In der Feldwicklung wird jetzt ein so großes Magnetfeld erzeugt, dass dadurch der Generator in sich selbst eine Spannung erzeugen kann, die mindestens die geforderten $2 \times 0,7 \text{ V}$ erreicht. Die Diffusionsspannung U_{diff} der Erregerdioden und Minusleistungsdioden wird erreicht, damit kann jetzt ein Erregerstrom aus dem Generator durch die Feldwicklung, durch den Regler als Erregerstrom fließen. Der Drehstromgenerator erregt sich jetzt selbst und erzeugt die gewünschte Regulierspannung.

4. Leistungsteilung,

Widerstände sind nicht nur mit ihrem Widerstandswert, sondern auch mit ihrem Leistungsvermögen P in [W, Watt] angegeben. Das heißt, möchten/benötigen Sie einen entsprechenden Widerstand, werden Sie nicht umhinkommen, seine Leistung zu berechnen.

Siehe <http://www.Horst-Weinkauf.de/Fachmathematik/Elektrik/Elektronik/Kraftfahrzeugtechnik/Die elektrische Leistung>

Der Verkäufer im Elektrikgeschäft und auch Sie wird/werden Sie/sich unweigerlich fragen, „Welche Leistung muss dieser Widerstand haben“, darauf müssen Sie gewappnet sein. Wenn also nun für einen Verbraucher die Stromstärke und die Klemmenspannung durch einen Vorwiderstand begrenzt werden müssen und der passende Vorwiderstand ist in der Größe und mit dem entsprechenden Leistungsvermögen nicht vorhanden, schaltet man gleichgroße Widerstände parallel zueinander, um die Leistung des einzelnen Widerstandes zu reduzieren. Bei 2 Widerständen wird die Leistung halbiert, bei 3 Widerständen wird sie gedrittelt, bei 4 Widerständen wird sie geviertelt usw.

Aufgrund der Komplexität des Themas, habe ich mich entschlossen, dieses Thema in einer separaten Datei zu behandeln.

Siehe <http://www.Horst-Weinkauf.de/Fachmathematik/Elektrik/Elektronik/Kraftfahrzeugtechnik/Leistungsteilung bei Vorwiderständen durch Parallelschaltung>

Grundgröße: Der elektrische Strom

Formelbuchstabe des elektrischen Stroms: **I**

Einheit des elektrischen Stroms: [Ampere] [A]

(Ampere, abgeleitet von André-Marie Ampère = französischer Physiker, 20.01.1775 – 10.06.1836)

Zu Ehren André-Marie Ampères ist die SI-Basiseinheit des elektrischen Stroms, Ampere [A] benannt worden. Der Formelbuchstabe **I** für den elektrischen Strom, ist mit **International Ampere** festgelegt worden, auch ist manchmal die Begriffsdefinition **Intensität** als Bezeichnung für den elektrischen Strom zu finden, deshalb der Buchstabe **I**.

Verschiedene Größen des elektrischen Stroms:

Mega Ampere	[MA]	= 1000000 A eine Millionen Ampere	= 1×10^6 A
kilo Ampere	[kA]	= 1000 A eintausend Ampere	= 1×10^3 A
Ampere	[A]	= 1 A ein Ampere	= 1×10^0 A Basis
milli Ampere	[mA]	= 0,001 A ein tausendstel Ampere	= 1×10^{-3} A
micro Ampere	[µA]	= 0,000001 A ein millionstel Ampere	= 1×10^{-6} A
nano Ampere	[nA]	= 0,000000001 A ein milliardstel Ampere	= 1×10^{-9} A

Begriffsdefinition des elektrischen Stroms:

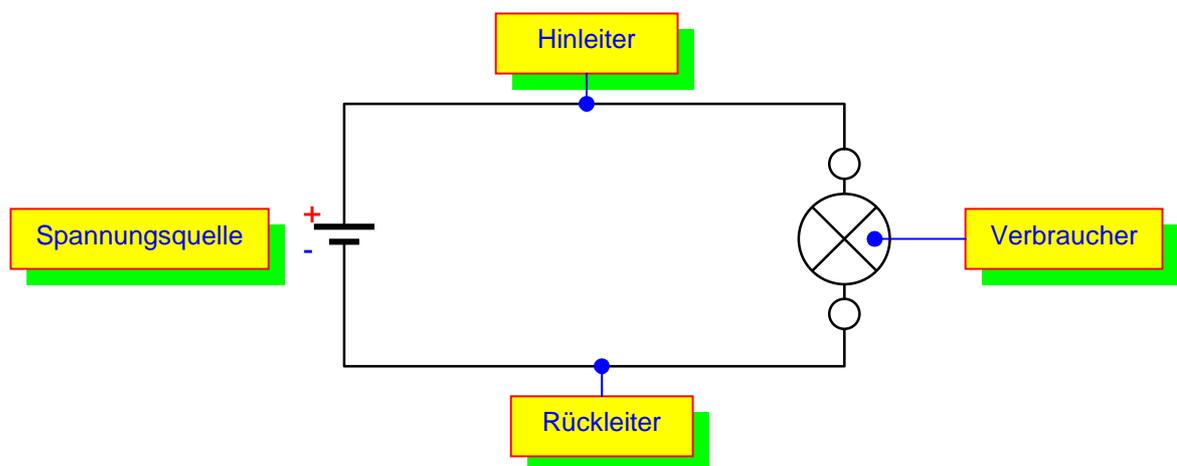
Der elektrische Strom ist die gerichtete Bewegung von Ladungen.

Wissenschaftlich:

1 Ampere ist die Stärke eines elektrischen Stromes, der zwischen zwei, im Abstand von 1 m parallel angeordneten Leitern, die Kraft von 2×10^{-7} Newton, je m Leiterlänge hervorrufen würde.

Wie unter der elektrischen Spannung beschrieben, handelt es sich dort um eine Potenzialdifferenz zwischen zwei Punkten, die sich ausgleichen möchten. Werden also diese beiden Punkte durch einen leitenden Stoff miteinander verbunden, kommt es zum Ausgleich der vorher getrennten, oder auch des schon vorhandenen Ladungsunterschieds. Dieser Ausgleich kann grundsätzlich nur in einem geschlossenen Stromkreis stattfinden. Zu einem geschlossenen Stromkreis gehören:

Abb.: 9 geschlossener Stromkreis, hier für eine Glühlampe



Unter dem Einfluss des Ladungsunterschieds wandern die Elektronen vom negativen Pol der Spannungsquelle, also dem Pol mit der größeren negativen Ladung zu dem Pol, der eine geringere negative Ladung besitzt, oder, der einen Elektronenmangel aufweist, das heißt, der eine positive Ladung besitzt.

Dabei ist es unerheblich, dass beide Pole mit gleichem positivem Vorzeichen behaftet sind.

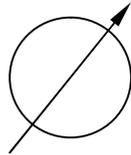
Beispiel:

Der eine Pol hat +12 V, der andere Pol +13,5 V. Beide Pole haben zwar auf den ersten Eindruck gesehen, positives Potenzial, jedoch ist der Pol mit dem Wert +13,5 V positiver, demzufolge wandern die Elektronen vom negativen Pol mit +12 V zum positiveren Pol mit +13,5 V.

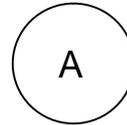
Die Elektronen wandern immer vom Überschuss zum Mangel, also vom Minuspol zum Pluspol.

Strommessung:

Schaltzeichen eines Strommessgerätes:



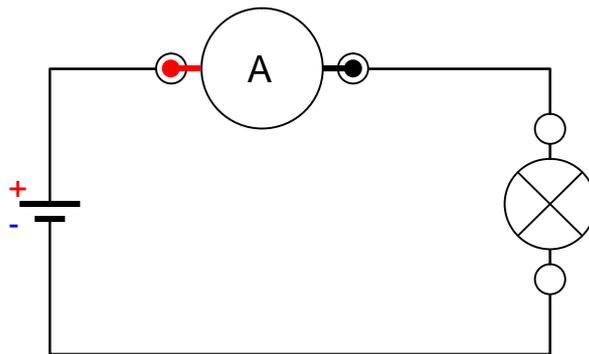
Messgerät, elektrisch
allgemein



Messgerät, elektrisch speziell
Strommessgerät

Bei der Darstellung eines Strommessgerätes bevorzuge ich die rechte Darstellung, damit wird unmissverständlich dargestellt, dass es sich um eine Strommessung handelt.

Abb.: 10 Stromstärkemessung für eine Glühlampe



Messung:

Das Strommessgerät wird grundsätzlich in Reihe zum Messobjekt geschaltet.

Messvoraussetzung:

Der Stromkreis muss geschlossen sein.

Besonderheit des Strommessgerätes:

Strommessgeräte besitzen einen sehr niederohmigen Innenwiderstand (R_i).

siehe auch [http://www.horst-weinkauf.de/Grundlagen der Messmethodik/Wie wird die Stromstärke, Spannung, Widerstand, Masseschluss und Plusschluss gemessen](http://www.horst-weinkauf.de/Grundlagen%20der%20Messmethodik/Wie%20wird%20die%20Stromst%C3%A4rke,%20Spannung,%20Widerstand,%20Masseschluss%20und%20Plusschluss%20gemessen)

Absicherung des Strommessgerätes:

Die Messbereiche von Strommessgeräten sind üblicherweise über Sicherungen abgesichert. Die unterschiedlichen Messbereiche sind hierbei durch unterschiedliche Sicherungen abgesichert. Auch sind üblicherweise zwei Buchsen für die unterschiedlichen Messbereiche vorgesehen. Eine Buchse für alle kleinen Messbereiche, eine Buchse für den hohen Messbereich.

Nehmen wir an, es gibt die Messbereiche in AC A und DC A:

- 2000 μ A
- 20 mA
- 200 mA
- 2000 mA
- 10 A

so sind in der Regel die Messbereiche von 2000 μ A bis 2000 mA mit einer 2 A Sicherung abgesichert.

Der Messbereich 10 A ist durch eine 10 A Sicherung abgesichert

Auch gibt es Multimeter, die haben nur eine Absicherung für die kleinen Messbereiche, also

- 2000 μ A
- 20 mA
- 200 mA
- 2000 mA

mit 2 A.

Der hohe Messbereich, zum Beispiel 20 A ist dann nicht direkt abgesichert, sondern dieser Messbereich wird durch einen dünnen Draht abgesichert. In der Bedienungsanleitung steht dann, dass Sie die Messung zum Beispiel nur 15 s aufrecht halten sollen. Nach dieser Zeit schmelzen die Lötverbindungen des Drahtes mit dem Messwerk auf, dadurch ist das Messwerk gegen Zerstörung geschützt. Auch tritt diese Absicherung in Aktion, wenn der hohe Messbereich überschritten wurde. Die einzige Möglichkeit, dieses Schadensereignis wieder instand zu setzen, ist das Zusammenlöten der aufgelöteten „Sollbruchstellen“.

Ist durch eine Messung eine Sicherung durchgebrannt, bitte nur die dafür vorgesehenen Sicherungen einsetzen.

Man unterscheidet:

- T träge Sicherung
- f flinke Sicherung
- ff super flinke Sicherung

achten Sie also unbedingt auf die richtige Sicherung, das heißt, die unterschiedlichen Sicherungen haben eine unterschiedliche Auslösegeschwindigkeit, sollten Sie eine falsche Sicherung einbauen, kann damit das Messwerk zerstört werden.

An den richtigen Stromwert der Sicherung sei hier auch erinnert.

Anmerkung, Tipp 7:

Bevor Sie mit einer Strommessung beginnen, sollten Sie die eingebaute Sicherung auf Intaktheit kontrollieren.

Vorgehensweise:

Schalten Sie Ihr Multimeter auf akustische Durchgangsprüfung.

Mit der roten Prüfspitze jetzt jeweils die Buchsen für die unterschiedlichen Messbereiche adaptieren, angezeigter Wert: es muss ein akustisches Signal ertönen = Sicherungen sind intakt.

Sollte Ihr Multimeter keinen akustischen Durchgangsprüfer besitzen, so schalten Sie auf den kleinsten Messbereich Widerstand, bei der Messung werden unterschiedliche Widerstandswerte angezeigt, hoher Strommessbereich = kleiner Widerstand, kleiner Strommessbereich = hoher Widerstand. Bei dieser Messmethode kommt es darauf an, dass überhaupt ein Widerstand angezeigt wird. Sollte bei den Messungen immer ein Wert unendlich Ω angezeigt werden, ist die Sicherung für diesen Messbereich zerstört. Zur Kontrolle, ob der akustische- und Widerstandsmessbereich auch die geforderte Leistung erbringt, halten Sie vor der Messung die beiden Messspitzen zusammen, so bekommen Sie das gewünschte Messergebnis (akustischer Ton, Widerstandswert) angezeigt und Sie wissen jetzt, welches Messergebnis zustande kommen muss.

Stromflussrichtungen

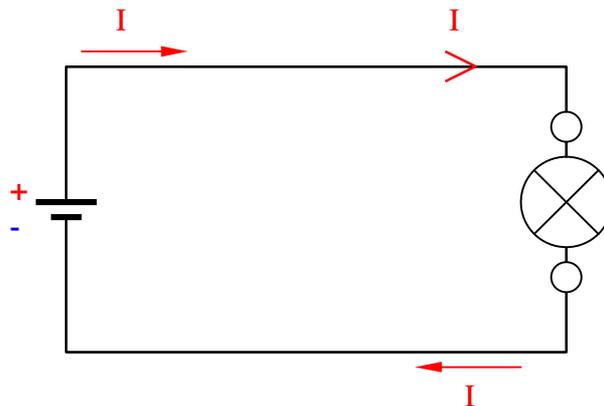
Man unterscheidet zwei Stromflussrichtungen:

1. **technische Stromflussrichtung**
Der Strom fließt von Plus nach Minus.
2. **physikalische Stromflussrichtung, tatsächlicher Elektronenfluss:**
Die Elektronen bewegen sich von Minus nach Plus

In den Anfängen der Elektrotechnik, das heißt, als man begann sich mit dem Wesen der Elektrizität zu beschäftigen, hat man die Stromflussrichtung so festgelegt, dass der Strom von Plus nach Minus fließt. Zu diesem Zeitpunkt war die Kenntnis vom Atomaufbau, Elektronen, Protonen und Neutronen auch noch nicht bekannt gewesen. Dem Verständnis nach, ist es auch nachvollziehbar gewesen, da wo mehr ist, das ist nun mal Plus, beginnt also ein Strom zu fließen und das nach dem Wenigen, das ist Minus. Später, als die Kenntnisse des Atoms und dessen Aufbau bekannt wurden/waren, ist auch die Erkenntnis gekommen, dass die einzigen Bestandteile des Atoms, die Elektronen mit ihrer negativen Elementarladung, unter Energieaufwand vom Atom getrennt werden konnten, beziehungsweise getrennt werden können. Dies bedeutet, dass nur die Elektronen ihre eigene negative Ladung in eine bestimmte Richtung transportieren können. Werden also die Elektronen vom Atomverband getrennt, versuchen sie sich wieder mit dem Atomverband zu vereinigen, damit das ursprüngliche Atom wieder neutral wird. Neutralität ist dann erreicht, wenn die gleiche Anzahl von Elektronen, Protonen und Neutronen vorhanden sind. Gleichen sich also die Elektronen mit den Atomen aus, bewegen sich also die Elektronen mit ihrer negativen Ladung zum Restatom, wird das Atom wieder elektrisch neutral. Diese Erkenntnis führte dann zu der zweiten Stromflussrichtung, nämlich der physikalischen Stromflussrichtung, dem Elektronenstromfluss. Die Elektronen transportieren solange ihre negative Ladung vom Überschuss zum Mangel, bis beide Pole den gleichen Ladungszustand aufweisen. Bei Gleichheit der Ladungen ist eben keine Potenzialdifferenz mehr vorhanden, demzufolge auch kein Ausgleichsbestreben mehr vorhanden ist. Keine Angst, die technische Stromflussrichtung wird **überall** angewandt, ob in der Elektrik, oder der Elektronik. Das heißt, sowohl in der Fachtechnologie als auch in der Mathematik. Nur wenn ausdrücklich darauf hingewiesen wird, dass es sich um den Elektronenstromfluss handelt, muss etwas umgedacht werden. Aber, nicht so kompliziert denken.

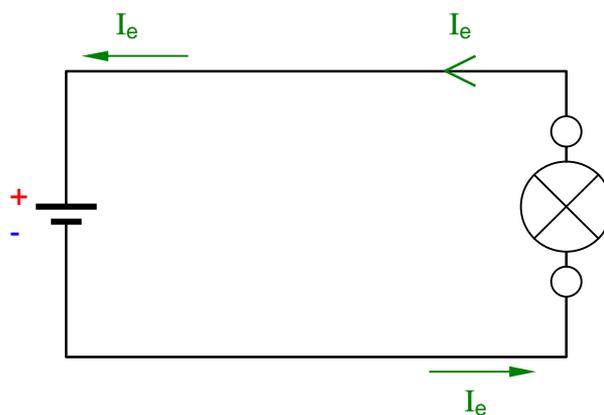
Kennzeichnung der Stromflussrichtungen

Abb.: 11 Kennzeichnung der Stromflussrichtungen, hier technische Stromflussrichtung



Zur Kennzeichnung des technischen Stromflusses, werden an den elektrischen Leitungen **Zählpfeile** \longrightarrow mit dem Buchstaben **I** angebracht, wobei die Zählpfeile vom Pluspol zum Minuspol gerichtet sind, also die Pfeilspitze in Richtung des Minuspols gerichtet ist. Es besteht aber auch die Möglichkeit, direkt in die elektrische Leitung Richtungspfeile $>$ mit dem Buchstaben **I** behaftet, einzuzeichnen.

Abb.: 11.1 Kennzeichnung der Stromflussrichtungen, hier physikalische Stromflussrichtung, tatsächlicher Elektronenstromfluss



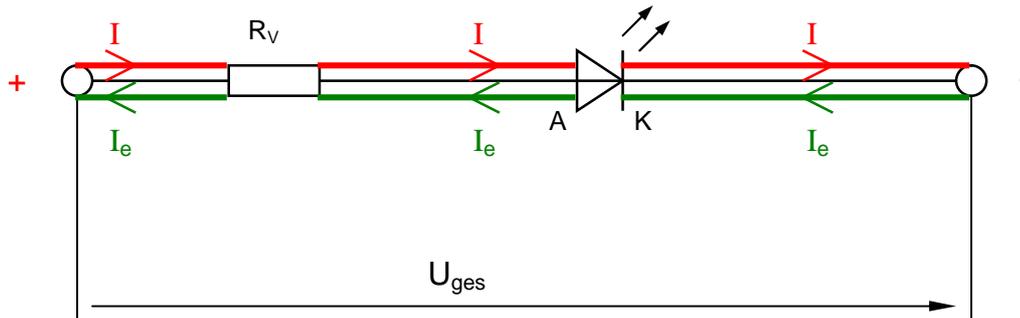
Zur Kennzeichnung der physikalischen Stromflussrichtung, werden an den elektrischen Leitungen **Zählpfeile** \longrightarrow mit der Buchstabenkombination I_e angebracht, wobei die Zählpfeile vom Minuspol zum Pluspol gerichtet sind, also die Pfeilspitze in Richtung des Pluspols gerichtet ist.

Es besteht aber auch hier die Möglichkeit, direkt in die elektrische Leitung Richtungspfeile $>$ mit der Buchstabenkombination I_e behaftet, einzuzeichnen.

Anmerkung, wichtige Erkenntnis, Tipp 8:

Überall dort, wo ein Strom fließen kann, bewegen sich in Wirklichkeit die Elektronen von Minus nach Plus.

Abb.: 12 Stromfluss I , Elektronenstromfluss I_e , Leuchtdiode in Durchlassrichtung



Vielleicht werden Sie etwas verwundert über diese Darstellung sein, aber sie ist den physikalischen Gesetzmäßigkeiten entsprechend.

Ein Strom I fließt von Plus nach Minus, für diese Stromflussrichtung ist die Leuchtdiode (LED) in Durchlassrichtung geschaltet.

Der positive Pol der Spannungsquelle ist am Anodenanschluss (A), der negative Pol der Spannungsquelle ist am Kathodenanschluss (K) der Leuchtdiode angeschlossen. Somit liegt die Leuchtdiode für diese Stromflussrichtung in Durchlassrichtung.

Ein Elektronenstromfluss I_e fließt von Minus nach Plus, für diese Stromflussrichtung ist die Leuchtdiode (LED) auch in Durchlassrichtung geschaltet.

Der negative Pol der Spannungsquelle ist am Kathodenanschluss (K), der positive Pol der Spannungsquelle ist am Anodenanschluss (A) der Leuchtdiode angeschlossen. Somit liegt die Leuchtdiode für diese Elektronenstromflussrichtung in Durchlassrichtung.

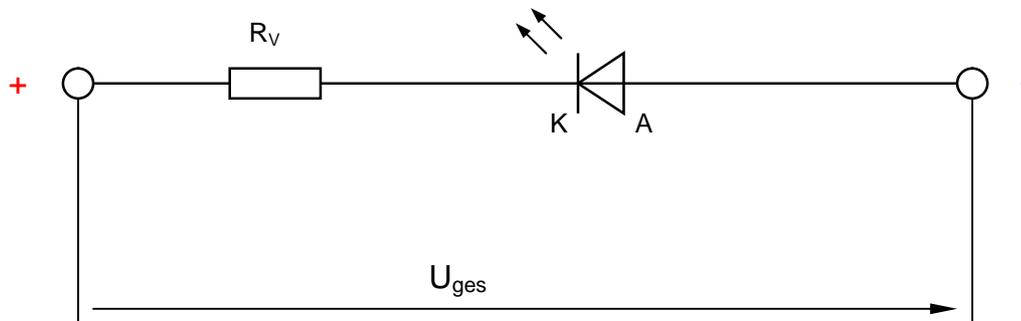
Die Diode, auch die Leuchtdiode, ist zwar ein stromflussrichtungsabhängiger Widerstand, das heißt, sie lässt den Strom nur in einer Richtung fließen, aber, wie es schon heißt „sie lässt den Strom nur in einer Richtung fließen“, bedeutet, es handelt sich um den Stromfluss, also die technische Stromflussrichtung. Für diesen Stromfluss ist sie in Durchlassrichtung geschaltet. Es kann ein Strom von der Anodenseite zur Kathodenseite fließen.

Betrachtet man jetzt die entgegengesetzte Stromflussrichtung, also den Elektronenstromfluss, fließt ein Elektronenstrom von der Kathodenseite zur Anodenseite. Auch für diese Elektronenstromflussrichtung ist sie ein stromflussrichtungsabhängiger Widerstand, nur, dass hier jetzt ein Elektronenstrom fließt und das auch in Durchlassrichtung, für den Elektronenstromfluss I_e .

Also Merke:

Überall dort, wo ein Strom fließen kann, bewegen sich in Wirklichkeit die Elektronen von Minus nach Plus.

Abb.: 12.1 Stromfluss I , Elektronenstromfluss I_e , Leuchtdiode in Sperrrichtung



Ist die Leuchtdiode so geschaltet, wie in der -Abb.: 12.1 Stromfluss I , Elektronenstromfluss I_e , Leuchtdiode in Sperrrichtung- liegt sie für den Stromfluss in Sperrrichtung. Der Anodenanschluss liegt am Minuspol der Spannungsquelle, der Kathodenanschluss liegt am Pluspol der Spannungsquelle. Somit ist sie in Sperrrichtung geschaltet, es kann kein Strom I fließen. Wenn nun also kein Strom fließen kann, kann auch kein Elektronenfluss I_e zustande kommen.

Also Merke:

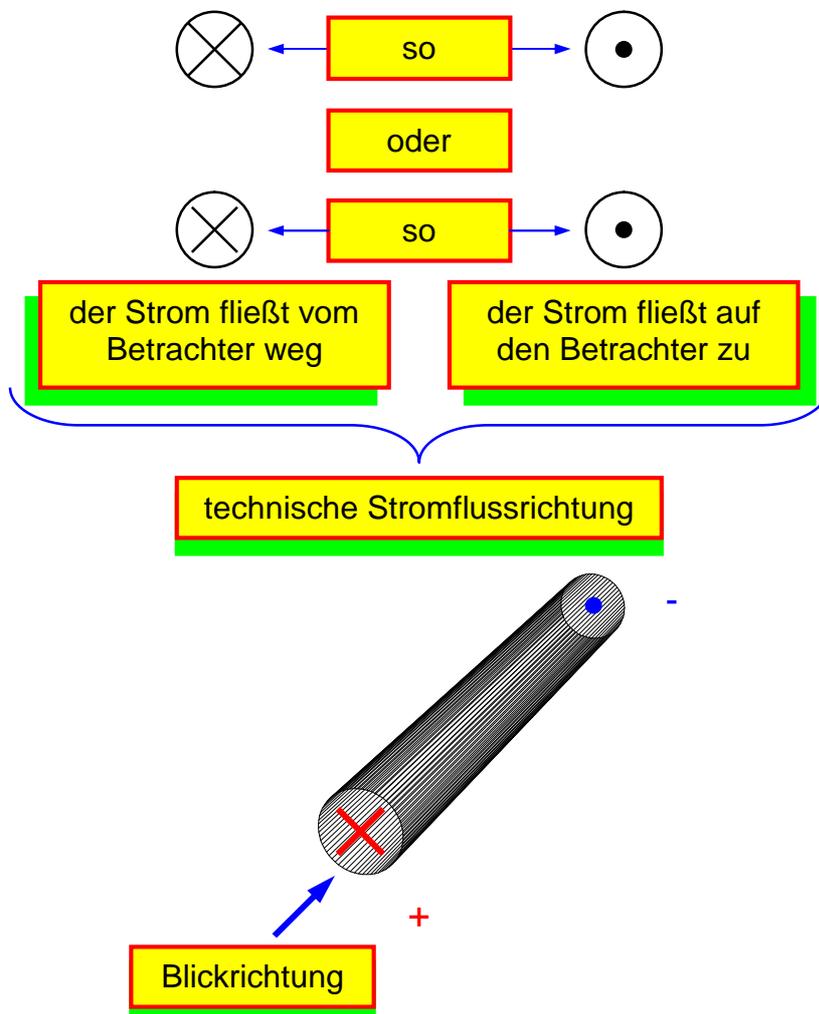
Überall dort, wo kein Strom fließen kann,
kommt auch kein Elektronenstromfluss zustande.

Normgerechte Darstellung des Stromflusses durch einen Leiter

Um zum Beispiel Magnetfeldrichtungen eines stromdurchflossenen Leiters festlegen zu können, ist die Kenntnis der Darstellung des Stromflusses durch einen Leiter ultimativ wichtig. Auch für die Festlegung des Induktionsspannungsstromflusses eines Generators oder eines Elektromotors, sind die Kenntnisse erforderlich.

Die Kennzeichnungen können wie folgt aussehen:

Abb.: 13 mögliche Darstellungen des Stromflusses durch einen Leiter



Sie schauen in den Leiter hinein und folgen dem Stromfluss, von Plus nach Minus.

In den Leitereintritt für den Stromfluss kommt das Diagonalkreuz, \times am Leiterraumtritt für den Stromfluss kommt der Punkt \bullet .

Denken Sie immer an Pfeil und Bogen, wenn Sie dem Pfeil hinterher schauen, sehen Sie das Höhen- und Seitenleitwerk, das Diagonalkreuz.

Kommt der Pfeil auf Sie zu (was natürlich keiner möchte), schauen Sie auf die Spitze, also den Punkt.

Die Stromflussrichtung, wie schon geschrieben „die Stromflussrichtung“, ist immer die technische Stromflussrichtung.

Sie haben einen sehr wichtigen ersten Schritt, zum Verstehen und Begreifen der Grundgrößen der Elektrik, getan.

Wenden Sie das Erlernte zukünftig konsequent an, lassen Sie sich nicht beirren, auf Ihrem Weg zu einem/er kompetenten elektrischen Fachkraft.

Anmerkung, Tipp 9:

Legen Sie für Ihre Messungen in Stromkreisen immer folgenden Maßstab an:

- Stellen Sie immer zuerst fest, wo kommt Plus, wo kommt Minus her.
- Stellen Sie fest, ob der Stromkreis geöffnet oder geschlossen ist.
- Skizzieren Sie am besten zu Ihren Messungen immer ein prinzipielles Schaltbild, dieses erleichtert das Verstehen der gemessenen elektrischen Größen.

Guten Erfolg bei der Umsetzung des Gelesenen und Erlernten, wünscht der Autor

Horst Weinkauf

Wenn Bedarf an der Beantwortung von aufgetretenen Fragen vorhanden sein sollte, nehmen Sie Kontakt über die Netzadresse/Kontakt mit mir auf.
<http://www.Horst-Weinkauf.de>