

# TopAutomation

Elektrotechnik und Elektronik für  
Automatiker/in, Automatikmonteur/in

Ausgabe mit Lösungen



2

Für Verbesserungsvorschläge, Korrekturen oder Anmerkungen:  
<https://www.swissmem-berufsbildung.ch/feedback-tool>

Herausgeberin: Edition Swissmem

Titel: «TopAutomation» Teil 2  
Ausbildungseinheiten für Automatiker/in, Automatikmonteur/in

Projektleitung: Michael Kummer, Swissmem Berufsbildung

Layout und grafische Gestaltung: Bruno Burger, Swissmem Berufsbildung

Autoren: Gody Berger  
Peter Meier-Herzog  
Heinz Renggli  
Mauro Sbriz

Version: 3. Auflage 2020  
Copyright © by Edition Swissmem, Zürich und Winterthur

Druck: gedruckt in der Schweiz

ISBN: 978-3-03866-393-5

Bezugsquelle: Swissmem Berufsbildung  
Brühlbergstrasse 4  
CH-8400 Winterthur  
Telefon +41 52 260 55 55  
Telefax +41 52 260 55 59  
vertrieb.berufsbildung@swissmem.ch  
www.swissmem-berufsbildung.ch

Urheberrecht: Alle Rechte vorbehalten. Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

In der Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie (MEM-Industrie) werden für den weltweiten Markt Produktionsanlagen aufgrund des Pflichtenhefts für den Kunden entwickelt und hergestellt. Dazu sind sehr gute Kenntnisse im gesamten Anlagenbau notwendig. Mit dem Lehrmittel **TopAutomation** sollen die technischen Grundlagen sowie sicherheitsrelevante und ökologische Zusammenhänge vermittelt werden.

Dieses Lehrmittel deckt den erforderlichen, schulischen Teil des vierjährigen Berufes Automatik-er/in EFZ vollumfänglich ab. Es ist wie gewünscht nach dem Kompetenzen-Ressourcen-Katalog (KoRe; Lehrbeginn 2016) des Berufes Automatik-er/in EFZ aufgebaut. Die Kapitelnummerierung entspricht dem KoRe. Die Inhalte umfassen Theorieteile sowie Praxisbeispiele.

Um Themen schneller zu finden, beinhaltet das Lehrmittel nebst dem Inhaltsverzeichnis auch ein Stichwortverzeichnis. Am Schluss des Lehrmittels ist als Übersicht der KoRe noch etwas detaillierter aufgeführt.

Natürlich können auch einzelne Inhalte für den dreijährigen Beruf Automatik-monteur/in EFZ genutzt werden.

Wir bedanken und freuen uns, dass Sie mit diesem praxisorientierten Lehrmittel arbeiten. Wir wünschen Ihnen im Unterricht viel Spass und Erfolg.

Leseprobe

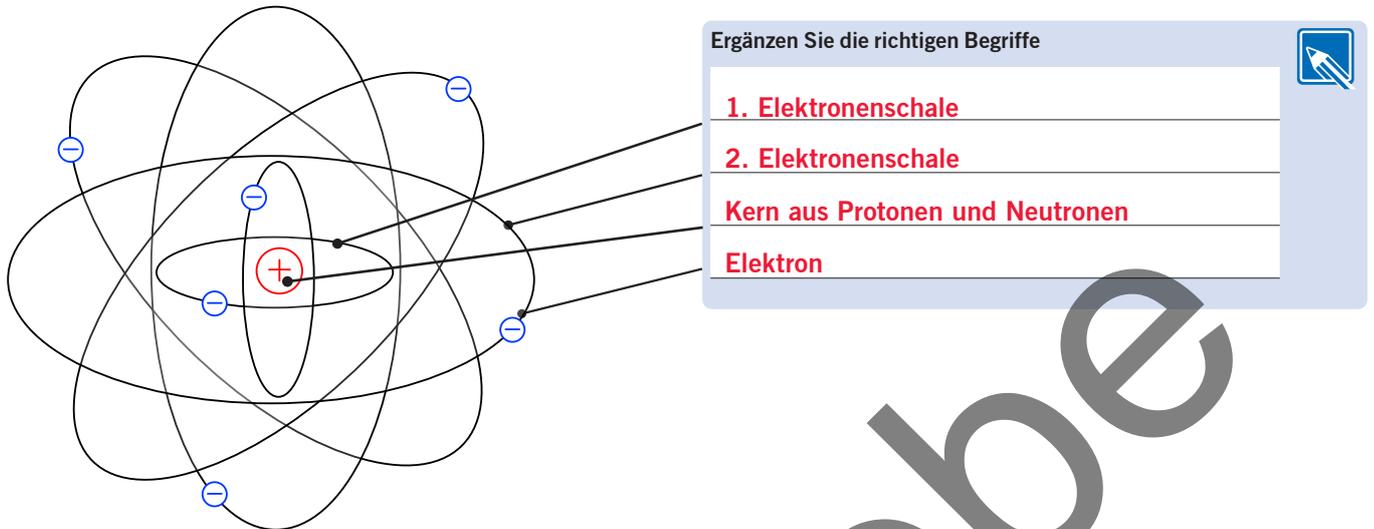
Leseprobe

<b>2.1 Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1.1 Ladung, Spannung, Strom und Stromdichte	7
2.1.2 Gesetze von Ohm und Kirchhoff	17
2.1.3 Widerstand	21
2.1.4 Ströme und Spannungen in gemischten Schaltungen	35
2.1.5 Schaltungen von Messgeräten (Strom- und Spannungsmessung)	40
2.1.6 Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	45
2.1.7 Elektrowärme	52
2.1.8 Galvanische Elemente	58
2.1.9 Spannung, Innenwiderstand, Belastungsarten	66
<b>2.2 Analogtechnik</b>	<b>69</b>
2.2.1 Nichtlineare Widerstände	69
2.2.2 Dioden und Transistoren	71
2.2.3 Leistungshalbleiter	79
<b>2.3 Elektrisches Feld</b>	<b>85</b>
2.3.1 Grundlagen Elektrisches Feld	85
2.3.2 Kondensator	89
<b>2.4 Magnetisches Feld</b>	<b>103</b>
2.4.1 Magnetisierung, Feldlinien	103
2.4.2 Strom, Magnetfeld, Kraftwirkungen	105
2.4.3 Magnetischer Kreis	107
2.4.4 Induktion, Selbstinduktion, Induktivität	112
2.4.5 Anwendungen	125
<b>2.5 Normen</b>	<b>127</b>
2.5.1 Grundlagen Normen	127
2.5.2 Spannungsbereiche, Leiterbezeichnungen	135
2.5.3 Grundsatz des Personen- und Sachenschutzes	143
2.5.4 Massnahmen gegen Personengefährdung	163
2.5.5 IP-Schutzsystem	174
2.5.6 Überstromschutz	177
<b>2.6 Wechselstromtechnik</b>	<b>197</b>
2.6.1 Wechselstromkenngrößen	197
2.6.2 Elektrische Verbraucher	200
2.6.3 Leistungarten	206
2.6.4 Drehstrom	207
2.6.5 Leistungsmessung	221
<b>2.7 Antriebstechnik, elektrische Maschinen</b>	<b>223</b>
2.7.1 Einphasen- und Drehstromtransformatoren und Messwandler	223
2.7.2 Rotierende Maschinen	237
2.7.3. Stromrichter	266
2.7.4. Anwendungen	276
<b>2.8 Freiraum Elektrotechnik</b>	<b>291</b>
2.8.1 Fehlerstrom, Ableitstrom und Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	291
2.8.2 Maschinenrichtlinien	307
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>323</b>
<b>Kompetenzen- und Ressourcenkatalog</b>	<b>325</b>

Leseprobe

### 2.1.1 Ladung, Spannung, Strom und Stromdichte

Elektrophysikalische Grundlagen zu den Begriffen **Ladung**, **Spannung** und **Strom**



**Der Atomkern** besteht aus schweren, stationären Teilchen, den elektrisch positiv geladenen Protonen und den neutralen Neutronen.

**Die Atomhülle** besteht aus kleinen, rasch den Kern umlaufenden Teilchen, den elektrisch negativ geladenen Elektronen.

Bei einigen Stoffen lassen sich die Elektronen der äussersten Schale vom Kern entfernen und zu anderen Atomen verschieben (**elektrische Leiter**).

Bei den **Nichtleitern** sind alle Elektronen fest an den Kern gebunden.

Eine **Bewegung von Elektronen** bezeichnet man als elektrischen

Strom

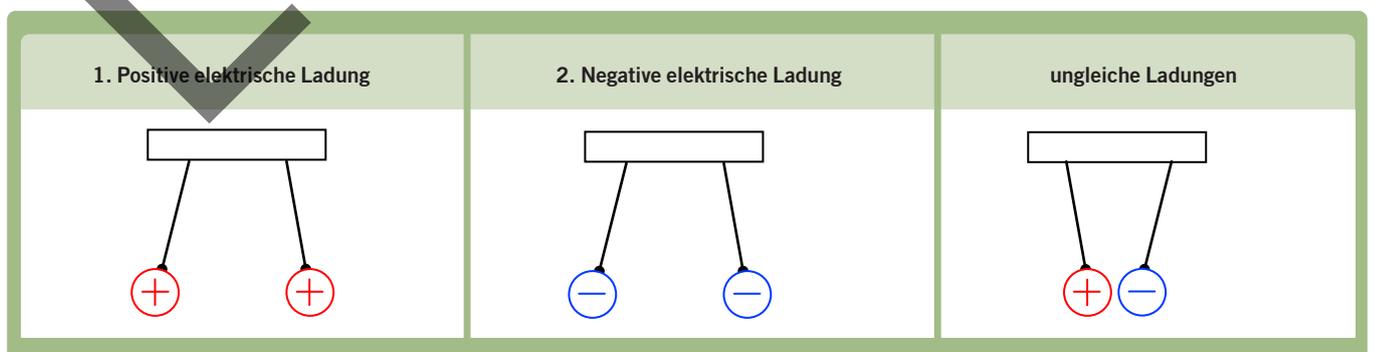
Eine **Anhäufung von Elektronen** nennt man elektrische

Ladung

**Elektrizität** (das «Zusammenwirken» von Elektronen) ist eine **Energieform**, die sich leicht transportieren oder in andere Energieformen umformen lässt, z.B. in Wärme, Strahlung (Licht) oder mechanische Energie.

#### Eigenschaften der elektrischen Ladung

Es gibt zwei Arten von elektrischen Ladungen:



stossen einander ab

stossen einander ab

ziehen einander an



**Schlussfolgerung:**

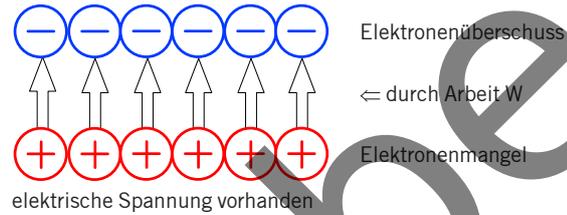
Gleiche Ladungen stossen einander ab, ungleiche Ladungen ziehen einander an.

### Elektrische Spannung U in Volt [V]

Das wissen wir schon:

Es gibt positive und negative Ladungen. Sie ziehen sich gegenseitig an. Im Normalfall treten sie gleichmässig verteilt auf. Sie neutralisieren sich dadurch. Gelingt es, negative Ladungen zu verschieben – mit Arbeitsaufwand –, werden an einer Stelle positive Ladungen und an der anderen Stelle negative Ladungen überwiegen. Zwischen den Ladungsgruppen herrscht jetzt ein Zustand der besonderen Art: ein Spannungszustand (Potentialunterschied).

Spannung entsteht durch: **Ladungstrennung**



Man nennt diese erzeugte Spannung auch Ur- oder Quellenspannung ( $U_0$ ). Die Quellenspannung ist der Quotient, gebildet aus der Arbeit  $W$ , die für die Ladungstrennung notwendig ist, und der zugehörigen Ladung  $Q$ .

$$U_0 = \frac{W}{Q}$$



**Eine Spannung kann vorhanden sein ohne Strom!  
Strom kann nur fließen, wenn Spannung vorhanden ist.**

Masseinheit der elektrischen Spannung:

**1 Volt [V]**

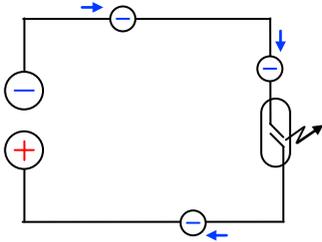
#### Beispiele von Spannungen:



galvanisches Element	1,5 V
Licht/Kraft	3 x 400 V/230 V
Tram, Trolleybus	500 – 800 V
SBB, Fahrdrabt	15 000 V
Freileitung	bis 400 kV (750 kV)
Telefon	48 – 60 V

**Elektrischer Strom I in Ampere [A]**

Verbindet man Ladungen mit verschiedenen Vorzeichen mit einem Draht, so findet ein Ladungsausgleich statt. Der Ladungsausgleich kann über eine Glimmlampe sichtbar gemacht werden. Die Glimmlampe zeigt durch ein kurzes Aufblitzen an, dass Ladung durch die Glimmlampe geflossen ist.



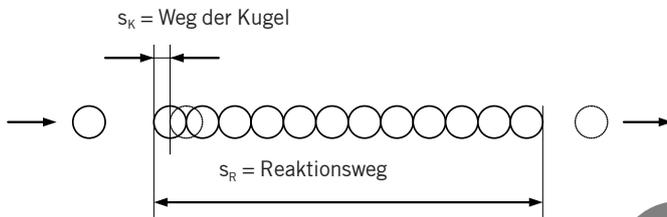
Der elektrische Strom ist bewegte Ladung.



in Metallen ist es der

Elektronenfluss.

Vergleich des Elektronenflusses mit Kugeln:



$$v_{\text{Impuls}} = \frac{s_R}{t}$$

$$v_{\text{Kugel}} = \frac{s_K}{t}$$

gross

klein

Impulsfortpflanzung der freien Elektronen:

≈ 300 000 km/s

Eigengeschwindigkeit der freien Elektronen:

≈ 0,4 mm/s

Masseinheit des elektrischen Stroms:

1 Ampere [A]

**Beispiele von Strömen:**

Phasenprüfer	1 mA
Kristallmikrofon	10 – 20 mA
Leuchtmittel	0,1 – 10 A
Alu-Herstellung	über 100 000 A





Seit 1948 wird das Ampere wie folgt definiert: **1 Ampere ist der konstante Strom, der im Vakuum zwischen zwei geraden, parallelen, 1 Meter voneinander entfernten Leitern unendlicher Länge und vernachlässigbarem Querschnitt eine Kraft von  $2 \cdot 10^{-7}$  N pro Meter Länge erzeugt.**

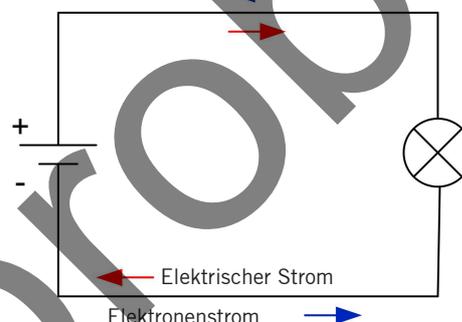
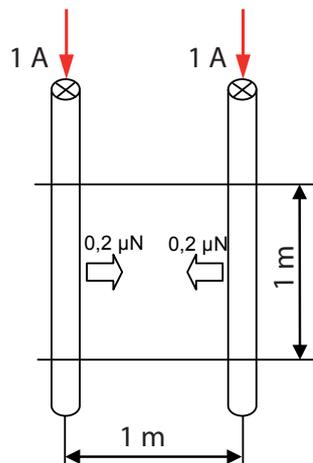
Ein Ampere entspricht einem Fluss von  $6,24150948 \cdot 10^{18}$  Elementarladungen  $e$  pro Sekunde durch den Leiterquerschnitt.

### Stromrichtung

Die Definition einer technischen Stromrichtung ist historisch bedingt und geht von einem Strom positiver Ladungen aus, der sich vom elektrisch positiven zum negativen Spannungspol bewegt. Zur Zeit dieser Festlegung waren die negativ geladenen Elektronen, die in metallischen Leitern als Ladungsträger vom negativen zum positiven Pol fließen, noch nicht bekannt. Die Definition für die technische Stromrichtung wurde auch nach der Entdeckung der Elektronen als einheitliche Konvention beibehalten.

### Beispiele:

Die Kupferleitung vom elektrischen Schalter zur Lampe ist 8 m lang. Wie lange braucht ein Elektron, um diese Strecke zurückzulegen?



### Lösung:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{8 \text{ m}}{0,0004 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 20000 \text{ s} = 5,55 \text{ h}$$

### Wie lange braucht der Stromimpuls für dieselbe Strecke?

$$t = \frac{s}{v} = \frac{8 \text{ m}}{300 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,0266 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 26,6 \text{ ns}$$

Der Akkumulator eines Autos hat eine Kapazität von 120 Ah. Er hat noch eine Restladung von 40 Ah. Wie gross muss der Ladestrom sein, wenn er in 12 h vollständig geladen sein soll?

### Lösung:

$$W = Q \cdot U \quad W = U \cdot I \cdot t$$

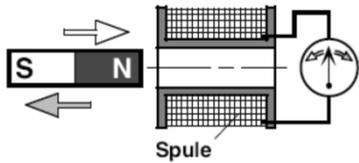
$$Q \cdot U = U \cdot I \cdot t \Rightarrow Q = I \cdot t$$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{80 \text{ Ah}}{12 \text{ h}} = 6,66 \text{ A}$$

**Spannungserzeugung**

Der notwendige «Druck» zum Bewegen von freien Ladungsträgern — die elektrische Spannung — kann auf verschiedene Arten erzeugt werden:

durch Induktion (wechselnde Magnetfelder)



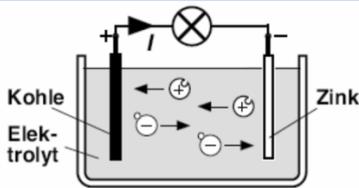
Ändert in einer Leiterschleife der magnetische Fluss, so wird eine Spannung induziert. Sofern der Stromkreis geschlossen ist, fließt ein Strom.

Anwendungen und Beispiele:



- Das ist die wichtigste Erzeugungsart elektrischer Energie
- Generator und Velodynamo
- dynamisches Mikrofon

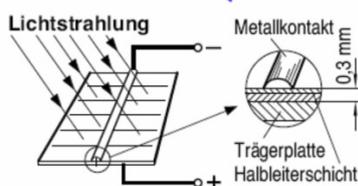
durch chemische Reaktion (Elektrochemie)



Taucht man zwei Leiterplatten in einen Elektrolyten, z.B. in Säure, entsteht zwischen den Platten Spannung. Durch elektrochemische Vorgänge entstehen auch im Nervensystem von Lebewesen Spannungen und Ströme.

- Batterien (galvanische Elemente)
- Akkumulatoren
- elektrochemische Korrosion

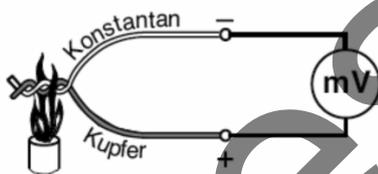
durch Licht (Fotovoltaik)



Ein Fotoelement wandelt Licht, z.B. Sonnenstrahlen, in elektrische Energie um. Das aktive Halbleiterelement mit Minus- und Pluspol besteht meistens aus dünnen Siliziumscheiben. Fällt Licht auf die Zelle, so entsteht eine elektrische Spannung.

- Fotozellen
- Alternativenergie

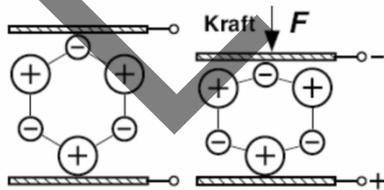
durch Wärme (Thermoelement)



Erwärmt man die Kontaktstelle zweier Metalle, so entsteht eine Spannung, die proportional mit der Temperatur ansteigt. Die produzierte elektrische Energie steht in einem sehr schlechten Verhältnis zur aufgewendeten Wärmeenergie.

- Temperaturmessung (hohe Temperaturen)
- Energiequelle für die Raumfahrt

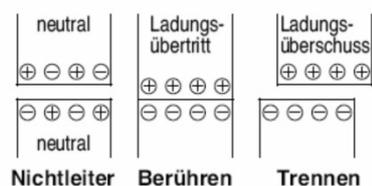
durch Kristallverformung (Piezoelektrizität)



Viele Kristalle, hauptsächlich Quarze, haben die Eigenschaft, sich bei mechanischer Zug- oder Druckbelastung durch Deformation des Ionengitters an der Oberfläche aufzuladen und dadurch Spannungen zu erzeugen.

- Kristallmikrofon
- Pickup (Plattenspieler)
- Zündung (Feuerzeug)
- Drucksensoren

durch Reibung (Influenz)



Durch Reiben oder Trennen von Isolierstoffen, aber auch durch Umschütten von nicht leitenden Flüssigkeiten entstehen Ladungen und damit hohe Spannungen. Diese statische Elektrizität entsteht meist ungewollt.

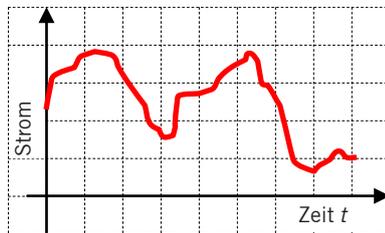
- Staubabscheider
- Unerwünschte Nebenerscheinung im Alltag
- Explosionsgefahr

## Stromarten

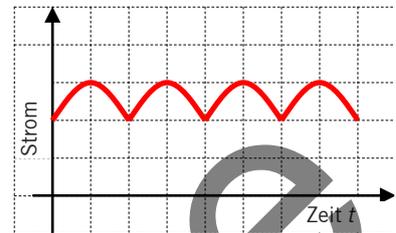
Gleichstrom Abkürzung: — oder DC (direct current)



konstanter Gleichstrom



pulsierender Gleichstrom



Wellstrom (Mischstrom)

Erzeuger:

Batterie

Gleichstromgenerator

Gleichrichter

Anwendungen:

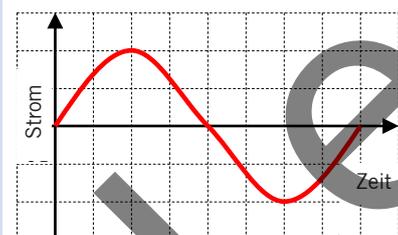
Elektrochemie

Telefonie

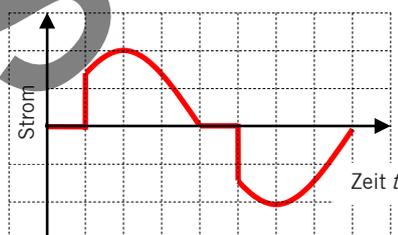
Steuerungselektronik



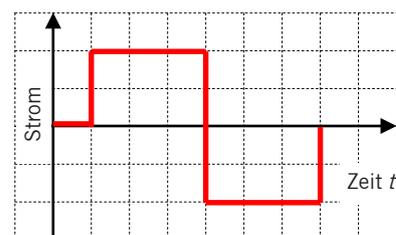
Wechselstrom Abkürzung: ~ oder AC (alternating current)



Sinusform



angeschnittene Sinusform



Rechteckform

Erzeuger:

Wechselstromgenerator

Transformator als Übertrager

Anwendungen:

Hausinstallation

SBB

Steuerungselektronik

Versorgungsnetz



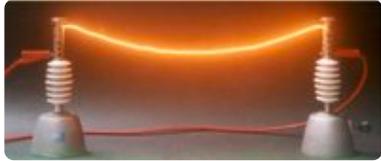


Der elektrische Strom ist nur an seinen Wirkungen erkennbar.

### Wirkungen des elektrischen Stroms

Einige Wirkungen treten immer auf, sie können nicht verhindert werden, andere beobachten wir nur unter bestimmten Bedingungen. Die wesentlichen Wirkungen sind:

#### Wärmewirkung tritt immer auf (Thermische Wirkung).



Durchfließt ein Strom einen Widerstand, wird dieser warm; es wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Bei Wärmeapparaten ist diese Wirkung erwünscht, bei Leitungen und Wicklungen muss sie in Kauf genommen werden.

#### Anwendungen und Beispiele:



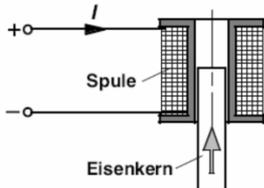
Heizung, Kochherd

LötKolben, Bimetall

Schmelzsicherung

Schmelzofen

#### Magnetische Wirkung tritt immer auf.



Jeder stromdurchflossene Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben. Diese Wirkung kann Kräfte erzeugen.

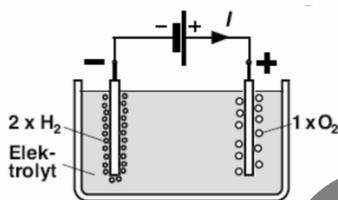
Elektromagnet (Relais)

Elektromotor

Messinstrumente

Hausglocke

#### Chemische Wirkung bei Strom in Flüssigkeiten



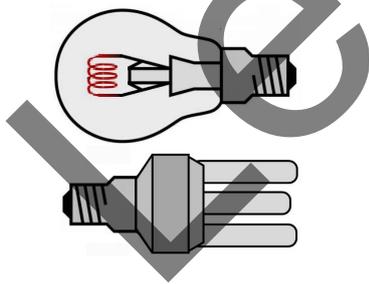
In leitenden Flüssigkeiten (Säuren, Laugen, Salzlösungen) besteht der Stromfluss aus Ionen. Dabei wird Material «transportiert» (Galvanotechnik), oder die Flüssigkeit wird chemisch zerlegt (Elektrolyse).

Elektrolyse zur Gewinnung von «H».

Analyse

Galvanisieren

#### Lichtwirkung durch Glühen und bei Strom in Gasen



In den Glühlampen entsteht das Licht durch Wärmewirkung in einem weiss-glühenden Wolframdraht. Nur etwa 5 % der elektrischen Energie wird zu Licht.

Bei den Entladungslampen bringt der Strom ein Gas mit geringem Druck zum Leuchten (Zusammenprall von Atomen, Ionen und Elektronen). Wirkungsgrad ca. 20 %.

Glühlampen

Halogenlampen

Gasentladungslampen

(Glimm-, Leuchtstoff-,

Metalldampflampen)

#### Reizwirkung bei Strom durch Lebewesen (Physiologische Wirkung)



Elektrizität reizt und beeinflusst das Nervensystem von Lebewesen. Bei Überschreitung eines Grenzwertes verursacht Strom Muskelkrämpfe. Bereits kleine Ströme (ab 30 mA) können zu einem Herzstillstand führen, grössere Ströme verursachen Verbrennungen und Tod.

Allgemeiner Grenzwert ab 50 mA ist lebensgefährlich. Wechselspannung ab 50 V und Gleichspannung ab 120 V sind lebensgefährlich.

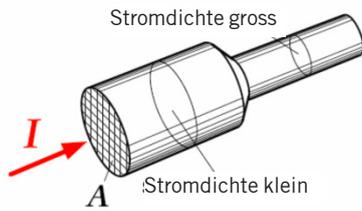
Elektronfälle

Elektromedizin

(Herzschrittmacher, Elektroschock)

Weidezäune

Stromdichte  $J$  in  $\frac{A}{mm^2}$



$$J = \frac{I}{A}$$

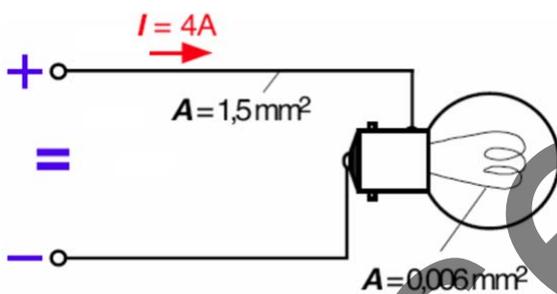


### Beispiel:

Der unten abgebildete Stromkreis zeigt die verschiedenen Leiterabschnitte. Die Zuleitung (Hin- und Rückleiter) hat einen Querschnitt von  $1,5 \text{ mm}^2$ . Damit der Draht einer Glühlampe glüht, muss die Stromdichte mindestens  $500 \text{ A/mm}^2$  betragen.

- Wie gross ist die Stromdichte in der Zuleitung?
- Wie gross ist die Stromdichte des Glühfadens?

Lösung:



$$J_L = \frac{I}{A_L} = \frac{4 \text{ A}}{1,5 \text{ mm}^2} = 2,67 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$J_{GL} = \frac{I}{A_{GL}} = \frac{4 \text{ A}}{0,006 \text{ mm}^2} = 667 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Querschnitt A in $\text{mm}^2$	Strom in A	Stromdichte J in $\text{A/mm}^2$
1	6	6
1,5	16	10,67
2,5	20	8
4	25	6,25
6	32	5,33
10	40	4
16	63	3,93
25	80	3,2
35	100	2,86
50	125	2,5

Zuordnung der Strombelastbarkeit zu den Querschnitten für ortsfest verlegte Kupferleiter. Die höchstzulässigen Dauerströme und damit die Absicherung für elektrische Leitungen sind nach NIN (Niederspannungs-Installationsnormen) und EN60204 festgelegt. Sie sind abhängig vom Leitungsquerschnitt und von der Verlegungsart. Die Verlegungsart beeinflusst die Kühlung der Leitungen.

Zu starke Leitererwärmung zerstört die Isolation des Leiters.

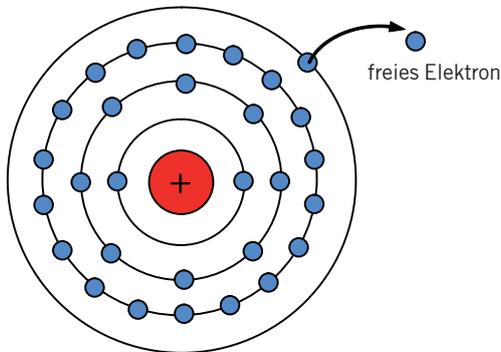
Die Wärme wird von der Oberfläche des Leiters abgeführt, daher ist die höchstzulässige Stromdichte bei grösseren Querschnitten geringer. Je grösser ein Leiterquerschnitt, desto kleiner ist die Oberfläche pro  $\text{mm}^2$  Querschnitt.

Zudem ist die Erwärmung vom spezifischen Widerstand des Leitermaterials und von den gegebenen Kühlmöglichkeiten abhängig.

## Leiter, Nichtleiter und Halbleiter

### Stromleitung in Metallen

Kupferatom: Ordnungszahl 29  $\Rightarrow$  29 Protonen  
29 Elektronen

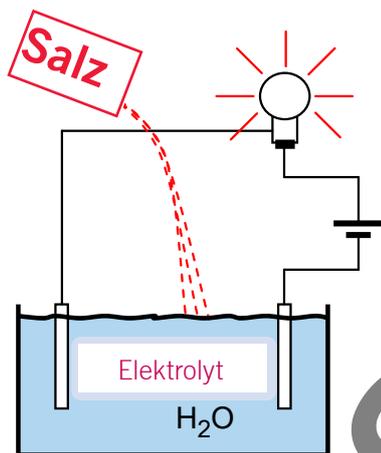


Die den elektrischen Strom bildenden Ladungsträger sind beim Kupfer und bei Metallen die freien Elektronen auf den äussersten Schalen.

Die äusserste Schale ist sehr weit weg vom Kern und ausserdem nicht gesättigt. Dadurch haben diese Elektronen nur sehr kleine Bindungskräfte und können vom Atom wegspringen. Das äusserste Elektron auf der 4. Schale hat nur noch eine sehr kleine Bindung zum eigenen Atomkern. Beim kleinsten Anstoss durch die Wärmebewegung des Atomgitters springt es weg und vagabundiert von Atom zu Atom. Somit sind die freien Elektronen Grundlage des fließenden Stroms in Metallen.

In Metallen sind die Elektronen die Ladungsträger.

### Stromleitung in Flüssigkeiten

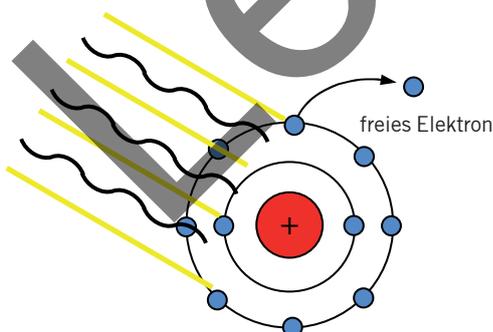


Destilliertes Wasser ist ein Nichtleiter. Es kann kein Strom fließen. Durch Beifügen von Salz wird das destillierte Wasser leitend. Die Salzmoleküle zerfallen zu Natrium- und Chlorionen.



In Flüssigkeiten sind die Ionen die Ladungsträger.

### Stromleitung in Gasen



Gase sind im Normalzustand Nichtleiter, weil sie keine freien Elektronen haben. Durch Energiezufuhr können jedoch Elektronen aus ihrer Bahn gerissen werden. Es verbleiben frei bewegliche Elektronen und frei bewegliche, positiv geladene Atomreste.

Folgende physikalischen Gegebenheiten bewirken eine Ionisation:

- Wärme
- elektrische Felder
- magnetische Felder
- radioaktive und kosmische Strahlung
- hohe Spannung (Gasentladungslampen)

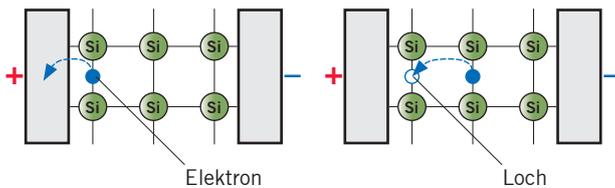
In Gasen sind die Ionen und die Elektronen die Ladungsträger.

### Stromleitung in Halbleiterwerkstoffen

Als Halbleiterwerkstoffe verwendet man fast ausschliesslich die Grundstoffe Silizium, Germanium oder chemische Verbindungen, wie zum Beispiel Galliumarsenid oder Indiumantimonid. Halbleiterwerkstoffe müssen ausserordentlich rein sein.

Bei sehr tiefen Temperaturen sind Halbleiterwerkstoffe Nichtleiter. Erst durch Zusetzen von Fremdstoffen, durch Lichteinstrahlung oder durch elektrische oder magnetische Felder, werden sie leitfähig.

Halbleiterwerkstoffe werden zur Herstellung von elektronischen Bauelementen verwendet (Dioden, Z-Dioden, Transistoren, Heiss- und Kaltleiter, IGBTs usw.).



Halbleiteratome bilden ein Kristallgitter. Silizium hat auf der äusseren Schale vier Valenzelektronen.

Durch Anlegen einer Spannung wird ein elektrisches Feld angelegt, welches die freien Atome vom Minus- zum Pluspol treibt. Sobald sich ein Valenzelektron aus seiner Atombindung entfernt, entsteht dort eine Lücke. Ein benachbartes Valenzelektron kann diese Lücke wieder auffüllen, sodass die Lücke vom Plus- zum Minuspol wandert.

**i** **Dotieren:** Bei Silizium werden Fremdatome mit niedriger, zum Beispiel 3 Valenzelektronen, oder höherer Wertigkeit, zum Beispiel fünf Valenzelektronen, zugefügt.

**i** **Leiter** sind alle Metalle, Kohle, feuchte Erde und manche Flüssigkeiten.  
**Nichtleiter (Isolierstoffe)** sind zum Beispiel Luft, Gummi, Glas oder Kunststoffe.  
**Halbleiter** sind zum Beispiel Silizium und Germanium.

### 2.1.2 Gesetze von Ohm und Kirchhoff

#### Elektrischer Widerstand R in $\Omega$

Ladungsträger, die sich durch einen Werkstoff bewegen, werden mehr oder weniger in ihrem Fluss behindert. Diese Behinderung ist die Folge der Reibung zwischen den Ladungsträgern (z.B. Elektronen) und den Atomen des Werkstoffes (z.B. metallischer Leiter). Die Elektronen bewegen sich auf einem «Zickzackkurs» zwischen den Atomen des elektrischen Leiters, sie erfahren dabei einen Widerstand in ihrer Bewegung.

#### Elektrischer Leitwert G in S

Der Kehrwert des elektrischen Widerstandes ist der **Leitwert** und nicht zu verwechseln mit der **Leitfähigkeit**. Leitwerte werden vor allem dort verwendet, wo die elektrischen Widerstände sehr klein sind.

Formelzeichen: R

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

Einheit: 1 Ohm (1  $\Omega$ )

Formelzeichen: G

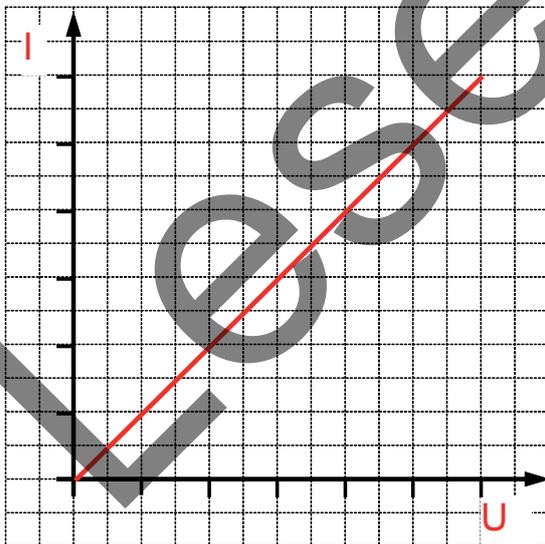
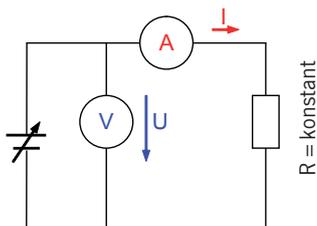
$$G = \frac{1}{R}$$

Einheit: 1 Siemens (1 S)

#### Das Ohmsche Gesetz

##### Versuch 1:

Verhalten des Stroms bei veränderlicher Spannung und gleichbleibendem Widerstand.

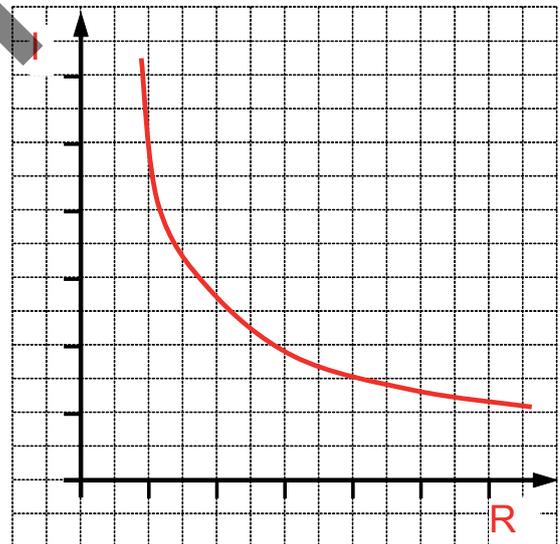
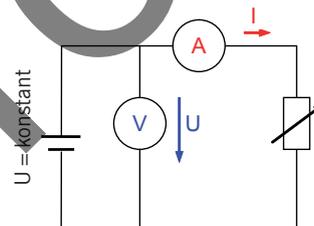


##### Ergebnis:

Der Strom ändert sich im gleichen Verhältnis wie die Spannung.

##### Versuch 2:

Verhalten des Stroms bei veränderlichem Widerstand und gleichbleibender Spannung.



##### Ergebnis:

Der Strom ändert sich im umgekehrten Verhältnis wie der Widerstand.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus Versuch 1 und 2:

1. I ist proportional zu U

2. I ist umgekehrt proportional zu R = proportional zu

$$\frac{1}{R} \Rightarrow \text{Daraus folgt: } I = \frac{U}{R}$$

**Ohmsches Gesetz**

**Berechnungen zum ohmschen Gesetz**

1. Ein Relais mit  $40 \text{ k}\Omega$  Widerstand wird an  $48 \text{ V}$  Gleichspannung angeschlossen. Wie gross ist der Strom in der Spule?

**Lösung:**

$$I = \frac{U}{R} = \frac{48 \text{ V}}{40 \text{ k}\Omega} = 1,2 \text{ mA}$$

2. Eine Glühlampe nimmt beim Anschluss an  $24 \text{ V}$  Gleichspannung  $250 \text{ mA}$  auf. Berechnen Sie den Widerstand der Glühlampe.

**Lösung:**

$$R = \frac{U}{I} = \frac{24 \text{ V}}{250 \text{ mA}} = 96 \Omega$$

3. Durch einen Widerstand von  $22 \Omega$  fliessen  $8,5 \text{ A}$ . Welche Spannung ist erforderlich?

**Lösung:**

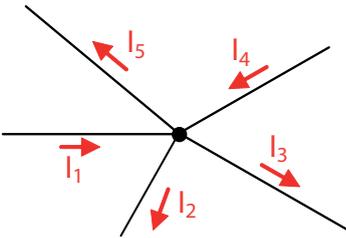
$$U = R \cdot I = 22 \Omega \cdot 8,5 \text{ A} = 187 \text{ V}$$

4. Durch einen ohmschen Widerstand fliesst bei angelegter Spannung Strom. Kreuzen Sie an, ob die folgenden Angaben richtig oder falsch sind.

**Lösung:**

Richtig	Falsch	
	X	Wird die Spannung erhöht, so sinkt der Strom.
X		Wird der Widerstand verkleinert, so steigt der Strom.
X		Soll die Stromstärke konstant bleiben, so muss bei einer Erhöhung der Spannung der Widerstand ebenfalls erhöht werden.

## Knotensatz (1. Kirchhoffsches Gesetz)



Das 1. Kirchhoffsche Gesetz besagt, dass in jedem Stromverzweigungspunkt die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme ist.

In einem Knoten ist die Summe aller Ströme jederzeit gleich null.

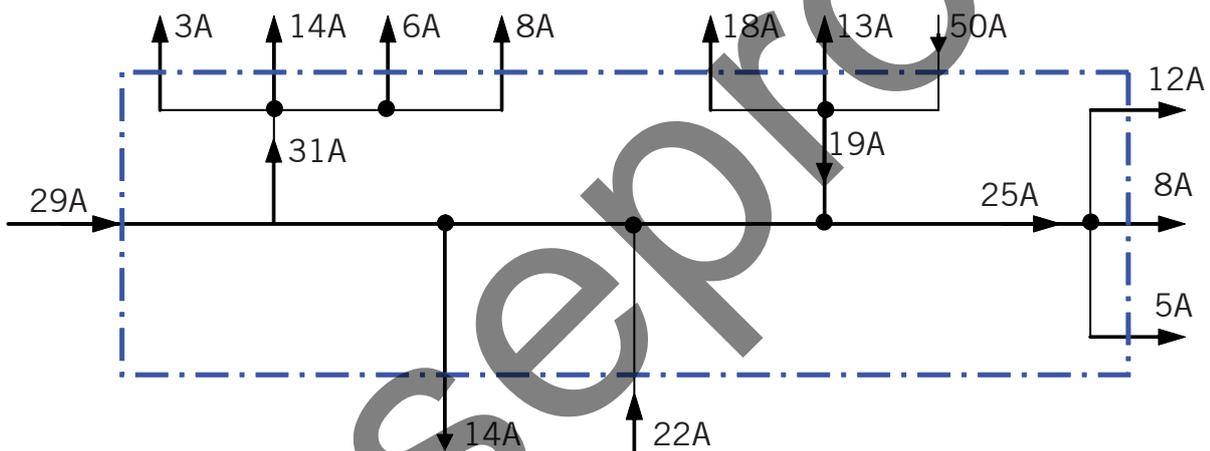
**i** Ströme, die auf einen Knotenpunkt zufließen, erhalten ein positives Vorzeichen, Ströme, die abfließen, ein negatives.

$$\sum I = 0$$

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

## Beispiel:

Bestimme in den verschiedenen Leitungsabschnitten den Strom  $I$  und trage die entsprechende Stromrichtung ein.



## Probe:

Zufließende Ströme:  $29\text{ A} + 22\text{ A} + 50\text{ A} = 101\text{ A}$

Abfließende Ströme:  $3\text{ A} + 14\text{ A} + 6\text{ A} + 8\text{ A} + 18\text{ A} + 13\text{ A} + 12\text{ A} + 8\text{ A} + 5\text{ A} + 14\text{ A} = 101\text{ A}$