

Wiederholung allgemeiner Grundlagen

1. Physikalische Größe, Größenwert (Zahlenwert und Einheit)

Siehe: https://de.wikipedia.org/wiki/Physikalische_Größe

Der Wert (Größenwert) physikalischer Größen wird als Produkt aus einem Zahlenwert (der Maßzahl) und einer Maßeinheit angegeben.

- Vektorgrößen werden durch Größenwert und Richtung angegeben.

Physikalische Größe = Zahlenwert „mal“ Einheit

Z.B. Elektrische Spannung $U = 1,2 \text{ V}$ Zahlenwert: 1,2 Einheit: V (Volt)

Man bezeichnet einen Unterschied um den Faktor 10 zwischen Werten derselben Größe als eine Größenordnung. n Größenordnungen entsprechen also einem Verhältnis von 10^n .

Es gibt eine Reihe von Größen, deren Größenwerte unveränderlich feststehen. Diese nennt man Naturkonstante, Universalkonstante oder auch physikalische Konstante.

Zum Beispiel: Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum, Elementarladung e , ...

Größenart

Mit der Größenart wird die Menge der Größen einer gegebenen Dimension unterteilt.

Zum Beispiel sind Höhe, Breite, Tiefe, Durchmesser eines Rohres und die Wellenlänge Größen der Größenart **Länge**.

Sie können mit der Länge eines „Meterstabs“ verglichen werden.

Skalare und Vektoren

In der Physik werden Skalare zur Beschreibung physikalischer Größen, die richtungsunabhängig sind, verwendet.

Zum Beispiel: Spannung $U = 1 \text{ V}$ Länge $L = 2,5 \text{ m}$ Masse $m = 5 \text{ kg}$

Eine physikalische Größe, die durch einen Betrag und eine Richtung gekennzeichnet ist wird als Vektor bezeichnet.

Beispiel: Geschwindigkeit: $\vec{v} = \begin{pmatrix} 1 \\ 3,5 \\ 4 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Kraft: $\vec{F} = \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \text{N}$

Z.B. als Spaltenvektoren in einem kartesischen Koordinatensystem des Raumes.

– Schreibweise (Formel und Einheitenzeichen)

Einer physikalischen Größe wird in mathematischen Gleichungen ein Schriftzeichen, das Formelzeichen zugeordnet.

Beispiel elektrische Spannung: U

Beispiel elektrischer Strom: I

Beispiel elektrische Ladung: Q, q

Üblicherweise besteht ein Formelzeichen nur aus einem einzigen Buchstaben, der zur weiteren Unterscheidung mit einem oder mehreren Indizes versehen werden kann.

Beispiel für elektrische Spannungen: U, U₁₂, U₀, U_{sat}, U_{BE}, ...

Beispiel für elektrische Ströme: I, I₀, I_C, I_B, I₃₄, ...

Für Einheiten gibt es festgelegte Schriftzeichen, die Einheitenzeichen. Sie bestehen meistens aus einem oder mehreren lateinischen Buchstaben oder seltener aus einem Sonderzeichen wie z. B. einem Gradzeichen (z.B. 20°C, 45°) oder griechischen Buchstaben wie das Ω (großes Omega) für die Einheit Ohm. Bei Einheiten, die nach Personen benannt sind, wird der erste Buchstabe des Einheitenzeichens üblicherweise groß geschrieben.

Ein Größenwert wird immer als Produkt aus Zahlenwert und Einheit angegeben. Will man nur den Zahlenwert angeben, so setzt man das Formelzeichen in geschweifte Klammern.

Will man nur die Einheit angeben, so setzt man das Formelzeichen in eckige Klammern. Formal lässt sich ein Größenwert also wie folgt schreiben:

$$G = \{G\} \cdot [G] \quad \begin{array}{ll} \{G\} & \text{Zahlenwert von } G \\ [G] & \text{Einheit von } G \end{array}$$

Da der Zahlenwert von der gewählten Maßeinheit abhängt, ist die alleinige Darstellung des Formelzeichens in geschweiften Klammern nicht eindeutig. Deshalb ist für die Beschriftung von Tabellen und Koordinatenachsen die Darstellung „G/[G]“ (z. B. „m/kg“) oder „G in [G]“ (z. B. „m in kg“) üblich.

Da die verwendeten Einheiten abhängig vom Einheitensystem sind, muss das Einheitensystem mit angegeben werden:

$$[U]_{\text{SI}} = \text{V} \quad \text{Anmerkung: wir verwenden hier nur das SI-Einheitensystem!}$$

Daher: $[U] = \text{V}$ genügt und bedeutet SI-Einheiten!

Beispiel: $U_{12} = 5,125 \text{ V} \quad \{U_{12}\} = 5,125 \quad [U_{12}] = \text{V}$

2. Das Internationale Einheitensystem (SI)

Siehe: https://de.wikipedia.org/wiki/Internationales_Einheitensystem

Das Internationale Einheitensystem oder SI (frz. *Système international d'unités*) ist das am weitesten verbreitete Einheitensystem für physikalische Größen.

Das SI ist ein metrisches Einheitensystem, d. h. eine Basiseinheit ist der Meter, es ist dezimal, d. h. die Einheiten werden nur mit Zehnerpotenzen mit ganzzahligen Exponenten versehen und es ist ein kohärentes Einheitensystem, d. h. jede abgeleitete Einheit ist ein Potenzprodukt von Basiseinheiten, ohne dass ein zusätzlicher numerischer Faktor auftritt. Durch das SI werden physikalische Einheiten zu ausgewählten Größen festgelegt. Das SI beruht auf sieben Basiseinheiten zu entsprechenden Basisgrößen. Die Auswahl der Basisgrößen und die Definition zugehörigen Basiseinheiten erfolgte nach praktischen Gesichtspunkten.

Die Einheiten des Internationalen Einheitssystems werden als SI-Einheit bezeichnet, um sie von Einheiten anderer Einheitensysteme abzugrenzen.

Wir verwenden hier nur das SI-Einheitensystem.

Das Internationale Größensystem (ISQ, von englisch *International System of Quantities*) hat folgende sieben Basisgrößen:

Basiseinheit im SI		Basisgröße im ISQ	
Name	Zeichen	Name	Zeichen
Meter	m	Länge	l
Kilogramm	kg	Masse	m
Sekunde	s	Zeit	t
Ampere	A	Stromstärke	I
Kelvin	K	Thermodynamische Temperatur	T
Mol	mol	Stoffmenge	n
Candela	cd	Lichtstärke	I _v

Beispiele für abgeleitete Einheiten:

Kraft: $F = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t} = m \cdot \frac{s}{t^2}$

$$[F] = [m] \cdot \frac{[s]}{[t^2]} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}$$

Also: $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \frac{1\text{m}}{1\text{s}^2}$ N Newton

Arbeit: $W = F \cdot s$

$$[W] = [F] \cdot [s] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} = \text{Ws}$$

Ws Wattsekunde

Elektrische Ladung: $Q = I \cdot t$

$$[Q] = [I] \cdot [t] = A \cdot s = As = C \quad C \quad \text{Coulomb}$$

Elektrische Spannung: $U = \frac{W}{Q}$

$$[U] = \frac{[W]}{[Q]} = \frac{Ws}{As} = \frac{W}{A} = V \quad V \quad \text{Volt}$$

Elektrischer Widerstand: $R = \frac{U}{I}$

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{V}{A} = \Omega \quad \Omega \quad \text{Ohm}$$

Größen, die im Größensystem die Dimension Eins (1) haben, nennt man dimensionslose Größen. Solche Größen können ohne Einheit als reine Zahlen angegeben werden, aber zwecks Anschaulichkeit werden hier häufig sogenannte Hilfseinheiten verwendet.

Beispiele: rad (Radiant), ° (Winkel - Grad), B (Bel), Np (Neper)

3. Vorsätze für Maßeinheiten

Siehe: https://de.wikipedia.org/wiki/Vorsätze_für_Maßeinheiten

Vorsätze für Maßeinheiten, auch Einheitenvorsätze, Einheitenpräfixe oder kurz Präfixe oder Vorsätze genannt, dienen dazu, Vielfache oder Teile von Maßeinheiten zu bilden, um Zahlen mit vielen Stellen zu vermeiden.

SI-Präfixe sind die für die Verwendung im Internationalen Einheitensystem (SI) definierte Dezimal-Präfixe. Sie basieren auf Zehnerpotenzen mit ganzzahligen Exponenten. Man unterscheidet zwischen dem Namen des Präfix und seinem Symbol. Die Symbole sind international einheitlich. Die Namen unterscheiden sich je nach Sprache.

Symbol	Name	Wert		
Y	Yotta	10^{24}	1.000.000.000.000.000.000.000.000	Quadrillion
Z	Zetta	10^{21}	1.000.000.000.000.000.000.000.000	Trilliarde
E	Exa	10^{18}	1.000.000.000.000.000.000.000	Trillion
P	Peta	10^{15}	1.000.000.000.000.000	Billiarde
T	Tera	10^{12}	1.000.000.000.000	Billion
G	Giga	10^9	1.000.000.000	Milliarde
M	Mega	10^6	1.000.000	Million
k	Kilo	10^3	1.000	Tausend
h	Hekto	10^2	100	Hundert
da	Deka	10^1	10	Zehn
-	-	10^0	1	Eins
d	Dezi	10^{-1}	0,1	Zehntel
c	Zenti	10^{-2}	0,01	Hundertstel
m	Milli	10^{-3}	0,001	Tausendstel
μ	Mikro	10^{-6}	0,000.001	Millionstel
n	Nano	10^{-9}	0,000.000.001	Milliardstel
p	Piko	10^{-12}	0,000.000.000.001	Billionstel
f	Femto	10^{-15}	0,000.000.000.000.001	Billiardstel
a	Atto	10^{-18}	0,000.000.000.000.000.001	Trillionstel
z	Zepto	10^{-21}	0,000.000.000.000.000.000.001	Trilliardstel
y	Yokto	10^{-24}	0,000.000.000.000.000.000.000.001	Quadrillionstel

Die Zeichen für Teile einer Einheit werden als Kleinbuchstaben geschrieben, während die meisten Zeichen für Vielfache einer Einheit als Großbuchstaben geschrieben werden. Ausnahmen von dieser Systematik sind aus historischen Gründen die Zeichen für Deka (da), Hekto (h) und Kilo (k).

In der obigen Tabelle ist der Bereich der in der Elektrotechnik üblichen Vorsätze dick umrahmt, z.B.: kΩ (Kilo-Ohm), MW (Mega-Watt), GW (Giga-Watt), TWh (Tera-Watt-Stunden), mΩ (Milli-Ohm), mW (Milli-Watt), μW (Mikro-Watt), μF (Mikro-Farad), pC (Piko-Coulomb)

4. Mathematische Grundlagen

Siehe:

<https://www.mathenachhilfe.ch/lernhilfen/algebra/theorie/termumformungen.pdf>

Grundgesetze

Kommutativgesetz

$$a + b = b + a$$

$$a \cdot b = b \cdot a$$

Assoziativgesetz

$$(a + b) + c = a + (b + c)$$

$$(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$$

Distributivgesetz

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

Minusregel

$$-(-a) = a$$

$$-(a + b - c) = -a - b + c$$

$$-(-a + b - c) = a - b + c$$

$$-\frac{a}{b} = \frac{-a}{b} = \frac{a}{-b}$$

$$(-a)^n = \begin{cases} a^n & \text{für } n \text{ gerade} \\ -a^n & \text{für } n \text{ ungerade} \end{cases}$$

Brüche

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$$

$$\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d}{b \cdot d} + \frac{c \cdot b}{b \cdot d} = \frac{a \cdot d + c \cdot b}{b \cdot d}$$

$$\frac{\left(\frac{a}{b}\right)}{\left(\frac{c}{d}\right)} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c}$$

$$\frac{a}{\left(\frac{b}{c}\right)} = a \cdot \frac{c}{b} = \frac{a \cdot c}{b}$$

$$\frac{\left(\frac{a}{b}\right)}{c} = \frac{a}{b \cdot c}$$

Faktoren bilden

Ausklammern $a \cdot b + a \cdot c = a \cdot (b + c)$

Binomische Formeln $a^2 + 2 \cdot a \cdot b + b^2 = (a + b)^2$

$$a^2 - 2 \cdot a \cdot b + b^2 = (a - b)^2$$

$$a^2 - b^2 = (a + b) \cdot (a - b)$$

Potenzen

Definition $\underbrace{a \cdot a \cdot a \cdot \dots \cdot a}_{n \text{ mal}} = a^n$

– **Potenzgesetze nur für Produkte und Brüche, nie für Summen und Differenzen!**

Gleiche Basis $a^x \cdot a^y = a^{x+y}$ $\frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$

Gleicher Exponent $a^x \cdot b^x = (a \cdot b)^x$ $\frac{a^x}{b^x} = \left(\frac{a}{b}\right)^x$

Mehrfach potenzieren $(a^x)^y = a^{x \cdot y}$

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n} \quad a^0 = 1 \quad a^1 = a \quad 1^n = 1 \quad 0^n = 0$$

$$(-a)^n = \begin{cases} a^n & \text{für } n \text{ gerade} \\ -a^n & \text{für } n \text{ ungerade} \end{cases}$$

Wurzeln und Potenzen $\sqrt[k]{a} = a^{1/k}$ $\sqrt[k]{a^n} = a^{n/k}$

Wurzeln

$$\sqrt{a} \cdot \sqrt{b} = \sqrt{a \cdot b} \quad \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}} = \sqrt{\frac{a}{b}} \quad \sqrt{a^2} = \pm a$$

$$\sqrt[k]{a} = a^{1/k} \quad \sqrt[k]{a^n} = a^{n/k}$$

$$\sqrt[n]{a^m} = \sqrt[n \cdot k]{a^{k \cdot m}} \quad \sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = \sqrt[n \cdot m]{a} = \sqrt[m]{\sqrt[n]{a}}$$

$$\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a \cdot b} \qquad \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$$

$$\sqrt[n]{0} = 0 \qquad \sqrt[2]{a} = \sqrt{a} \qquad \sqrt[1]{a} = a \qquad \sqrt[n]{a^{-m}} = \frac{1}{\sqrt[n]{a^m}}$$

Logarithmen

$\log_a b = x$ ist gleich bedeutend mit $a^x = b$

$$\log(u \cdot v) = \log(u) + \log(v) \qquad \log\left(\frac{u}{v}\right) = \log(u) - \log(v)$$

$$\log(u^r) = r \cdot \log(u) \qquad \log\left(\frac{1}{v}\right) = -\log(v)$$

Basis 10: $\lg(b) = \log_{10}(b)$

Basis e: $\ln(b) = \log_e(b)$

Logarithmen zu anderen Basen: $\log_a(b) = \frac{\lg(b)}{\lg(a)} = \frac{\ln(b)}{\ln(a)}$

$$\log_a(1) = 0 \qquad \log_a(a) = 1 \qquad \log_a(a^n) = n \qquad a^{\log_a(b)} = b$$

Quadratische Gleichung (Lösungsformel)

$$x^2 + p \cdot x + q = 0 \quad \Leftrightarrow \quad x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$$

$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0 \quad \Leftrightarrow \quad x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

Oft benötigte Zahlenwerte (konstante Werte)

Name	Wert	Näherung (falls nicht auf dem TR)
Kreiszahl	$\pi \approx 3,1415926.....$	$\pi \approx 3,14$
Euler'sche Zahl	$e \approx 2,7182818.....$	$e \approx 2,72$
Wurzel aus 2	$\sqrt{2} \approx 1,4142135.....$	$\sqrt{2} \approx 1,41$
Wurzel aus 3	$\sqrt{3} \approx 1,7320508.....$	$\sqrt{3} \approx 1,73$

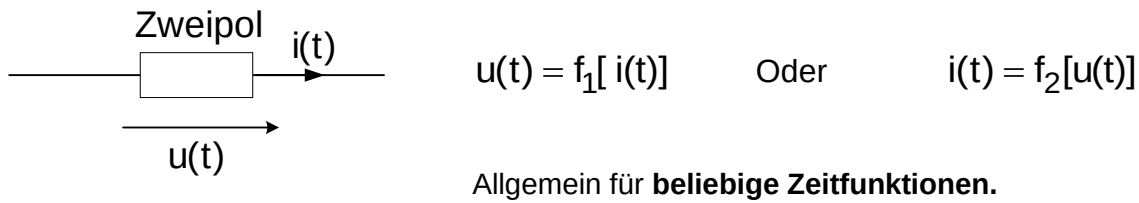
5. Lösung von elektrotechnischen Aufgaben

Prinzipielles Vorgehen

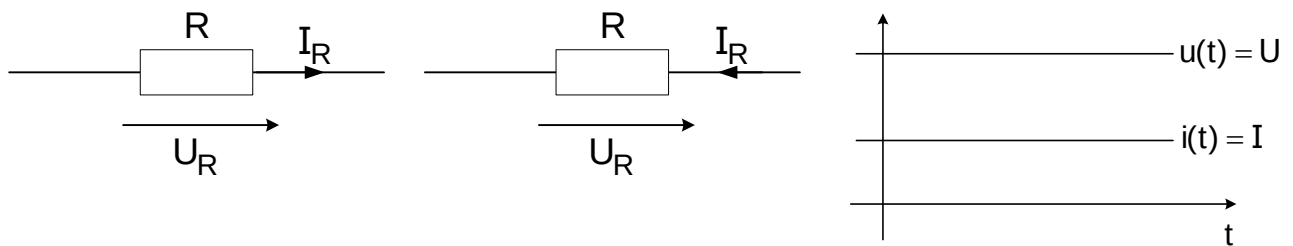
- Darstellung der technischen Aufgabe durch ein **elektrisches Ersatzschaltbild (ESB)** mittels Symbole (Schaltzeichen) für die elektrischen „Bauteile“ (z.B. Zweipole R, L, C, Spannungs- und/oder Stromquellen).
Verbindung der „Bauteile“ durch Linien (**Linie entspricht idealer Stromleitung!**).
- Für jedes „Bauteil“ (z.B. Zweipole R, L, C, ...) **eindeutige Benennungen** einführen, z.B. Ohm'sche Widerstände R_1, R_2, R_a .
- Für jede elektrische Größe einen **eindeutigen Bezeichner** (z.B. $U_{R1}, U_{R2}, U_{23}, U_{AB}, I_1, I_2, I_{23}, \dots$) **und einen Zählpfeil** einführen. Die Zählpfeile können für jede Größe **beliebig gewählt werden. Die Zählpfeil(richtungen) geben an, mit welchem Vorzeichen (+ oder -) die entsprechende Größe bei der Anwendung der Grundgesetze zu berücksichtigen ist!**
- Anwenden der **Grundgesetze und Auflösung der entstandenen Gleichungen (bzw. des Gleichungssystems) nach den gesuchten Größen.**
Grundgesetze:
 1. Erste Kirchhoff'sche Regel (Knotenregel)
 2. Zweite Kirchhoff'sche Regel (Maschenregel)
 3. Ohm'sches Gesetz

Zu 3. allgemeiner: Grundgesetze für die „Bauteile“ (Zweipole R, L, C, ...)

Die Grundgesetze für die jeweiligen „Bauteile“ geben die Beziehung zwischen Strom und Spannung am betreffenden Bauteil an!!



Am Ohm'schen Widerstand R gilt das Ohm'sche Gesetz:



$$U_R = R \cdot I_R$$

$$U_R = -R \cdot I_R$$

Zunächst Gleichgrößen, d.h. Strom und Spannung sind zeitlich konstant.

Das eingeführte Zählpfeilsystem bestimmt das Vorzeichen, mit dem die elektrischen Größen (Strom und Spannung) im Grundgesetz berücksichtigt werden müssen.

Ohm'sches Gesetz:

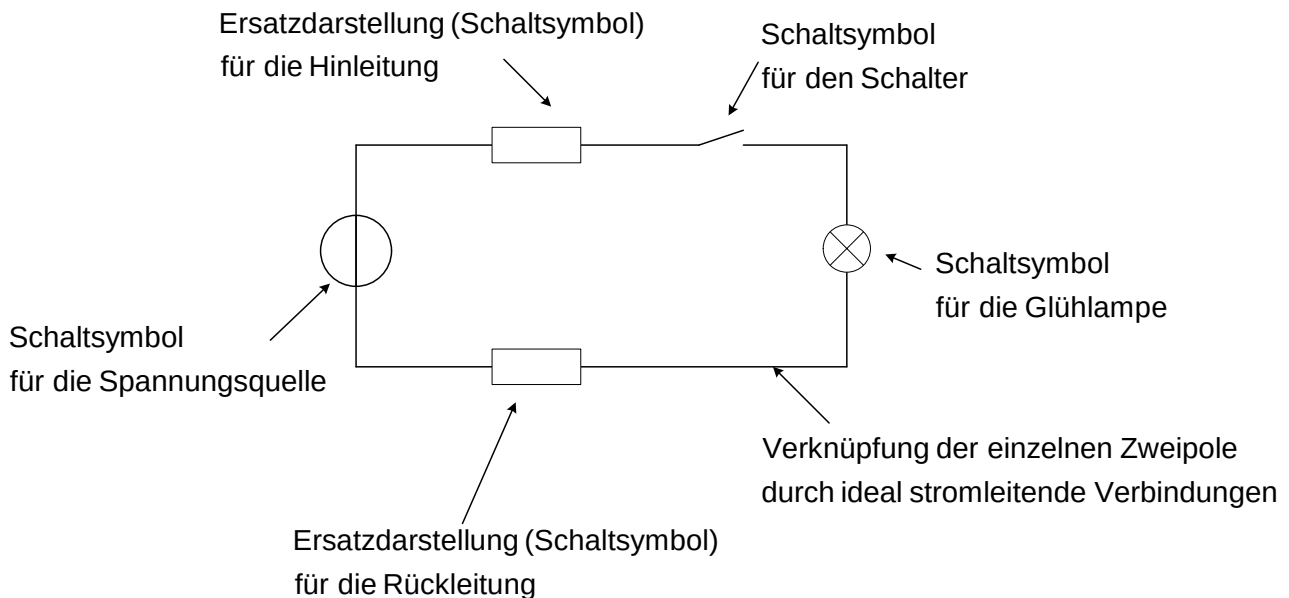
U_R und I_R gleiche Zählpfeilrichtung $\rightarrow$ positives Vorzeichen $U_R = R \cdot I_R$

U_R und I_R entgegengesetzte Zählpfeilrichtung $\rightarrow$ negatives Vorzeichen $U_R = -R \cdot I_R$

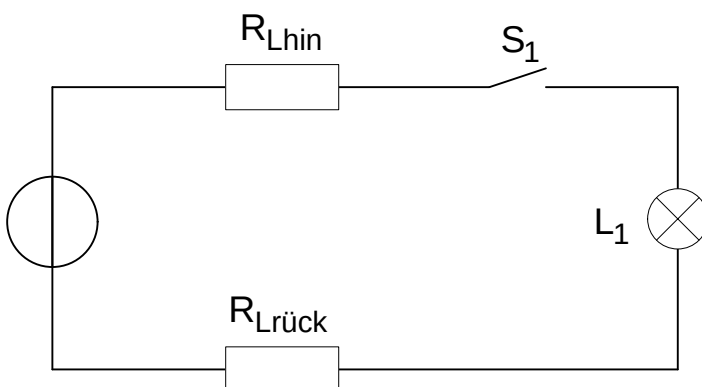
Beispiel zur Verdeutlichung der prinzipiellen Vorgehensweise zur Lösung einer (einfachen) elektrotechnischen Aufgabe:

Aufgabenstellung: An eine Batterie (Spannungsquelle) mit der Quellenspannung U_0 soll über einen Schalter und zwei Anschlussleitungen eine Glühlampe angeschlossen werden.

a) Elektrisches Ersatzschaltbild (des elektrischen Netzwerks)



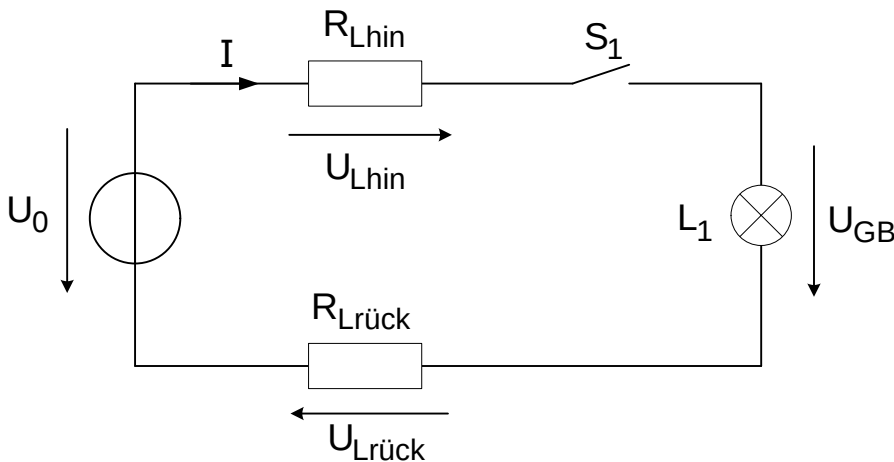
b) Einführung von eindeutigen Benennungen für die Zweipole



Die Quellen werden üblicherweise nur durch die elektrische Größe und den zugehörigen Zählpfeil benannt (siehe nächster Schritt).

Die Verbindungsleitungen (Hin- und Rückleitung) wirken wie ohm'sche Widerstände, die symbolische Ersatzdarstellung erfolgt daher mittels der Schaltzeichen für den ohm'schen Widerstand R .

c) Einführung von eindeutigen Bezeichnern für die elektrischen Größen (d.h. für die Ströme und Spannungen) mit zugehörigen Zählpfeilen



d) Anwendung der Grundgesetze

- Der Stromkreis ist unverzweigt, d.h. er enthält keine Knoten. Somit kann die Knotenregel nicht angewendet werden bzw. entfällt (d.h. es fließt nur ein einziger Strom in einer einzigen Masche → d.h. die Netzwerkanalyse ergibt Folgendes: Das Netzwerk enthält keine Knoten und demnach nur eine einzige Masche).
Anmerkung: Der Strom fließt nur bei geschlossenem Schalter!

- Die Hin- und Rückleitungen R_{Lhin} , $R_{Lrück}$ sowie die Glühlampe L_1 verhalten sich wie ohm'sche Widerstände (näherungsweise!), d.h. für die betreffenden Zweipole gilt das Ohm'sche Gesetz. Da die Zählpfeilung so gewählt wurde, dass sämtliche (Teil)spannungen an den Zweipolen R_{Lhin} , $R_{Lrück}$ und an der Glühlampe L_1 mit dem Stromzählpfeil in dieselbe Richtung zeigen, ergibt sich für die (Teil)spannungen:

$$U_{Lhin} = R_{Lhin} \cdot I$$

$$U_{Lrück} = R_{Lrück} \cdot I$$

$$U_{GB} = R_{GB} \cdot I$$

$$R_{GB} = \text{Ohm'scher Widerstand der Glühbirne}$$

Anwendung der zweiten Kirchhoff'schen Regel (Maschenregel):

Maschenregel:

Summe der (Teil)spannungen in einer Masche ist null (Maschenumlauf wählen, Spannungen, die durch ihren Zählpfeil in Maschenumlaufichtung zeigen werden positiv gezählt, entgegengesetzt gerichtete Spannungen werden negativ berücksichtigt).

Der Umlaufsinn der Masche kann beliebig gewählt werden!

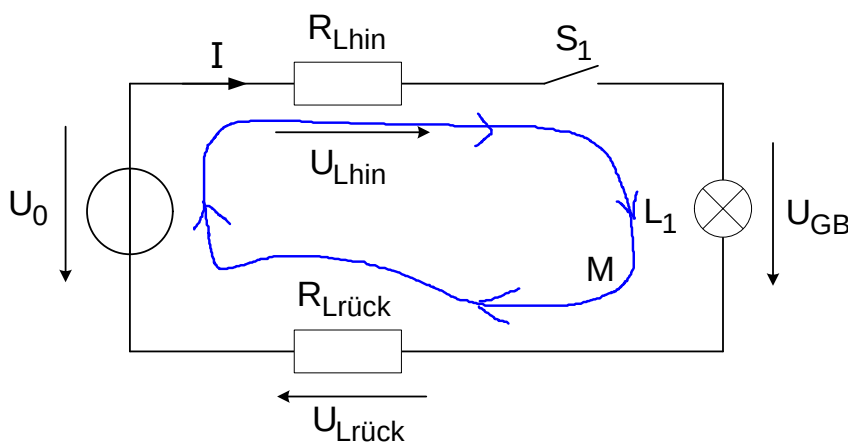
Anmerkung:

Die Zählpfeile (und damit die Zählpfeilrichtungen) können **beliebig** gewählt werden.

Auch die Maschenumläufe können **beliebig** gewählt werden.

- Es bietet sich aber an, die Zählpfeile wenn möglich so zu wählen, dass bei der Anwendung der Kirchhoff'schen Regeln und der Grundgesetze für die Zweipole möglichst wenige negative Vorzeichen zu berücksichtigen sind!

Elektrisches Netzwerk mit eingezeichneter Masche M (Umlaufsinn wurde willkürlich in Richtung des Uhrzeigersinns gewählt).



Die Anwendung der Maschenregel ergibt (Voraussetzung: Schalter sei geschlossen, d.h. der Strom I kann fließen. Bei offenem Schalter ist der Strom null und somit alle anderen (Teil)spannungen auch). Der Schalter sei ideal, d.h. in geschlossenem Zustand fällt an ihm keine Spannung ab:

$$U_{Lhin} + U_{GB} + U_{Lrück} - U_0 = 0$$

Die obigen Gleichungen, die sich aus der Anwendung der Grundgesetze ergaben, werden nun in die Maschengleichung eingesetzt:

$$U_0 = R_{Lhin} \cdot I + R_{GB} \cdot I + R_{Lrück} \cdot I = I \cdot (R_{Lhin} + R_{GB} + R_{Lrück})$$

Sind die Spannung U_0 der Spannungsquelle und die Ohm'schen Widerstände R_{Lhin} , $R_{Lrück}$ und R_{GB} bekannt, dann kann die obige Gleichung nach I aufgelöst werden:

$$I = \frac{U_0}{(R_{Lhin} + R_{GB} + R_{Lrück})}$$

Damit ist die Aufgabe gelöst, da die Spannungen U_{Lhin} , $U_{Lrück}$ und U_{GB} mit den obigen Gleichungen berechnet werden können ($\rightarrow$ alle elektrischen Größen – Ströme und Spannungen – sind nun berechnet und damit bekannt).

Weiterführende Betrachtungen zum obigen Beispiel:

Die Summe der Widerstände ($R_{Lhin} + R_{GB} + R_{Lrück}$) kann als „Ersatzwiderstand“ der drei **in Reihe geschalteten** Widerstände aufgefasst werden:

$$(R_{Lhin} + R_{GB} + R_{Lrück}) = R_{ersatz}$$

Reihenschaltung:

Die Widerstände (Zweipole) sind so verschaltet, dass durch alle Zweipole derselbe Strom fließt! D.h. zwischen in Reihe geschalteten Zweipolen gibt es keine Knoten!

Für die Teilspannungen folgt mit der vorigen Abkürzung des Ersatzwiderstandes:

$$U_{Lhin} = U_0 \cdot \frac{R_{Lhin}}{R_{ersatz}} \quad U_{Lrück} = U_0 \cdot \frac{R_{Lrück}}{R_{ersatz}} \quad U_{GB} = U_0 \cdot \frac{R_{GB}}{R_{ersatz}}$$

Ergebnis: Die Teilspannungen an den einzelnen Zweipolen verhalten sich zur Gesamtspannung U_0 wie die Teilwiderstände zum Gesamtwiderstand (Ersatzwiderstand) der Reihenschaltung!

Dieses Ergebnis wird als **Spannungsteilerregel** bezeichnet.

Die Summe der Teilspannungen ergibt die Gesamtspannung.

Beispiel mit Zahlenwerten gerechnet:

Gegeben: $U_0 = 12 \text{ V}$

$$R_{\text{Lhin}} = R_{\text{Lrück}} = 1 \Omega$$

$$R_{\text{GB}} = 4 \Omega$$

Ersatzwiderstand: $R_{\text{ersatz}} = (R_{\text{Lhin}} + R_{\text{GB}} + R_{\text{Lrück}}) = 1 \Omega + 4 \Omega + 1 \Omega = 6 \Omega$

Strom: $I = \frac{U_0}{R_{\text{ersatz}}} = \frac{12 \text{ V}}{6 \Omega} = 2 \text{ A}$

Teilspannungen:

$$U_{\text{Lhin}} = R_{\text{Lhin}} \cdot I = 1 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 2 \text{ V}$$
$$U_{\text{Lrück}} = R_{\text{Lrück}} \cdot I = 1 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 2 \text{ V}$$
$$U_{\text{GB}} = R_{\text{GB}} \cdot I = 4 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 8 \text{ V}$$

Oder mit Spannungsteiler-Regel: $U_{\text{Lhin}} = U_0 \cdot \frac{R_{\text{Lhin}}}{R_{\text{ersatz}}} = 12 \text{ V} \cdot \frac{1 \Omega}{6 \Omega} = 2 \text{ V}$

$$U_{\text{Lrück}} = U_0 \cdot \frac{R_{\text{Lrück}}}{R_{\text{ersatz}}} = 12 \text{ V} \cdot \frac{1 \Omega}{6 \Omega} = 2 \text{ V}$$

$$U_{\text{GB}} = U_0 \cdot \frac{R_{\text{GB}}}{R_{\text{ersatz}}} = 12 \text{ V} \cdot \frac{4 \Omega}{6 \Omega} = 8 \text{ V}$$

Probe, ob Maschenregel erfüllt ist: $U_{\text{Lhin}} + U_{\text{Lrück}} + U_{\text{GB}} = 2 \text{ V} + 2 \text{ V} + 8 \text{ V} = 12 \text{ V} = U_0$

Frage: Was passiert bei offenem Schalter S_1 ?

Ist S_1 offen, so kann kein Strom fließen. An den Ohm'schen Zweipolen gibt es keine Spannungen (Spannungsabfälle). Da die Maschenregel immer erfüllt sein muss, fällt die gesamte angelegte Spannung U_0 über dem offenen Schalter ab!

Formal kann der Schalter (ideal) wie folgt berücksichtigt werden:

$$S_1 \text{ zu} \rightarrow R_{\text{Schalter}} = 0 \Omega$$

$$S_1 \text{ auf} \rightarrow R_{\text{Schalter}} = \infty \Omega$$