

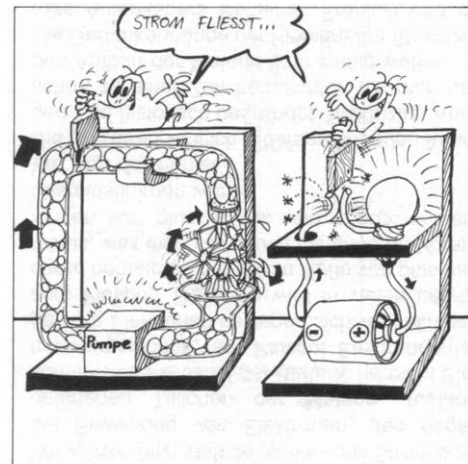
11 Elektrodynamik

Der elektrische Gleichstromkreis

11.1 Elektrischer Strom

Schliesst man eine Spannungsquelle (z.B. Batterie), eine Lampe und zwei Kabel (leitfähiges Material) richtig zusammen, so beginnt die Lampe zu leuchten. Die Batterie "pumpt" Elektronen durch die Leitungen – Elektronen "fliessen" durch den elektrischen Stromkreis. Zur Veranschaulichung wird oft das Bild des Wasserkreislaufs verwendet.

Setzt man sich in Gedanken irgendwo beim elektrischen Stromkreis hin, so kann man die vorbeikommenden Elektronen zählen. Man kann genau angeben, wie viele Ladungen pro Zeiteinheit vorbeikommen. Man bestimmt also den elektrischen Strom I . Es gilt



Quelle: Handbuch zum Kosmos Elektronikbaukasten X3000-X4000 (1985)



$$I = \frac{Q}{t} \text{ mit der Einheit } [I] = \frac{[Q]}{[s]} = \frac{C}{s} = A.$$

Das Ampere, benannt nach André Marie Ampère. (1775-1836) bildet die Einheit des elektrischen Stromes und eine weitere SI – Basiseinheit!

Natürlich muss es sich bei den bewegten Ladungen nicht um Elektronen handeln. Es könnten auch Ionen wandern. Allgemein spricht man bei *bewegten Ladungen von einem elektrischen Strom!*

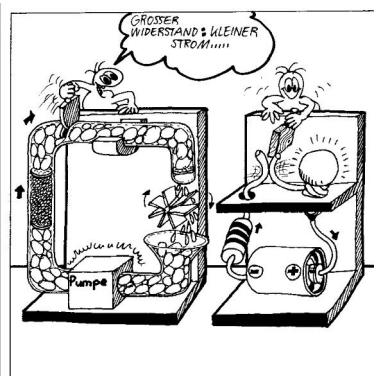


Quelle: library.thinkquest.org

11.2 Elektrische Bauteile

Dem Strom kann man innerhalb eines Stromkreises verschiedene Bauteile in den Weg stellen, um verschiedene Effekte zu erzeugen. Wir wollen uns hier den Aufbau einiger Bauteile ansehen.

11.2.1 Der elektrische Widerstand



Quelle: KOSMOS

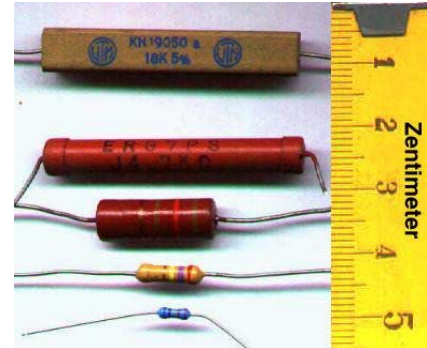
Hängt man in einen Wasserkreislauf einen Sandsack, so erhöht man damit den Fließwiderstand des Wassers. Die Pumpe muss nun mehr arbeiten, um den Wasserstrom konstant zu halten. Anstelle des Begriffs des Sandsacks könnte man auch einfach Verbraucher dazu sagen.

Im Bereich der Stromkreise sagt man nicht Sandsack, sondern elektrischer Widerstand.

Widerstände dienen in einem elektrischen Stromkreis unter anderem

- ∅ zur Erzeugung eines gewünschten Stromes oder der Begrenzung des maximalen elektrischen Stromes (Vorwiderstand).
- ∅ Zur Erzeugung einer gewünschten Spannung aus einem gegebenen Strom (Shuntwiderstand)

Es gibt verschiedene Bauformen von elektrischen Widerständen. Die bekannteste ist wahrscheinlich der zylinderförmige mit farbigen Ringen, welchen wir uns genauer ansehen wollen. Er besteht aus einem kleinen Keramikzylinder, welcher als Träger des Widerstandsmaterials (Kohle, Metall Metalloxid) dient. Daran sind axial die Anschlussdrähte angelötet.



Quelle: de.wikipedia.de

Es dürfte klar sein, dass Spannung (Druck), Stromstärke (Wasserdurchlaufmenge) und Widerstand (Sandsack) miteinander in Beziehung stehen: In einem guten Leiter (geringer Widerstand) wird bei gleicher Spannung ein grösserer Strom fließen als in einem schlechten Leiter (grosser Widerstand). Dabei gilt die Definition:

Der Widerstand R eines stromdurchflossenen Leiters ist der Quotient aus der angelegten Spannung U und dem dadurch hervorgerufenen Strom I .

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow [R] = \frac{V}{A} = \Omega$$



Quelle: Wikipedia

Die Einheit des elektrischen Widerstandes ist benannt nach Georg Simon Ohm (1789 - 1854), einem deutschen Physiker.

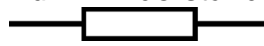
Gebraucht wird auch etwa die **Leitfähigkeit G** . Sie ist der Kehrwert aus dem Widerstand:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \Rightarrow [G] = \Omega^{-1} = \frac{A}{V}$$

Ringfarbe	Widerstandswert in [Ω]			Toleranz
	1. Ring 1. Ziffer	2. Ring 2. Ziffer	3. Ring (Multiplikator)	
schwarz	0	0	$1 \cdot 10^0$	
braun	1	1	$1 \cdot 10^1 = 10$	$\pm 1\%$
rot	2	2	$1 \cdot 10^2 = 100$	$\pm 2\%$
orange	3	3	$1 \cdot 10^3 = 1000$	
gelb	4	4	$1 \cdot 10^4 = 10'000$	
grün	5	5	$1 \cdot 10^5 = 100'000$	$\pm 0.5\%$
blau	6	6	$1 \cdot 10^6 = 1'000'000$	$\pm 0.25\%$
violett	7	7	$1 \cdot 10^7 = 10'000'000$	$\pm 0.1\%$
grau	8	8	$1 \cdot 10^8 = 100'000'000$	
weiss	9	9	$1 \cdot 10^9 = 1'000'000'000$	
silber				$\pm 10\%$
gold				$\pm 5\%$
keine				$\pm 20\%$



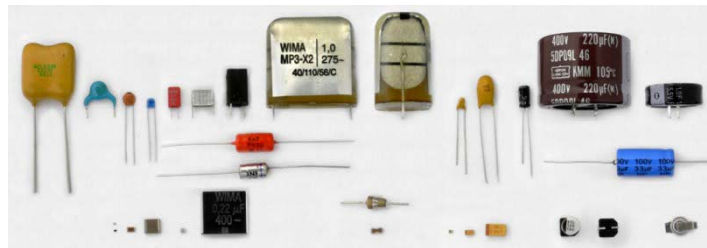
Auf den Widerständen wird der Wert des Widerstandes häufig mit Farbringen codiert, wie in obiger Tabelle gezeigt ist. So hat der dargestellte Widerstand einen Wert von $40 \cdot 100 \Omega \pm 10\% = 4000 \Omega \pm 10\% = 4k\Omega \pm 10\%$.¹

Für Widerstände wird in elektrischen Schaltplänen das Schaltzeichen  verwendet.


11.2.2 Kondensator

Die physikalischen Eigenschaften des Kondensators wurden bereits im vorhergehenden Kapitel besprochen und werden deshalb hier nicht noch einmal wiederholt. Nur soviel zur Repetition: Kondensatoren dienen der Ladungs- und damit der Energiespeicherung.

Es gibt sie in verschiedenen Bauformen, jedoch bestehen alle aus zwei voneinander durch ein Dielektrikum getrennten leitenden Flächen.



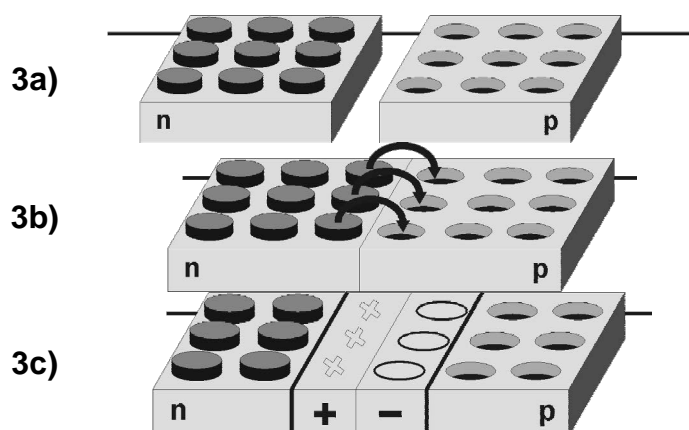
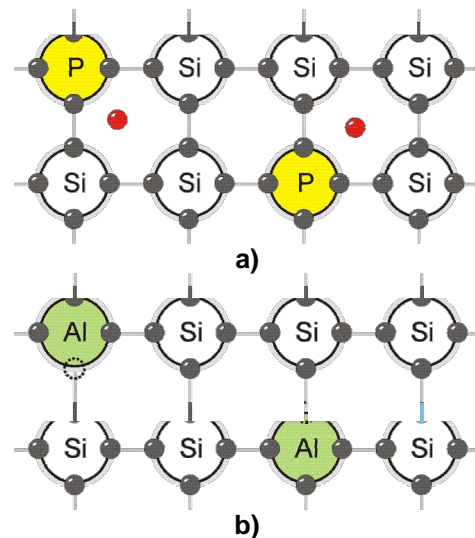
Quelle: de.wikipedia.de

Als Schaltzeichen kommt  zum Einsatz.

11.2.3 Diode

Dioden bestehen aus einer Kombination zweier verschieden dotierter Halbleiterkristalle (pn-Diode). Bei der Dotierung von Halbleitern kann man durch hinzufügen geeigneter Fremdatome entweder zusätzliche bewegliche Elektronen in das Material "einfügen" (n-Halbleiter) oder Elektronen "entfernen" (p-Halbleiter).

Ein Siliziumatom (4 Valenzelektronen) ist im kristallinen Zustand von vier weiteren Siliziumatomen umgeben und hat daher ein komplettes Oktett. Ersetzt man ein Siliziumatom durch ein Phosphoratom (5 Valenzelektronen), so bringt dieses ein Valenzelektron zuviel mit. Dieses ist dann frei beweglich (a) und man spricht von einem n-Halbleiter. Umgekehrt verhält es sich, wenn man statt mit Phosphor mit Aluminium dotiert – in diesem Falle bringt das Aluminium nur drei Valenzelektronen mit. Es entsteht also eine Elektronenlücke, welche die Wanderung benachbarter Elektronen begünstigt (b) und man



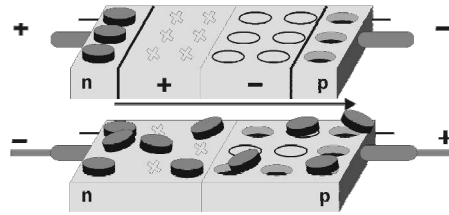
¹ Unter <http://www.bader-frankfurt.de/widerstandscodiert.htm> können Sie den Widerstandscodiert einfach berechnen lassen.

nennt dies dann einen p-Halbleiter. Egal welche Variante man wählt: die Leitfähigkeit von Halbleitermaterialien wird durch die Dotierung massiv gesteigert.

Werden ein n- und ein p-Halbleiter miteinander in Kontakt gebracht, so wandern Elektronen (dargestellt durch die Scheibchen) aus dem n-Halbleiter in den p-Halbleiter ein (3b).

3d)

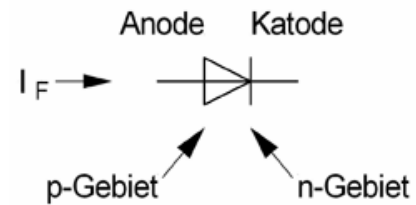
3e)



Es entsteht um die Kontaktfläche herum eine Verarmungszone, in der sich die Ladungsträger nicht mehr frei bewegen können, weil die nächste "Lücke" zu weit weg ist (3c).

Nun hat man zwei Möglichkeiten, eine externe Spannungsquelle anzuschliessen. Wird der Pluspol einer Stromquelle (Anode) an die n-Schicht angelegt und der Minuspol (Kathode) an die p-Schicht der Diode, so wird lediglich die Verarmungszone grösser (3d)– es fliesst kein Strom. Vertauscht man hingegen die Anschlüsse, so kann Strom fliessen (3e).

Eine pn – Diode – bestehend eben aus einer p- und einer n – Halbleiterschicht – leitet den elektrischen Strom also nur in eine Richtung. Sie wirken für den Strom wie eine Einbahnstrasse. Das Schaltzeichen für eine Diode ist nebenstehend mit Beschriftung abgebildet.



Quelle: de.wikipedia.org

11.2.4 Schaltzeichen elektrischer Bauteile

Beim Zeichnen einer Anordnung von leitend miteinander verbundenen elektrischer Bauteile – einer elektrischen Schaltung – benutzt man keine 3D – Darstellung sondern genormte Schaltzeichen. Die für uns wichtigen Schaltzeichen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

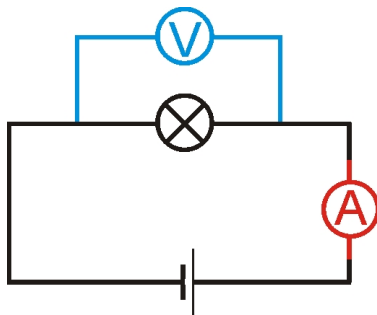
Erde, Spannungsquellen	Bauelemente	Verschiedene
Erdschluss, Masse	Widerstand	Ampèremeter
ideale Spannungsquelle	Induktivität (Spule)	Voltmeter
Spannungsquelle (Gleichspannung)	Diode allgemein	Lampe
Spannungsquelle (Wechselspannung)	Kondensator allgemein	Kreuzung nichtleitend
galvanisches Element	Kondensator gepolt (Elektrolytkondensator)	leitende Kreuzung

11.3 Messgeräte

Zur Messung von Strömen und Spannungen werden heutzutage meistens Digitalmultimeter eingesetzt. Diese Geräte können bei Bedarf einfach durch einen Drehregler als Strom- oder Spannungsmessgerät eingesetzt werden. Ebenfalls kann man mit ihnen Gleich- oder Wechselspannungen und –ströme messen.

Per Wahlschalter kann man auch verschiedene Messbereiche wählen, so dass Spannungen von mV bis mehrere 100 V und Stromstärken von μA bis 20 A mit dem gleichen Gerät gemessen werden können.

11.3.1 Anschluss von Messgeräten



Die wichtigsten beiden Messgeräte, die man im Zusammenhang mit Stromkreisen braucht, sind das Ampere- und das Voltmeter. Ersteres misst den Elektronendurchfluss, Letzteres die Potentialdifferenz. Entsprechend müssen die beiden Geräte mit dem Stromkreis verbunden werden. Das Amperemeter muss stets in Serie in den Stromkreis integriert werden (rot). Das Voltmeter hingegen soll die Spannung, also die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten messen und wird deshalb parallel in den Stromkreis integriert (blau). Man greift auf normierte Anweisungen zurück, wie eine Schaltung darzustellen ist. In der Abbildung links ist das Voltmeter (V) parallel zur Lampe geschaltet, währenddem das Amperemeter in Serie zur Lampe geschaltet wird.

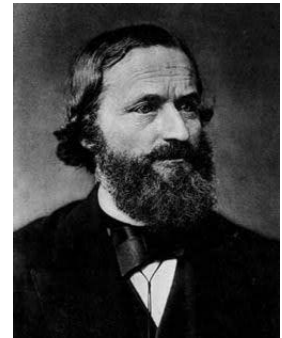
Das Amperemeter hat einen möglichst kleinen Innenwiderstand R_A , damit das Amperemeter einen möglichst kleinen Einfluss auf den Stromkreis ausübt, die Stromstärke also nicht verändert. Ein ideales Amperemeter hätte damit einen Innenwiderstand $R_A \approx 0$.

Das Voltmeter wird parallel geschaltet. Es hat einen möglichst hohen Innenwiderstand R_V , damit das Voltmeter den Stromkreis möglichst nicht beeinflusst. Ein ideales Voltmeter hat einen Innenwiderstand von $R_V \approx \infty$, so dass kein Strom durch das Voltmeter fließen kann.

Ein Voltmeter misst als umgebautes Amperemeter einen Strom $I_V = \frac{U}{R_V} \Rightarrow I_V \propto U$, der proportional zu U ist!

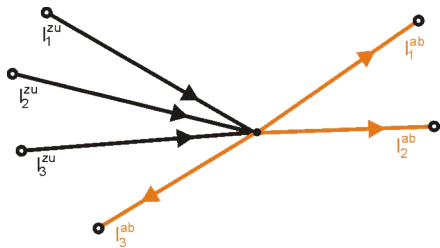
11.4 Die Kirchhoffschen Regeln

Gustav Robert Kirchhoff beschäftigte sich mit den Gesetzmässigkeiten, welche in einem Stromkreis gelten. Dabei formulierte er die nach ihm benannten Gesetze oder Regeln, die zur Berechnung von Strömen in und Spannungen in elektrischen Netzwerken dienen.



Gustav Robert Kirchhoff (1824 - 1887)
Quelle: Wikipedia

11.4.1 Stromverzweigung / Kirchhoff 1

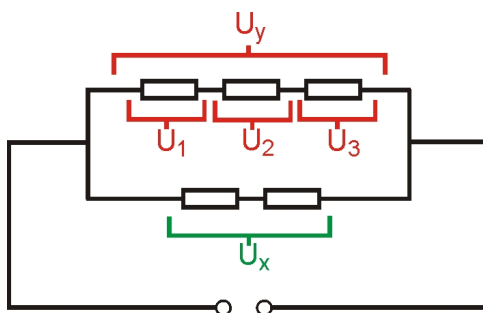


Knotenregel: An jedem Verzweigungspunkt des Stromkreises ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der wegfließenden Ströme. $\sum_j I_j^{zu} = \sum_k I_k^{ab}$

Dies ist nichts anderes als die Formulierung eines Ladungserhaltungssatzes auf etwas andere Art und Weise.

Die Ströme müssen dabei vorzeichenrichtig eingesetzt werden. Die zufließenden Ströme bekommen ein positives, die wegfließenden Ströme ein negatives Vorzeichen.

11.4.2 Strommasche / Kirchhoff 2



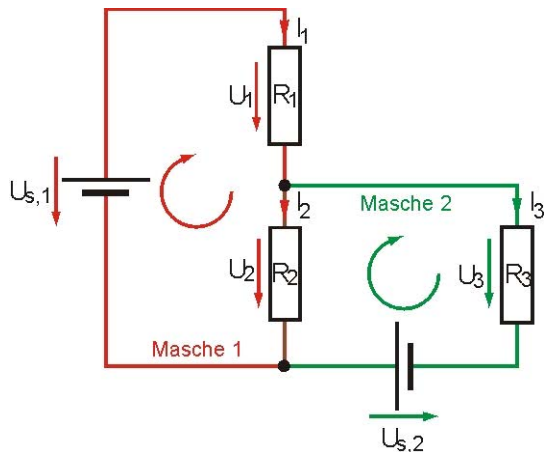
In einer Strommasche ist die Spannung längs beider Zweige gleich gross. Auf die Zeichnung bezogen bedeutet dies, dass $U_x = U_y$ ist. Dann ist aber zwangsläufig $U_y = U_1 + U_2 + U_3$.



Maschenregel: Die Summe aller vorzeichenbehafteter Spannungen in einer Masche ist null: $\sum_k U_k = 0$.

Bei uns wird zur Anwendung der Maschenregel der Uhrzeigersinn als positiver Dreh-sinn innerhalb einer Masche definiert.

11.4.2.1 1. Beispiel zur Anwendung der Kirchhoffschen Regeln



In der nebenstehenden Abbildung ist ein Netzwerk dargestellt, welches aus drei elektrischen Widerständen ($R_1 - R_3$) und zwei Spannungsquellen ($U_{s,1}$ und $U_{s,2}$) zusammengesetzt ist (s steht dabei für source). Die Aufgabe besteht nun darin, die (Teil-)Ströme I_1 bis I_3 und die (Teil-)Spannungen U_1 bis U_3 zu berechnen, wenn die Widerstandswerte R_1 bis R_3 und die Spannungswerte $U_{s,1}$ respektive $U_{s,2}$ bekannt sind.

Wir "setzen" uns mal auf den Knoten zwischen R_1 und R_2 und benutzen die erste **Knotenregel**. I_1 fließt auf diesen Knoten zu, bekommt also ein positives Vorzeichen. Die Ströme I_2 und I_3 fließen von diesem Knoten weg und bekommen daher ein negatives Vorzeichen:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Nun folgt die **Maschenregel**. Für die Masche 1 ergibt sich

$$U_1 + U_2 - U_{s,1} = 0 \text{ oder } I_1 R_1 + I_2 R_2 - U_{s,1} = 0$$

und für die Masche 2

$$-U_2 + U_3 - U_{s,2} = 0 \text{ oder } I_3 R_3 - I_2 R_2 - U_{s,2} = 0$$

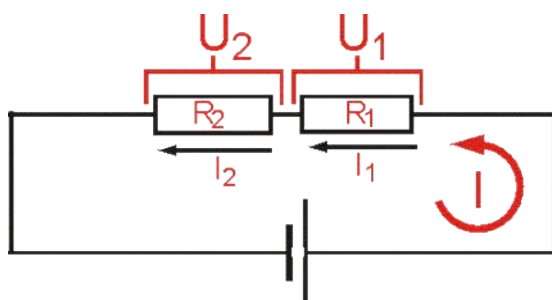
Damit stehen drei Gleichungen für die Berechnung der drei Ströme zur Verfügung.

$$\left. \begin{array}{l} I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ I_1 R_1 + I_2 R_2 = U_{s,1} \\ I_3 R_3 - I_2 R_2 = U_{s,2} \end{array} \right\}$$

Dieses Gleichungssystem kann man nun einfach von Hand oder mit dem Taschenrechner lösen. Hat man erst einmal die Ströme ermittelt, so kann man auch die Spannungen über $U=R \cdot I$ berechnen.

11.5 Schaltung von Widerständen

11.5.1 Serieschaltung



Schaltet man zwei Widerstände so zusammen, dass sie vom *gleichen* Strom durchflossen werden, so spricht man von einer Serie- oder Reihenschaltung:

Nach Kirchhoff 1 fließt durch alle Widerstände der gleiche Strom. Es gilt also

$$I = I_1 = I_2.$$

Ausserdem ist die Gesamtspannung gleich der Summe der Teilspannungen:

$$U = U_1 + U_2.$$

Dividiert man die letzte Gleichung durch den Gesamtstrom I , so erhält man

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} = R_1 + R_2.$$

Verallgemeinert man dieses Resultat auf beliebig viele Widerstände, so bekommt man

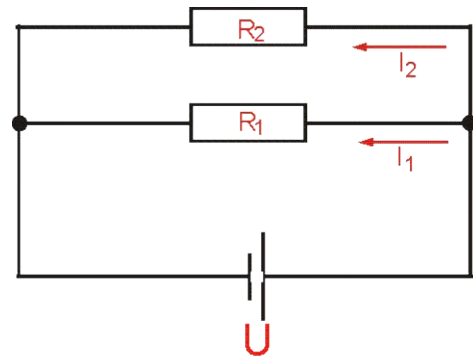


$$R_{\text{gesamt}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

11.5.2 Parallelschaltung

Schaltet man zwei Widerstände so zusammen, dass über ihnen die *gleiche Spannung abfällt*, so spricht man von einer Parallelschaltung. Dann gilt

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad \text{und} \quad I_2 = \frac{U}{R_2}.$$



Der Gesamtstrom lässt sich berechnen zu

$$I = \frac{U}{R} = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Man sieht, dass $\frac{U}{R} = U \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ ist. Dann ist aber offensichtlich $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. Verallgemeinert man dieses Resultat wieder auf viele Widerstände, so bekommt man



$$\frac{1}{R_{\text{gesamt}}} = \sum_i \frac{1}{R_i}.$$

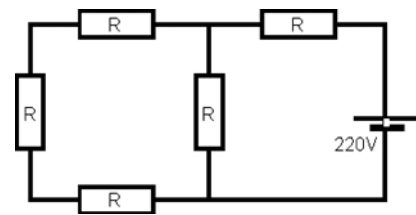
Der Kehrwert des Ersatzwiderstandes berechnet sich also aus der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände.

11.5.2.1 2. Beispiel zu den Kirchhoffschen Gesetzen

Wir wollen uns nun ein zweites einfaches Beispiel zur Anwendung der Kirchhoffschen Gesetze ansehen. Hier wollen wir aber zunächst auf die Erstellung eines Gleichungssystems verzichten.

Aufgabe

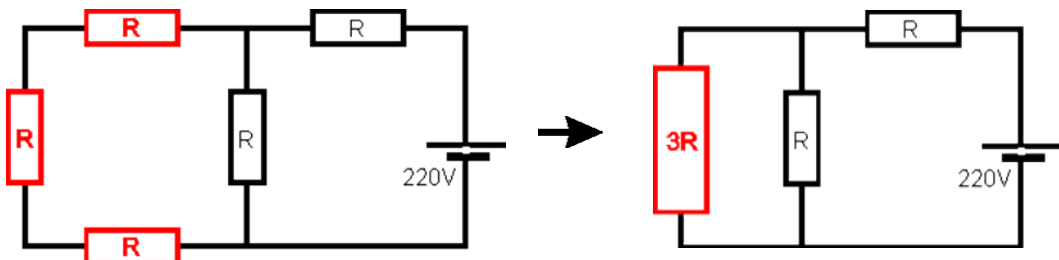
Berechnen Sie den Gesamtwiderstand der abgebildeten Anordnung. Welche Ströme fließen durch jeden einzelnen der 2Ω Widerstände?



1. Lösung (ohne Gleichungssystem)

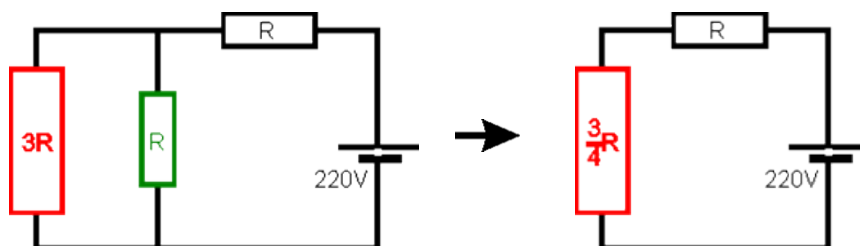
Um die Teilströme schlussendlich berechnen zu können, braucht man den Gesamtstrom. Deshalb muss man den Gesamtwiderstand der Schaltung kennen. Wir müssen also den Ersatzwiderstand berechnen. Dazu fassen wir die einzelnen Widerstände schrittweise zusammen.

- i) Die drei rot markierten Widerstände sind in Serie angeordnet. man kann sie deshalb durch einen einzigen Widerstand mit dem Wert $3R$ ersetzen.



- ii) Nun erkennt man, dass der grün und der rot markierte Widerstand parallel zueinander geschaltet sind. Der Ersatzwiderstand berechnet sich also zu

$$\frac{1}{R_{\text{ers1}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{3R} = \frac{4}{3R} \quad \text{oder} \quad R_{\text{ers1}} = \frac{3}{4}R.$$



- iii) Diese zwei Widerstände sind nun noch in Serie und damit erhält man für den Ersatzwiderstand einen Wert von $R_{\text{ersatz}} = R + \frac{3}{4}R = 1\frac{3}{4}R$. Da jeder

Widerstand 2Ω gross ist, ist damit $R_{\text{ersatz}} = 1\frac{3}{4} \cdot 2\Omega = \underline{\underline{3.5\Omega}}$.

- iv) Den Gesamtstrom erhält man zu $I = \frac{U}{R_{\text{ersatz}}} = \frac{220V}{3.5\Omega} = \underline{\underline{62.9A}}$. Dieser Strom wird auch durch den Widerstand oben rechts fließen.

- v) Hingegen wird sich der Strom an der Gabelung aufteilen. Er hat zwei Möglichkeiten: entweder den Weg über die drei roten, in Serie

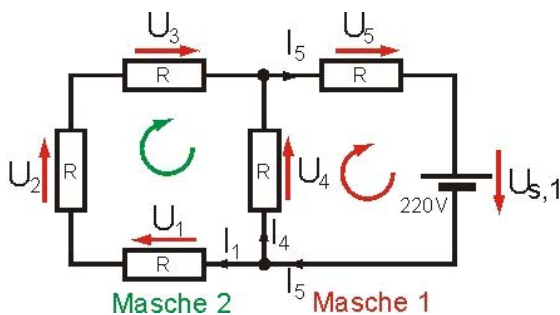
geschalteten Widerstände ($R_{\text{total}} = 3R$) oder über den grünen Widerstand ($R_{\text{total}} = R$). Die Ströme verhalten sich umgekehrt proportional zu den Widerständen, weil über beiden Wegen die gleiche Spannung abfällt

($U = R \cdot I_1 = 3R \cdot I_2$ und daraus $\frac{I_1}{I_2} = \frac{3R}{R} = \frac{3}{1}$, wobei I_1 den Strom durch den

grünen Widerstand darstellt): dreiviertel des Gesamtstromes wird durch den grünen Widerstand fließen und ein Viertel durch die roten

Widerstände. Also $I_1 = \frac{1}{4} I = \frac{1}{4} \cdot 62.9 A = \underline{\underline{15.7 A}}$ und $I_2 = \frac{3}{4} I = \frac{3}{4} \cdot 62.9 A = \underline{\underline{47.1 A}}$.

2. Lösung (mit Gleichungssystem)



Zunächst einmal markieren wir die nötigen Maschen und den Umlaufsinn, wie nebenstehend dargestellt ist. Nun folgt Schema F:

Die Anwendung der Knotenregel ergibt $I_5 - I_1 - I_4 = 0$.

Für die Masche 1 ergibt sich $U_4 + U_5 + U_{s,1} = 0$ oder $I_4 R + I_5 R = U_{s,1}$ und für

die zweite Masche analog $U_1 + U_2 + U_3 - U_4 = 0$ oder $I_1 R + I_2 R + I_3 R - I_4 R = 0$. Nun machen wir uns noch zunutze, dass $I_1 = I_2 = I_3 = I_{123}$ ist und schreiben das Gleichungssystem auf:

$$\left. \begin{array}{l} I_5 - I_{123} - I_4 = 0 \\ I_5 R + I_4 R = U_{s,1} \\ 3 \cdot I_{123} R - I_4 R = 0 \end{array} \right\} \text{oder mit Zahlen} \left. \begin{array}{l} I_5 - I_{123} - I_4 = 0 \\ I_5 \cdot 2\Omega + 0 + I_4 \cdot 2\Omega = 220V \\ 0 + 3I_{123} \cdot 2\Omega - I_4 \cdot 2\Omega = 0 \end{array} \right\}$$

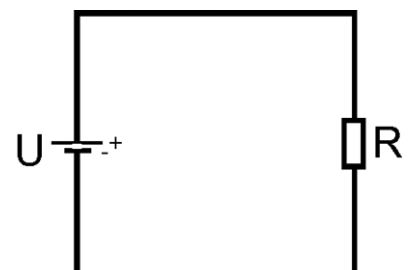
Der Taschenrechner liefert dann $I_5 = 62.9 A$, $I_{123} = 15.7 A$ und $I_4 = 47.1 A$, wie in der Lösung ohne Gleichungssystem.

Welche Variante Sie für die Bearbeitung von Aufgaben auswählen, bleibt ihnen überlassen – jedoch ergibt sich durch die Anwendung der Variante zwei eine nicht unerhebliche Zeit- und Platzersparnis!

11.6 Stromquellen

11.6.1 Ideale Spannungsquellen

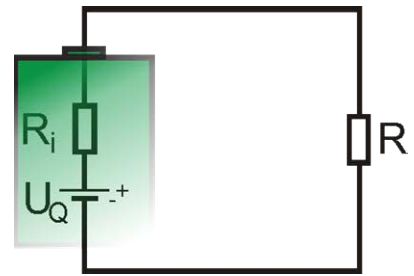
Eine Stromquelle heisst belastet, wenn sie einen Strom liefert, unbelastet, wenn sie stromlos ist. Die Spannung einer Spannungsquelle im unbelasteten Zustand nennt man **Quellenspannung**, **Urspannung** oder **Leerlaufspannung** ab. Nachstehend ist eine einfache Schaltung gezeigt, welche aus einer idealen Batterie mit der Quellenspannung U und einem Widerstand R besteht.



11.6.2 Reale Spannungsquellen

Eine reale Spannungsquelle gibt bei geschlossenem Stromkreis nicht mehr die Quellenspannung U_Q ab, sondern nur noch eine **Klemmenspannung** U , welche kleiner ist als U_Q .

Dies kommt daher, dass eine Spannungsquelle stets einen Innenwiderstand besitzt, welcher zwar sehr klein, aber doch vorhanden ist. Über diesem fällt – abhängig von der Stromstärke im Stromkreislauf – mehr oder weniger Spannung ab. Dadurch steht nicht mehr die ganze Spannung U_Q für den Stromkreislauf zur Verfügung. Man kann sich eine reale Spannungsquelle als eine ideale Spannungsquelle mit einem in Serie geschalteten Innenwiderstand R_i vorstellen.



Die Klemmenspannung ergibt sich zu



$$U = U_Q - IR_i.$$

Oder, da über dem Widerstand R gerade die Klemmenspannung U abfällt

$$IR = U_Q - IR_i.$$

Aufgelöst nach dem Strom und der Quellenspannung erhält man

$$I = \frac{U_Q}{R + R_i} \text{ oder } U_Q = IR + IR_i.$$

11.7 Stromarbeit, elektrische Energie und Leistung

Die Arbeit, die ein Strom I in einem Widerstand R verrichtet, erhält man nach der Definitionsgleichung der Spannung U . Dabei gilt ja $W = q \cdot U$, wobei $q = I \cdot t$ ist. Die Kombination der beiden Gleichungen liefert

$$W = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

Die Stromleistung P erhält man nach der Definition aus $P = \frac{W}{t}$ zu



$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI$$

Die Stromleistung ist also das Produkt aus Spannung und Stromstärke!

Die nachfolgende Aufgabensammlung ist ein Auszug aus der Datenbank unter www.physica.ch. Bei jeder Aufgabe stehen die Kurzlösungen direkt dabei. Falls Sie genauere Lösungen benötigen, finden Sie diese im Anschluss an die Aufgaben oder auf der obigen Homepage - Einfach die hinter der Aufgabe angegebene Nummer ins Suchfeld eingeben. Sollte bei einer Aufgabe keine Lösung angeboten werden, so benutzen Sie bitte das ebenfalls vorhandene Forum, um Ihre Frage loszuwerden.

1)[476]Eine Batterie liefert eine Stunde lang einen Strom von 1 A.

- a) Wieviele Elektronen fließen dabei durch die Batterie? ($2.25 \cdot 10^{22}$)
- b) Ändert sich dabei die elektrische Ladung der Batterie? (k.A)
- c) Wie ist der Ausdruck "die Batterie wird entladen" zu verstehen? (k.A)

2)[477]Durch den Glühfaden einer Autoscheinwerferlampe fließt bei Betriebsspannung von 12 V ein Strom der Stärke 5.0 A.

Welche Ladung wird transportiert, wenn die Lampe während 2.5 h läuft? (45 kC)

3)[478]Welche Werte (inkl. Toleranzen) tragen die Widerstände, welche folgende Farbringkombinationen aufweisen: (unter <http://www.bader-frankfurt.de/widerstandscodes.htm> kann man die Aufgabe steht zur Lösung ein Programm zur Verfügung)

- a) Rot, grün, schwarz, braun ($25 \pm 1\%$)
- b) Gelb, violett, braun, silber ($470 \pm 10\%$)
- c) Braun, grün, braun, blau ($150 \pm 0.25\%$)
- d) Grau, grün, orange, gold ($85000 \pm 5\%$)

4)[479]Welche Farbringkombinationen tragen Widerstände bei den folgenden Werten:

- a) 470Ω mit einer Toleranz von 10% (gelb, violett, braun, silber)
- b) $85 \text{ k}\Omega$ mit einer Toleranz von 5% (grau, grün, orange, gold)
- c) 150Ω mit einer Toleranz von 2% (braun, grün, braun, rot)
- d) 25Ω mit einer Toleranz von 1 % (rot, grün, schwarz, braun)

5)[480]Ein Akkumulator besitzt einen Innenwiderstand von 0.05Ω .

Welcher Strom fließt bei vollständigem Kurzschluss und einer Spannung von 2 V? (40 A)

6)[481]Der menschliche Körper hat einen Widerstand von etwa 1000Ω . Ein Strom von 40 mA kann - über das Herz laufend - bereits zum Tode führen.

Welche Spannung ist also bereits lebensbedrohlich? (40V)

7)[482]Ein Rasenmäher ist über ein 25 m langes Verlängerungskabel angeschlossen. Die Leitungsadern sind aus Kupfer und haben einen Durchmesser von 1.25 mm.

Wie gross ist der Widerstand des Verlängerungskabels? (0.35Ω)

8)[483]Ein langer Kupferdraht mit vernachlässigbarer Isolation ist zu einer grossen Rolle von 100 N Gewicht aufgerollt. Legt man an die beiden Drahtenden eine Spannung von 10 V, so fließt ein Strom von 0.3 A durch die Drahtrolle.

Wie lang ist der Draht? (1500 m)

9)[484]Welchen Spannungsverlust verursacht die aus 5 mm dickem Kupferdraht bestehende Zuleitung zu dem 650 m vom Speisepunkt entfernten Verbraucher bei einer Belastung mit

- a) 25 A? (14.1V)
- b) 60 A? (33.8V)

10)[485]Eine Spule besteht aus 1000 Windungen eines Kupferdrahtes mit der Querschnittsfläche 0.2 mm^2 . Der Durchmesser der Spule beträgt 3 cm.

Wie gross ist der Widerstand der Spule? (8Ω)

11)[486]Ein Lautsprecher besitzt einen Widerstand von 8Ω .

Welcher Strom fließt durch diesen Lautsprecher bei einer Spannung von 1 V, 2 V, 3 V und 4 V. Stellen Sie das Ergebnis graphisch dar! (0.125A, 0.25A, 0.375A, 0.5A)

12)[487]Zwei Widerstände $R_1=1 \Omega$ und $R_2=2 \Omega$ werden parallel geschaltet.

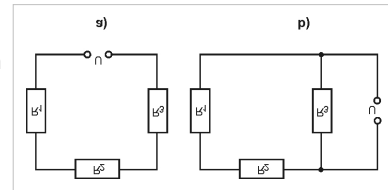
- a) Welcher Strom fließt durch jeden der beiden Widerstände, wenn eine Spannung von 220 V angelegt wird? (220 A, 110 A)
 b) Wie gross ist der Gesamtwiderstand? (0.67Ω)

13)[496] In einem Stromkreis befindet sich eine Glühlampe. Nun wird eine zweite parallel dazu geschaltet.

Leuchtet die erste Glühlampe nun schwächer, gleich hell oder gar heller? (k.A)

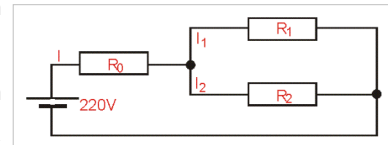
14)[216] Betrachten Sie nebenstehende Schaltungen.

Wie gross ist der Gesamtwiderstand der abgebildeten Anordnung, wenn $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$ und $R_3 = 40\Omega$ ist? Berechnen Sie ausserdem den Gesamtstrom und sämtliche Teilströme, wenn $U = 6V$ ist! (70Ω , $0.086A$; 17.14Ω , $0.35A$)



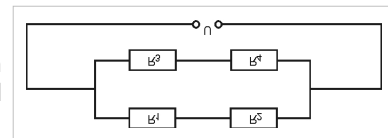
15)[217] Betrachten Sie nebenstehende Schaltung. Es seien $R_0 = 3\Omega$, $R_1 = 18\Omega$, $R_2 = 6\Omega$

- a) Berechnen Sie den Gesamtwiderstand (auch Ersatzwiderstand genannt) der abgebildeten Anordnung! (7.5Ω)
 b) Welche Ströme fließen in den einzelnen Widerständen? ($29.3A$, $22A$, $7.3A$)



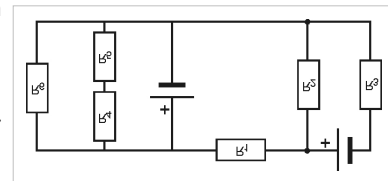
16)[218] Betrachten Sie nebenstehendes Schaltbild.

Wie gross ist der Gesamtwiderstand der abgebildeten Anordnung? Berechnen Sie ausserdem den Gesamtstrom und sämtliche Teilströme! Die Widerstandswerte sind $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 25\Omega$ und $R_4 = 15\Omega$, und die Spannung beträgt 12V. (10.91Ω , $1.1A$, $0.8A$ durch R_1 und R_2 , $0.3A$ durch R_3 und R_4)



17)[220] Betrachten Sie folgendes Schaltbild. Die Werte seien $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 200\Omega$, $R_3 = 75\Omega$, $R_4 = 100\Omega$, $R_5 = 470\Omega$, $R_6 = 250\Omega$ und $U = 24V$

Bestimmen Sie sämtliche Teilströme durch Anwendung der Knoten- und der Maschenregel! (Uhrzeigersinn: positiv. Quelle Mitte: $180 \frac{1}{2} A$, $R_1 = 42.4A$, $R_2 = 98.8A$, $R_3 = 56.5A$, $R_4 = R_5 = 42.1A$ und $R_6 = 96mA$)



18)[490] Die Klemmenspannung einer Spannungsquelle nimmt bei Entnahme von $I_1 = 12A$ bzw. $I_2 = 25A$ die Werte $U_{K1} = 24.6V$ bzw. $U_{K2} = 24.3V$ an.

Wie gross sind der innere Widerstand und die Quellenspannung dieser Spannungsquelle? (0.023Ω , $24V$)

19)[491] Die Klemmenspannung einer Batterie hat bei einem äusseren Widerstand $R_{a1} = 17\Omega$ den Betrag $4.4V$ und bei $R_{a2} = 9\Omega$ den Betrag $4.3V$.

Wie gross sind Quellenspannung und innerer Widerstand? (0.46Ω , $4.52V$)

20)[492] Eine Batterie hat eine Quellenspannung von $1.5V$. Ihr Kurzschlussstrom beträgt $1A$.

- a) Wie hoch ist ihr Innenwiderstand? (1.5Ω)
 b) Welche Klemmenspannung steht zur Verfügung und welcher Strom fließt, wenn an die Batterie ein Verbraucher mit dem Widerstand 15Ω angeschlossen wird? ($0.09A$, $1.35V$)
 c) Welche Klemmenspannung steht zur Verfügung und welcher Strom fließt durch diesen Verbraucher, wenn drei derartige Batterien in Serie geschaltet werden? ($0.032A$, $1.45V$)
 d) Welche Klemmenspannung steht zur Verfügung und welcher Strom fließt durch diesen Verbraucher, wenn drei derartige Batterien parallel geschaltet werden? ($0.077A$, $1.15V$)

21)[493] Eine Autobatterie ($12V$) liefert eine Stromstärke von $3A$ zum Betrieb eines Scheinwerfers.

Wie gross ist die Leistung der Batterie und welche Energie gibt die Batterie in einer Stunde ab? ($36W$, $129'600J$)

22)[494] Ein elektrischer Wassererhitzer mit einer Nennleistung von $2.20 kW$ wird an die Spannung $U=230V$ angeschlossen.

Berechnen Sie die Stromstärke I und den Widerstand der Heizwicklung! (9.6A, 24W)

23)[495]Ein Lautsprecher hat einen Widerstand von 8Ω . Er soll mit einer Leistung von 50W betrieben werden und ist über 10m lange Leitung mit einer Stereoanlage verbunden.

- a) Welchen Widerstand darf die Leitung haben, damit die Leitungsverluste nur 5% der Verstärkerleistung betragen? (0.4Ω)
- b) Welchen Durchmesser muss der Draht haben, wenn er aus Kupfer besteht? (0.18mm)

Lösungen:

1)

a) geg: $I = 1A$, $t = 1h = 3600s$ Lösung: $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ $\Delta Q = I \cdot \Delta t = 3600C$ Ein Elektron besitzt die Ladung

von $1.602 \cdot 10^{-19}C$. Somit fließen in einer Stunde $\frac{3600}{1.602 \cdot 10^{-19}} = 2.25 \cdot 10^{22}$ Elektronen durch die Batterie.

b) Die Gesamtladung der Batterie ist vor und nach der Entladung null und daher gleich, jedoch ändert sich die Verteilung der Ladung.

c) Durch die Ladungstrennung entsteht ein Potentialdifferenz in der Batterie. Durch die Verschiebung der Ladung während der Entladung, fällt der Potentialdifferenz auf Null ab.

2)

geg: $U = 12V$, $I = 5A$, $t = 2.5h = 9000s$ ges: transportierte Ladung Lösung: $Q = I \cdot t = 45'000C = 45kC$

3)

a) 1. Ziffer: rot 2. Ziffer: grün 5 Multiplikator: schwarz 1 Toleranz: braun $\pm 1\%$
 $R = 25 \pm 1\%$

b) 1. Ziffer: gelb 4. Ziffer: violett 7 Multiplikator: braun 10 Toleranz: silber $\pm 10\%$
 $R = 470 \pm 10\%$

c) 1. Ziffer: braun 1. Ziffer: grün 5 Multiplikator: braun 10 Toleranz: blau $\pm 0.25\%$
 $R = 150 \pm 0.25\%$

d) 1. Ziffer: grau 8. Ziffer: grün 5 Multiplikator: orange 1000 Toleranz: gold $\pm 5\%$
 $R = 85000 \pm 5\%$

4)

a) 1.Ziffer = 4 => gelb; 2.Ziffer = 7 => violett; Multiplikator = 10 => braun; Toleranz = 10% => silber; Lösung: gelb, violett, braun, silber

b) 1.Ziffer = 8 => grau; 2.Ziffer = 5 => grün; Multiplikator = 1000 => orange; Toleranz = 5% => gold; Lösung: grau, grün, orange, gold

c) 1.Ziffer = 1 => braun; 2.Ziffer = 5 => grün; Multiplikator = 10 => braun; Toleranz = 2% => rot; Lösung: braun, grün, braun, rot

d) 1.Ziffer = 2 => rot; 2.Ziffer = 5 => grün; Multiplikator = 1 => schwarz; Toleranz = 1% => braun; Lösung: rot, grün, schwarz, braun

5)

geg: $R = 0.05\Omega$, $U = 2V$ Lösung: $I = \frac{U}{R} = 40A$

6)

geg: $R = 1000\Omega$, $I = 40mA = 0.04A$ Lösung: $U = R \cdot I = 40V$

7)

geg: $l = 25m$, $d = 0.00125m$, $\rho_{cu} = 1.7 \cdot 10^{-8}\Omega m$ Lösung: $R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{\rho \cdot l}{r^2 \cdot \pi} = 0.35\Omega$

8)

geg: $F = 100N$, $U = 10V$, $I = 0.3A$, $\rho_{el.W.} = 1.7 \cdot 10^{-8}\Omega m$, $\rho_{dichte} = 8920 \frac{kg}{m^3}$ Lösung: Für die Widerstand gilt: $R = \frac{U}{I} = 33.33\Omega$ Masse der Rolle: $m = \frac{F}{g} = 10.194kg$ Für die Länge des Drahtes gilt:

$l = A \cdot \frac{R}{\rho_{el.W.}}$. Für die Fläche des Drahtes gilt: $A = \frac{V}{l} = \frac{\frac{m}{\rho_{dichte}}}{l} = \frac{m}{\rho_{dichte} \cdot l}$. Einsetzen in der Gleichung

für die Länge des Drahtes ergibt: $l = A \cdot \frac{R}{\rho_{el.W.}} = \frac{\frac{m}{\rho_{dichte} \cdot l} \cdot R}{\rho_{el.W.}} = \frac{m \cdot R}{\rho_{dichte} \cdot l \cdot \rho_{el.W.}} \Rightarrow$ Für die Länge des

Drahtes gilt nun: $l = \sqrt{\frac{m \cdot R}{\rho_{dichte} \cdot \rho_{el.W.}}} = 1500m$

9)

a) geg: $d = 0.005m, l = 2 \cdot 650m$ (H – und Rückleitung!), $\rho_{cu} = 1.7 \cdot 10^{-8}\Omega m, I = 25A$ Lösung:

$$U = I \cdot R = I \cdot \frac{\rho_{cu} \cdot l}{A} = I \cdot \frac{\rho_{cu} \cdot l}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 28.2V$$

b) geg: $d = 0.005m, l = 2 \cdot 650m, \rho_{cu} = 1.7 \cdot 10^{-8}\Omega m, I = 60A$ Lösung:

$$U = I \cdot R = I \cdot \frac{\rho_{cu} \cdot l}{A} = I \cdot \frac{\rho_{cu} \cdot l}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 67.6V$$

10)

geg: $N = 1000, A = 0.2mm^2 = 2 \cdot 10^{-7}m^2, d = 0.03m, \rho_{cu} = 1.7 \cdot 10^{-8}\Omega m$ Lösung: Für die Länge der Spule gilt: $l = N \cdot d \cdot \pi = 94.248m$ Somit gilt für den Widerstand $R = \frac{\rho_{cu} \cdot l}{A} = 8\Omega$

11)

geg: $R = 8\Omega, U_1 = 1V, U_2 = 2V, U_3 = 3V, U_4 = 4V$ Lösung:

$I = \frac{U}{R}$ $I_1 = 0.125A, I_2 = 0.25A, I_3 = 0.375A, I_4 = 0.5A$. Wenn Sie das Ergebnis als U(I) Diagramm

graphisch darstellen, so liegen die Punkte auf einer Geraden mit der Steigung $8 \frac{V}{A} = 8\Omega$.

12)

a) geg: $R_1 = 1\Omega, R_2 = 2\Omega, U = 220V$ ges: I_1 und I_2 Lösung: Für parallel geschaltete Widerstände gilt:

Spannung ist über beide Widerstände dieselbe. $I_1 = \frac{U}{R_1} = 220A, I_2 = \frac{U}{R_2} = 110A$

b) Der Gesamtwiderstand parallel geschalteter Widerstände lässt sich wie folgt berechnen:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = 1.5 \frac{1}{\Omega} \quad R = 0.67\Omega$$

13)

=> gleich hell. Dabei gilt: Je grösser die Stromstärke I, desto heller leuchtet die Lampe. Haben wir nur eine Lampe gilt für die Stromstärke $I = \frac{U}{R}$ Bei zwei Lampen gilt für die Gesamtstromstärke:

$$I_{\geq s} = \frac{U}{R_{\geq s}} = \frac{U}{\frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}}} = \frac{U}{\frac{2}{R}} = 2 \frac{U}{R}. \text{ Somit gilt für die Stromstärke durch jede Lampe } I_{Lampe} = \frac{I_{\geq s}}{2} = \frac{U}{R} \text{ (da}$$

beide identisch sind)

14)

In Anordnung a) sind die drei Widerstände in Serie geschaltet. Der Gesamtwiderstand berechnet sich deshalb nach $R = R_1 + R_2 + R_3 = 70\Omega$. Der Gesamtstrom beträgt dann $I = \frac{U}{R} = \frac{6V}{70\Omega} = 0.086A$.

Bei b) sind R_1 und R_2 in Serie und gegen R_3 parallel geschaltet. Zur Berechnung des Gesamtwiderstandes fassen wir zunächst R_1 und R_2 zusammen: $R_{12} = R_1 + R_2 = 30\Omega$. Den

Widerstand R_{12} kombiniert man mit R_3 nach $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{30\Omega} + \frac{1}{40\Omega} = \frac{7}{120}\Omega^{-1}$ oder eben

$$R = 17 \frac{1}{7}\Omega. \text{ Damit berechnet sich der Gesamtstrom zu } I = \frac{U}{R} = 6 \frac{V}{17 \frac{1}{7}A} = \frac{35}{100}A.$$

15)

a) Die Widerstände R_1 und R_2 sind parallel geschaltet. Ihr Ersatzwiderstand beträgt $\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{18\Omega} + \frac{1}{6\Omega} = \frac{4}{18}\Omega^{-1}$ oder $R_{12} = 4 \frac{1}{2}\Omega$. Dieser Widerstand ist in Serie mit dem

Widerstand R_0 geschaltet, der Gesamtwiderstand der Anordnung beträgt also $R = R_0 + R_{12} = 7 \frac{1}{2}\Omega$.

b) Der Strom I_0 durch den Widerstand R_0 entspricht dem Gesamtstrom, also

$I_0 = I = \frac{U}{R} = \frac{220V}{7 \frac{1V}{2A}} = 29 \frac{1}{3} A$. Die beiden anderen Teilströme berechnen sich analog zu

$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{132V}{18 \frac{V}{A}} = 7 \frac{1}{3} A$ respektive $I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{132V}{6 \frac{V}{A}} = 22A$, wobei man beachtet hat, dass über dem

Widerstand R_0 bereits die Spannung $U_0 = R_0 \cdot I_0 = 88V$ abfällt und somit über den beiden anderen Widerständen je nur noch $132V$ anliegen!

16)

In der Anordnung sind die Widerstände R_1 und R_2 bzw. R_3 und R_4 jeweils in Serie und gegeneinander parallel geschaltet. Zur Berechnung des Gesamtwiderstandes fassen wir deshalb zunächst mal die Widerstände R_1 und R_2 zusammen zum Widerstand $R_{12} = R_1 + R_2 = 15\Omega$. Analog folgt der Widerstand $R_{34} = R_3 + R_4 = 40\Omega$. Diese kombiniert man zum Gesamtwiderstand $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{34}} = \frac{11}{120}\Omega^{-1}$ oder $R = 10 \frac{1}{11}\Omega$. Der Gesamtstrom beträgt damit zu

$I = \frac{U}{R} = 12 \frac{V}{10 \frac{1}{11} \frac{V}{A}} = 1 \frac{1}{10} A$ Aufgrund der Anordnung werden die Ströme I_1 und I_2 , respektive I_3 und

I_4 identisch sein. Der Strom durch die Widerstände 1 und 2 berechnet sich folgendermassen:

$I_{12} = I_1 = I_2 = \frac{U}{R_{12}} = 12 \frac{V}{15 \frac{V}{A}} = \frac{4}{5} A$. Für den Strom durch die Widerstände 3 und 4 folgt analog

$I_{34} = I_3 = I_4 = \frac{3}{10} A$.

17)

Kein Eintrag

18)

geg: $I_1 = 12A, I_2 = 25A, U_{K1} = 24.6V, U_{K2} = 24.3V$ Lösung: $U_{K1} = U_Q - I_1 R_i$ $U_Q = U_{K1} + I_1 R_i$ (GL.1); $U_{K1} = U_Q - I_1 R_i$ $U_Q = U_{K2} + I_2 R_i$ (GL.2) Gleichsetzen von GL.1 und GL.2:

$U_{K1} + I_1 R_i = U_{K2} + I_2 R_i$ $I_1 R_i - I_2 R_i = U_{K2} - U_{K1}$ $R_i = \frac{U_{K2} - U_{K1}}{I_1 - I_2} = 0.023\Omega$ Für die

Quellenspannung gilt nun: $U_Q = U_{K1} + I_1 R_i = 24V$

19)

geg: $R_{a1} = 17\Omega, U_{K1} = 4.4V, R_{a2} = 9\Omega, U_{K2} = 4.3V$ Lösung: $I_1 = U \frac{K1}{R_{a1}} = 0.259A, I_2 = U \frac{K2}{R_{a2}} = 0.478A$

$U_{K1} = U_Q - I_1 R_i$ $U_Q = U_{K1} + I_1 R_i$ (GL.1); $U_{K1} = U_Q - I_1 R_i$ $U_Q = U_{K2} + I_2 R_i$ (GL.2) Gleichsetzen von GL.1 und GL.2: $U_{K1} + I_1 R_i = U_{K2} + I_2 R_i$ $I_1 R_i - I_2 R_i = U_{K2} - U_{K1}$ $R_i = \frac{U_{K2} - U_{K1}}{I_1 - I_2} = 0.457\Omega$

Für die Quellenspannung gilt nun: $U_Q = U_{K1} + I_1 R_i = 4.518V$

20)

a) geg: $U_Q = 1.5V, I = 1A$ Lösung: $R_i = \frac{U_Q}{I} = 1.5\Omega$

b) geg: $U_Q = 1.5V, R_i = 1.5\Omega, R_a = 15\Omega$ Lösung:
 $U = U_Q - I \cdot R_i = U_Q - \frac{U}{R_a} \cdot R_i$ $U + \frac{U}{R_a} \cdot R_i = U_Q$ $U \left(1 + \frac{R_i}{R_a}\right) = U_Q$ $U = \frac{U_Q}{1 + \frac{R_i}{R_a}} = 1.36V$ Für den

Strom gilt: $I = \frac{U}{R_a} = 0.09A$

c) geg: $U_Q = 1.5V, R_i = 1.5\Omega, R_a = 15\Omega$ Lösung:
 $U = U_Q - I \cdot R_i = U_Q - \frac{U}{3 \cdot R_a} \cdot R_i$ $U + \frac{U}{3 \cdot R_a} \cdot R_i = U_Q$ $U \left(1 + \frac{R_i}{3 \cdot R_a}\right) = U_Q$ $U = \frac{U_Q}{1 + \frac{R_i}{3 \cdot R_a}} = 1.45V$

Für den Strom gilt: $I = \frac{U}{R_a} = 0.032A$

d) geg: $U_Q = 1.5V, R_i = 1.5\Omega, R_a = 15\Omega$ Lösung: $\frac{1}{R_{a, \geq s}} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_a} = 0.2$ $R_{a, \geq s} = 5\Omega$

$$U = U_Q - I \cdot R_i = U_Q - \frac{U}{R_{a, \geq s}} \cdot R_i \quad U + \frac{U}{R_{a, \geq s}} \cdot R_i = U_Q \quad U \left(1 + \frac{R_i}{R_{a, \geq s}} \right) = U_Q \quad U = \frac{U_Q}{1 + \frac{R_i}{R_{a, \geq s}}} = 1.15V$$

Für den Strom gilt: $I_{\geq s} = \frac{U}{R_a} = 0.23A$ Strom durch jeden Verbraucher $I = 0.077A$

21)

geg: $U = 12V, I = 3A, t = 3600s$ Lösung: $P = U \cdot I = 36W$ $E = U \cdot I \cdot t = 129'600J$

22)

geg: $P = 2200W, U = 230V$ Lösung: $I = \frac{P}{U} = 9.6A$ $R = \frac{U}{I} = 24W$

23)

a) geg: $R_L = 8\Omega, P = 50W$ Lösung: Für I gilt: $I = \sqrt{\frac{P}{R}} = 2.5A$ 5% der Leistung beträgt 2.5W. Somit gilt

für den Widerstand der Leitung: $R = \frac{P}{I^2} = 0.4\Omega$

b) geg: $R_D = 0.4\Omega, l = 10m, \rho_{cu} = 1.7 \cdot 10^{-8}\Omega m$ Lösung:

$$R_D = \rho_{cu} \cdot \frac{l}{A} = \rho_{cu} \cdot \frac{l}{r^2 \cdot \pi} \quad r = \sqrt{\rho_{cu} \cdot \frac{l}{R_D \cdot \pi}} = 0.00037m$$

Somit muss der Durchmesser des Drahtes 0.18mm sein.