

Grundbildung IT-Systemelektroniker

Grundlagen der Elektrotechnik LF-2

Mitschriften der Ausbildung

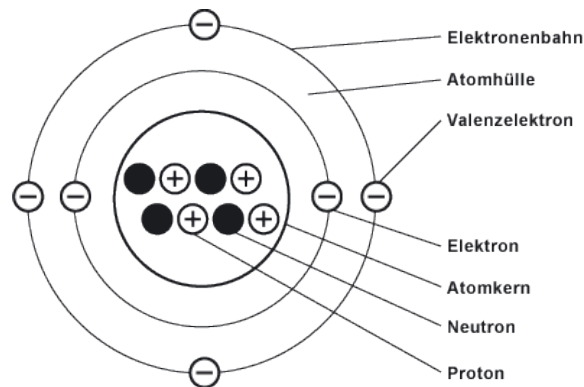
Jörg Schumann

13. Februar 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Ladungsträger	3
2	elektrische Spannung	3
3	elektrischer Strom	4
3.1	elektrische Stromstärke	4
4	Spannungserzeugung	5
4.1	Physikalische und technische Stromrichtung	5
5	Das ohmsche Gesetz	6
5.1	graphische Darstellung	7
6	Eigenschaften elektrischer Leiter	8
6.1	spezifische Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand	8
6.2	Stromdichte	9
6.3	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	9
7	elektrische Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad	11
7.1	Elektrische Arbeit, Energie	11
7.2	elektrische Leistung (P)	12
7.3	Wirkungsgrad	12

1 Ladungsträger



- Atome sind durch gleiche Anzahl von Elektronen und Protonen nach außen elektrisch neutral
- je weiter ein Elektron vom Atomkern entfernt ist, desto höher ist sein Energieniveau und so geringer seine Bindungsenergie zum Kern

Elementarladung (e): $1\text{As} = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 6,24151 \cdot 10^{18} \text{As} = \text{Ampere-Sekunde}$

2 elektrische Spannung

Spannung entsteht, wenn Elektronen von einem Atom entfernt werden.

$$1\text{As} = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 6,24151 \cdot 10^{18}$$

$$1\text{As} = 1\text{C (Coulomb)}$$

$$W = F \cdot s \text{ (mech.Arbeit=Kraft*Weg) [Nm] (Newtonmeter)}$$

$$F = m \cdot a \text{ (Kraft=Masse*Beschleunigung) [N] oder } \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = P \cdot t \text{ (elektrische Arbeit=elektrische Leistung*Zeit [Ws] oder [VAs]}$$

Um 1V Spannung zu erzeugen benötigt man 1Ws oder 1 Nm.

$$U = \frac{W}{Q} [1\text{V} = \frac{1\text{Ws}}{\text{As}} = \frac{1\text{VAs}}{\text{As}}]$$

Q=elektrische Ladung

Um Elektronen von einem Körper auf einen anderen zu übertragen benötigt man einen Generator.

- Pluspol = Elektronenmangel
- Minuspol = Elektronenüberschuss

3 elektrischer Strom

- Elektrische Spannung kann nur zwischen zwei Polen bestehen.
- elektrische Spannungen treten nur dann auf, wenn zwischen den beiden Polen Ladungsunterschiede bestehen
- elektrische Spannungen sind Ursache des elektrischen Stromes

**Die Einheit der elektrischen Spannung ist VOLT [V]
das Formelzeichen ist U.**

3 elektrischer Strom

Der elektrische Strom ist die Menge in einer Richtung bewegter Ladungsträger.

Der elektrische Strom kann bestimmt werden, indem die Menge der frei bewegliche Ladungsträger "gezählt" wird, die innerhalb einer bestimmten Zeit durch einen Leiter fließt.

- 1 ein elektrischer Strom kann nur fließen, wenn eine elektrische Spannung vorhanden ist
- 2 ein elektrischer Strom erwärmt den Leiter
- 3 ein elektrischer Strom erzeugt ein Magnetfeld

**Die Einheit des elektrischen Stromes ist das AMPERE [A]
Das Formelzeichen ist I**

3.1 elektrische Stromstärke

Die elektrische Stromstärke gibt an, wie viel elektrische Ladungen (Elektronen, Ionen) in einer bestimmten Zeit bewegt werden.

$$I = \frac{Q}{t} [1A = \frac{1As}{1s}]$$

Ein elektrischer Strom hat eine Stromstärke von 1A wenn pro Sekunde $6,24252 \cdot 10^{18}$ Elementarladungen (Ladungsträger: Elektronen, Ionen) durch einen Leitungsquerschnitt fließen.

- Damit Strom fließen kann, müssen Körper unterschiedlicher Ladung über einen Leiter miteinander verbunden sein.
- Die Anzahl der Ladungsträger, die pro Sekunde durch den Leiter fließen können, ist abhängig von der Leitfähigkeit des Leiters bzw. dessen Widerstand.

**sinkende Leitfähigkeit = Ladungsaustausch dauert länger
steigende Leitfähigkeit = Ladungsaustausch geht schneller**

4 Spannungserzeugung

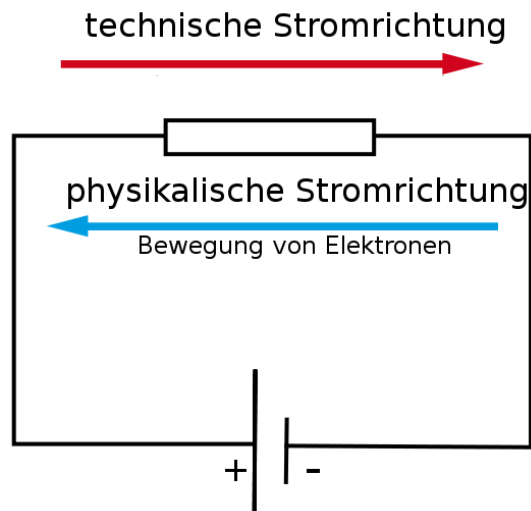
1. Spannungserzeugung durch Induktion
(Generator, Dynamo, elektr. Maschine)
2. Spannungserzeugung durch elektrochemische Vorgänge
(Batterie, Akkumulatoren)
3. Spannungserzeugung durch Reibung
(Textilien, Gewitterblitze)
4. Spannungserzeugung durch Licht
(Fotovoltaik, Solarzellen, Belichtungsmesser)
5. Spannungserzeugung durch Wärme
(Seebeck-Effekt)
6. Spannungserzeugung durch Oxydation von Wasserstoff H_2
(Brennstoffzelle)

4.1 Physikalische und technische Stromrichtung

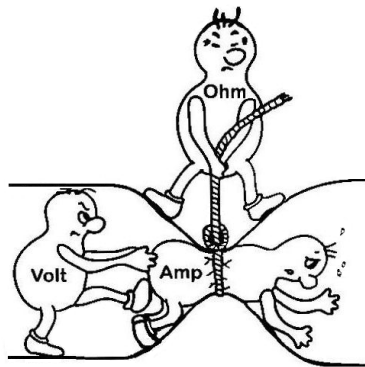
Die früher willkürlich festgelegte **technische Stromrichtung** vom Pluspol zum Minuspol einer Spannungsquelle ist physikalisch falsch.

Tatsächlich, physikalisch richtig, bewegen sich die Elektronen vom Minuspol zum Pluspol.

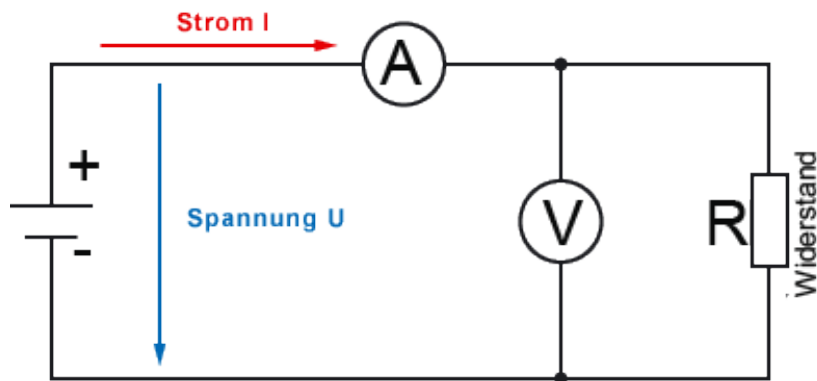
In der Elektrotechnik wird mit der technischen Stromrichtung gearbeitet!



5 Das ohmsche Gesetz



Die Größe des fließenden Stromes hängt von der Größe der Spannung U und der Größe des Widerstandes R und der elektr. Leitfähigkeit der Zuleitungen ab



$$I = G * U \quad [1A = \frac{1A}{1V} * 1V]$$

$$G = \frac{I}{U} \quad [1S = \frac{1A}{1V}] \quad S = \text{Siemens}$$

- I =Strom (in Ampere [A])
- G =elektrische Leitfähigkeit (Leitwert)(in Siemens [S])
- U =Spannung (in Volt [V])

Anstelle des Leitwertes arbeitet man mit dem Widerstand R .

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

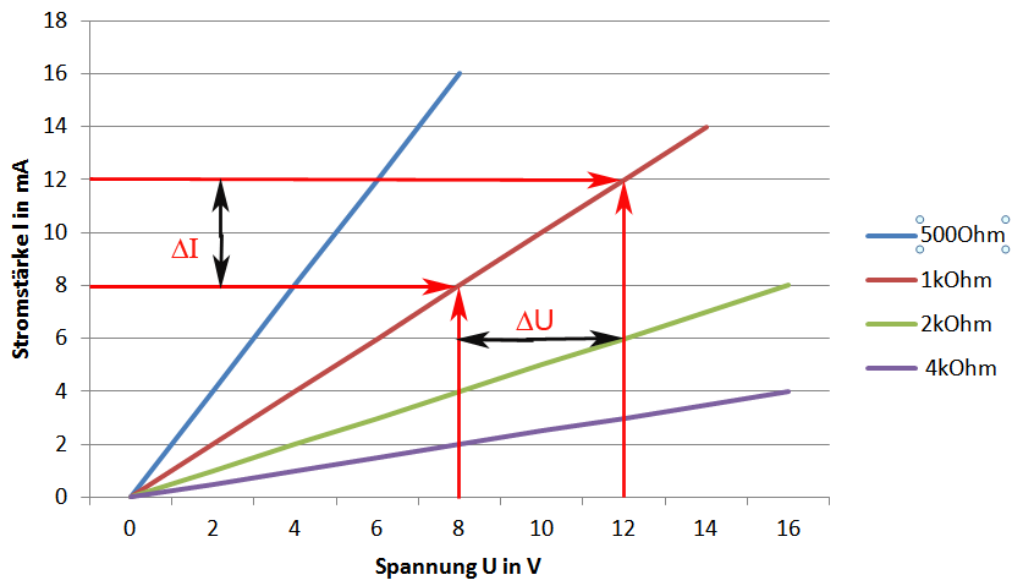
$$[\Omega = 1 \frac{V}{A} = \frac{1}{\frac{1A}{1V}}]$$

Für die Beziehung von Strom, Spannung und Widerstand gilt:

$$\begin{aligned} I &= \frac{U}{R} \text{ bei } R=\text{Konstant} \\ [1\text{A} &= \frac{1\text{V}}{1\Omega}] \\ U &= I * R [1\text{V} = 1\text{A} * 1\Omega] \\ R &= \frac{U}{I} [1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}}] \end{aligned}$$

5.1 graphische Darstellung

$I = f(U)$ Funktionsgleichung dieser linearen Funktion



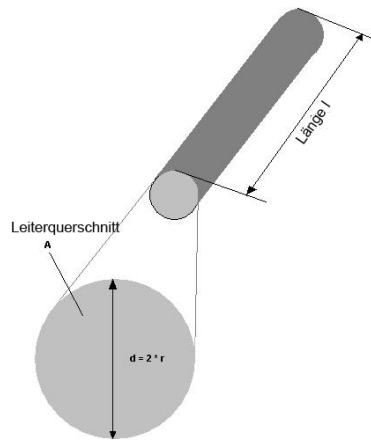
$$\frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{4\text{mA}}{4\text{V}} = 1 * 10^{-3} \text{s}(\frac{1}{\Omega}) \rightarrow R = \frac{1}{G} = \frac{1}{0,001\text{s}} = 1\text{k}\Omega$$

Gesetzmäßigkeit I-U Diagramm:

- je größer der Widerstand R desto flacher die Kennlinie.
- der Anstieg der Kennlinie ist ein Maß für die Größe des Widerstandes.

6 Eigenschaften elektrischer Leiter

6.1 spezifische Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand



$$A = 1 \text{ mm}^2$$

$$l = 1 \text{ m}$$

$$\vartheta = 20^\circ \text{C (Theta)}$$

κ = spezifischer Leitwert (Kappa)

$$\left[\frac{1 \text{ m}}{\frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} * 1 \text{ mm}^2} = \frac{1 \text{ m}}{1 \Omega * 1 \text{ mm}^2} = \frac{1 \text{ Sm}}{1 \text{ mm}^2} \right]$$

Der Kehrwert des spezifischen Leitwertes κ ist der spezifische Widerstand ρ (Rho)

$$\left[\frac{\frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} * 1 \text{ mm}^2}{1 \text{ m}} = \frac{1 \Omega * 1 \text{ mm}^2}{1 \text{ m}} = \frac{1 \text{ mm}^2}{\text{Sm}} \right]$$

Mit Hilfe des spezifischen Leitwertes lässt sich der Widerstand R und der Leitwert G eines Leiters berechnen:

$$\text{Widerstand } \mathbf{R} = \frac{1}{\kappa} * \frac{l}{A} = \frac{l}{\kappa * A} \text{ oder } \mathbf{R} = \frac{\rho * l}{A}$$

$$\text{Leitwert } \mathbf{G} = \kappa * \frac{A}{l} = \frac{\kappa * A}{l} \quad R = \frac{\rho * l}{A}$$

6.2 Stromdichte

Infolge der Energieumwandlung erwärmt sich jeder elektrische Leiter, wenn er von einem Strom durchflossen wird.

Diese Erwärmung ist nicht nur von der Stromstärke I , sondern auch vom Querschnitt A des Leiters abhängig. Das Verhältnis zwischen Strom und Querschnitt wird als Stromdichte S oder J bezeichnet.

$$\text{Einheit: } 1 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Gleichung: } \mathbf{J} = \frac{I}{A}$$

Einsatz / Verwendung:

- maximal zulässige Stromdichte in der Elektroinstallation
- Galvanotechnik
- Solarzellen Bemessung der Anschlüsse

Berechnungsbeispiel:

Die Zuleitung für eine gedruckte Schaltung hat einen Querschnitt $A_z = 0,25\text{mm}^2$. Auf der Platine verringert sich der Querschnitt auf $A_p = 0,05\text{mm}^2$.

Wie groß ist die Stromdichte S_1 und S_2 wenn ein Strom von $I=1,25\text{A}$ fließt?

$$I = 1,25\text{A}; A_z = 0,25\text{mm}^2; A_p = 0,05\text{mm}^2$$

$$S_1 = \frac{I}{A_z} = \frac{1,25\text{A}}{0,25\text{mm}^2} = 5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$S_2 = \frac{I}{A_p} = \frac{1,25\text{A}}{0,05\text{mm}^2} = 25 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

6.3 Temperaturabhängigkeit des Widerstandes

Spezifische Leitfähigkeit κ und spezifischer Widerstand ρ eines Leitermaterials werden immer für eine Temperatur ϑ des Werkstoffes angegeben.

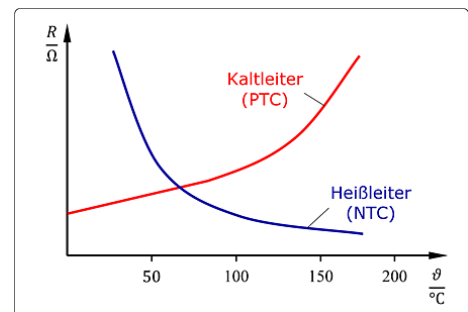
Art und Größe der Temperaturabhängigkeit werden durch den Temperaturkoeffizienten α (Temperaturbeiwert) zum Ausdruck gebracht.

positiver Temp-Koeffizient: α

- Kaltleiter (PTC)
- Widerstand steigt mit steigender Temp.

negativer Temp-Koeffizient: $-\alpha$

- Heißleiter (NTC)
- Widerstand sinkt mit sinkender Temp.



Temperaturabhängige Widerstandsänderung ΔR :

$$\Delta R = R_{20} * \alpha * \Delta T \quad [\Omega = \Omega * \frac{1}{K} * K]$$

- ΔR =Widerstandsänderung in Ω
- R_{20} =Widerstandswert bei $\vartheta = 20^\circ C$
- α =Temperaturkoeffizient in $\frac{1}{K}$ ($\frac{1}{Kelvin}$)
- ΔT =Temperaturdifferenz in K (Kelvin)

Berechnungsbeispiel:

Leiter Cu (Kupfer) Temperaturkoeffizient bei $20^\circ C$ $\alpha = 4,3 \frac{10^{-3}}{K} = 0,0043 \frac{1}{K}$

$R_{20} = 4,4\Omega$ gesucht: ΔR bei $120^\circ C (=120K$ Rechenwert)

$$\Delta T = 120K - 20K = 100K$$

$$\Delta R = \frac{4,4\Omega * 0,0043 * 1 * 100K}{K} = 1,892\Omega$$

$$R = R_{20} + \Delta R = 4,4\Omega + 1,892\Omega = 6,292\Omega$$

Kupfer hat also bei $120^\circ C$ einen Widerstand (1mm Durchmesser; 1m Länge) von $6,292\Omega$.

Berechnung des Widerstandswertes nach Erwärmung R_{ϑ} :

$$R_{\vartheta} = R_{20} + \Delta R$$

$$R_{\vartheta} = R_{20} + R_{20} * \alpha * \Delta T$$

$$= R_{20}(1 + \alpha * \Delta T)$$

Berechnungsbeispiel:

Eine Leiterbahn aus Al (Aluminium) ($\alpha = 0,004 \frac{1}{K}$) hat bei $\vartheta = 20^\circ C$ einen Widerstand von $100\Omega (R_{20})$.

Wie ist der Widerstand R_{ϑ} bei einer Temperaturerhöhung um $40K$?

$$\alpha = 0,004 \frac{1}{K}; R_{20} = 100\Omega; \Delta T = 40K$$

$$R_{\vartheta} = 100\Omega(1 + \frac{0,004 * 1 * 40K}{K}) = 116\Omega$$

7 elektrische Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad

Eine Wicklung aus Cu (Kupfer) hat bei $\vartheta = 20^{\circ}\text{C}$ einen Widerstand von $R_{20} = 18,2\Omega$, bei Betriebstemperatur wurde ein Widerstand $R_{\vartheta} = 28,8\Omega$ gemessen.

Auf welche Temperatur hat sich die Wicklung erwärmt?

$$\begin{aligned}R_{\vartheta} &= R_{20}(1 + \alpha * \Delta T) \quad | : R_{20} \\ \frac{R_{\vartheta}}{R_{20}} &= 1 + \alpha * \Delta T \quad | - 1 \\ \frac{R_{\vartheta}}{R_{20}} - 1 &= \alpha * \Delta T \quad | : \alpha \\ \frac{\frac{R_{\vartheta}}{R_{20}} - 1}{\alpha} &= \Delta T \\ \Delta T &= \frac{\frac{28,8\Omega}{18,2\Omega} - 1}{0,0043\frac{1}{\text{K}}} = 135,5\text{K} \\ \vartheta &= 20^{\circ}\text{C} + \Delta T = 155,5^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

7 elektrische Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad

7.1 Elektrische Arbeit, Energie

mechanische Arbeit: $W = F * s$ (Kraft * Weg)

übertragen auf elektrische Arbeit: $W = U * Q \Leftarrow Q = I * t$

$$W = U * I * t \text{ (Spannung*Stromstärke*Zeit)}$$

$$[1\text{V} * 1\text{A} * 1\text{s} = 1\text{Ws} = 1\text{J(Joule)}]$$

In einem geschlossenen Stromkreis wird elektrische Arbeit verrichtet, wenn infolge einer Spannung U ein Strom I über eine bestimmte Zeit t fließt.

$$1\text{Ws} = \frac{1}{3600}\text{Wh} = 0,000278\text{Wh}$$

$$1\text{kWh} = 1000 * 3600\text{Ws} = 3600000\text{Ws}$$

$$1\text{Wh} = 3600\text{Ws}$$

Berechnungsbeispiel:

Welche elektrische Arbeit wird verrichtet, wenn ein Heizgerät an einer Netzspannung $U=230\text{V}$ angeschlossen ist und in einer Zeit $t=4\text{h}20\text{min}$ ein Strom $I=8,2\text{A}$ fließt?

$$W = U * I * t = 230\text{V} * 8,2\text{A} * 4,33\text{h} = 8166,38\text{Wh} = 8,17\text{kWh}$$

Was kostet 1Stunde bei 0,20 Euro je kWh?

$$W_{1\text{h}} = 230\text{V} * 8,2\text{A} = 1886\text{Wh} = 1,886\text{kWh} \implies \frac{1,886\text{kWh} * 0,20\text{Euro}}{\text{kWh}} = 0,38\text{Euro}$$

7.2 elektrische Leistung (P)

$$P = \frac{W}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I$$

$$P = U \cdot I \quad [1V \cdot 1A = 1W]$$

Beispiele:

- Glühlampe 25W
- Heizgerät 2kW
- E-Herd 3,5-4kW
- Lautsprecher 50W

Bei einem konstanten ohmschen Widerstand R kann man weitere wichtige Zusammenhänge zwischen der Leistung P und dem Widerstand R herstellen:

$$U = R \cdot I \quad \text{---} \quad P = U \cdot I$$

$$P = R \cdot I^2 \quad \text{---} \quad [W = \frac{V}{A} \cdot A^2 = V \cdot A]$$

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{---} \quad P = U \cdot I$$

$$P = \frac{U \cdot U}{R} = \frac{U^2}{R} \quad \text{---} \quad [W = \frac{V \cdot V}{A} = \frac{V^2}{A}]$$

7.3 Wirkungsgrad

Ein Elektromotor wandelt die ihm zugeführte Leistung P_{zu} in eine an die Welle abgeleitete Leistung P_{ab} um.

$$\text{Verlustleistung} = P_v$$

$$P_v = P_{zu} - P_{ab}$$

Wirkungsgrad η ist ein Maß für die Effizienz der Energieumwandlung.

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{zu} - P_v}{P_{zu}} \quad [0 \dots 1 \text{ oder } 0-100\%]$$

Berechnungsbeispiel:

ein elektrischer Motor hat einen Wirkungsgrad von $\eta = 80\%$ in Betrieb bei $U=230\text{V}$ und $I=1,8\text{A}$.

Welche Leistung gibt er ab?

$$\mathbf{P_{zu} = 230\text{V} \cdot 1,8\text{A} = 414\text{VA(W)}}$$

$$\mathbf{P_{ab} = \eta * P_{zu} = 80\% * 414\text{VA(W)} = 331\text{VA(W)}}$$

Der Motor gibt 331W Leistung an der Welle ab. Der Verlust $\mathbf{P_v = 83W}$.