

1.2 Grundlagen/Elektrischer Strom

1.2.1 Stromkreis

Ein Lüfter soll an einen PC angeschlossen werden. Man braucht das PC-Netzteil, drei Leitungen, einen Schalter und den Lüfter selbst. Den Aufbau zeigt Abbildung 1.

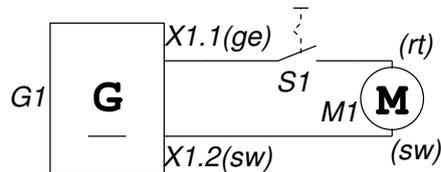


Abbildung 1: Stromkreis

Es handelt sich um eine technische Kurzdarstellung für den tatsächlichen Aufbau, den sogenannten Schaltplan (auch Stromlaufplan genannt, engl. *schematic, circuit*). Er besteht aus Schaltsymbolen. In Abbildung 2 sind wichtige Symbole mit ihrer Bedeutung aufgelistet.

	Galvanische Zelle (Batterie/Akku)		Leuchtdiode
	Generator/Netzteil/Spannungsquelle		Leitung
	Schalter: Schließerkontakt		Abzweig
	Schalter: Öffnerkontakt		Abzweig
	Schalter: Wechslerkontakt		Kreuzung ohne Verbindung
	Schalter, handbetätigt, einrastend		Kreuzung ohne Verbindung
	Glühlampe		Kreuzung mit Verbindung
	Motor (z.B. Lüfter, Antrieb, ...)		

Abbildung 2: Schaltsymbole

Außerdem ist im Schaltplan jedem Bauelement (Betriebsmittel) eine eindeutige Kennzeichnung zugeordnet. Sie besteht aus einem Kennbuchstaben und einer laufenden Nummer.

Erst nach dem vollständigen Aufbau wird eingeschaltet. Während jeder Änderung muss der Generator abgeschaltet sein, um Schaden für Menschen und Technik zu vermeiden.

Was passiert nun, wenn die Reihenfolge der Bauelemente vertauscht wird wie in Abbildung 3?

Ergebnis: Der Stromkreis funktioniert wie vorher. Man sollte sich merken: Im (unverzweigten) Stromkreis ist die Reihenfolge der Bauelemente nicht von Bedeutung.

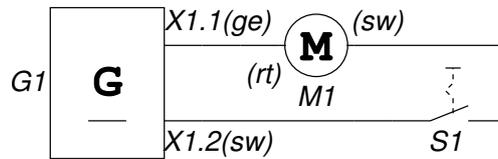


Abbildung 3: Vertauschte Elemente

Aber was passiert, wenn die Anschlüsse des Lüfters vertauscht werden wie in Abbildung 4?

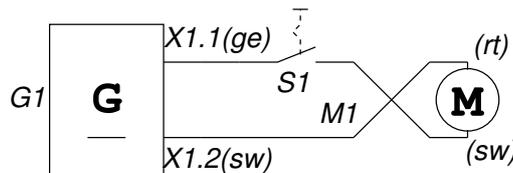


Abbildung 4: Vertauschte Anschlüsse

Ergebnis: In unserem Fall dreht sich der Lüfter nicht. Allgemein kann man sagen: Wenn man die Anschlüsse eines Bauelements vertauscht, ist das Ergebnis undefiniert. Folgende Ergebnisse wären möglich gewesen:

- normale Funktion (z.B. Glühlampe),
- andere Funktion (z.B. viele Motoren drehen in anderer Richtung),
- Zerstörung des Elements (z.B. CPU),
- keine Funktion - wie in diesem Fall.

1.2.2 Was ist Strom?

Man spricht davon, dass Strom fließt. Aber was fließt eigentlich in einem Stromkreis?

- Es fließt kein Metall, sonst wäre der Wolframdraht in der Glühlampe schnell durch Kupfer aus dem Draht ersetzt.
- Es fließt jedoch Materie, denn bei Auftrennen des Kreises ist die Lampe sofort dunkel.
- In einer Kupferleitung fließen Elektronen durch ein Metall. Ist die Leitung denn hohl?

Zum Verständnis braucht man eine Vorstellung vom Aufbau der Materie, ein sogenanntes Modell (= eine Vereinfachung von etwas, das nicht vollständig verstanden werden kann).

Das einfachste Atom-Modell besteht aus der Erkenntnis, dass ein Atom nicht weiter teilbar ist, und dass jede der verschiedenen Atom-Arten einem bestimmten chemischen Element entspricht.

Ein genaueres Modell des Atoms teilt das Atom auf in eine Hülle und einen Kern. Die Hülle besteht dann aus x Elektronen, der Kern aus y Protonen und z Neutronen. Die Anzahl der Elektronen ist gleich der Anzahl der Protonen: $x = y$.

Die Elektronen bewegen sich dieser Vorstellung nach auf Kreisbahnen um den Kern.

Die Kreisbahn deutet hin auf eine Anziehungskraft zwischen Kern und Hülle bzw. zwischen Protonen und Elektronen.

Diese Anziehungskraft nennt man elektrische Feldkraft: Ein Elektron und ein Proton ziehen einander an, zwei Protonen stoßen einander ab, ebenso zwei Elektronen. Befinden sich ein Elektron und ein Proton nahe beieinander, so wirken sie zusammen (auf andere Elektronen oder Protonen) neutral.

Daher ordnet man dem Proton eine Eigenschaft "positive elektrische Ladung" (e) und dem Elektron die Eigenschaft "negative elektrische Ladung" ($-e$) zu. Beide sind dann sogenannte elektrische Ladungsträger. Ein Atom mit der gleichen Anzahl von Elektronen wie Protonen ($x = y$) wirkt daher nach außen elektrisch neutral. Vergleicht man dieses Verhalten mit der Schwerkraft (Gravitation), sieht man den Unterschied: Dort gibt es nur Anziehung, alle Teilchen ziehen einander an.

Die Stärke der anziehenden/abstoßenden Kraft ist $F = \frac{\text{const}}{r^2}$. Diese Kraft ist im Vergleich zum menschlichen Maßstab sehr gering.

Will man diese Stärke erhöhen, so muss man sehr viele Ladungsträger gemeinsam verwenden. n Ladungsträger haben zusammen die Ladung:

$$Q = \pm n \cdot e \quad (1)$$

Aus diesem Grund ist die Maßeinheit für elektrische Ladung (leider) nicht e (obwohl sich das natürlich anbietet), sondern ein Vielfaches davon:

$$[Q] = 1\text{C} = 6,25 \cdot 10^{18} \cdot e \quad (2)$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot \text{C} \quad (3)$$

1.2.3 Stromstärke

Werden einer oder mehrere Ladungsträger in gleicher Richtung bewegt (z.B. in einem Draht), spricht man von elektrischem Strom. Der elektrische Strom ist also ein gerichteter Strom von Ladungsträgern.

Er ist vergleichbar dem Massenstrom, einem Strom von Materie ¹.

Wie wird nun z.B. der Massenstrom eines Flusses angegeben (Abbildung 5)? Gefragt ist, wieviel

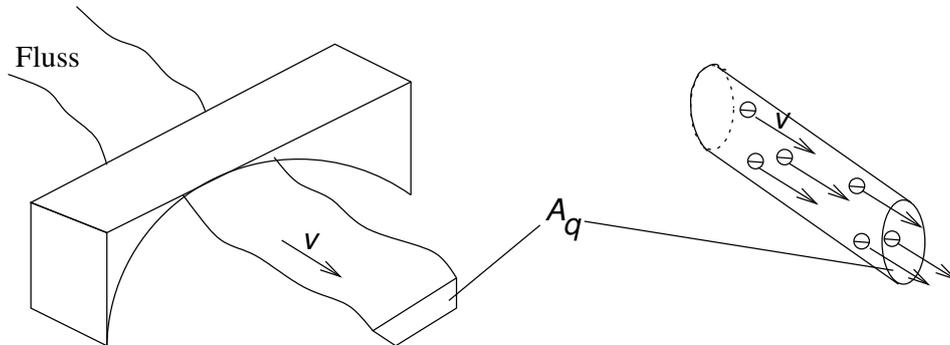


Abbildung 5: Massenstrom und elektrischer Strom

Masse pro Zeit durch den Flussquerschnitt A_q hindurchfließt:

$$I_m = \frac{m}{t} \quad (4)$$

Die Einheit des Massenstroms ² ist dann $[I_m] = \text{kg/s}$.

¹Auch beim elektrischen Strom fließt Materie; die Effekte durch die bewegende Masse sind jedoch viel kleiner als die elektrischen Effekte

²Er könnte auch berechnet werden aus der Geschwindigkeit v des Flusses und seinem Querschnitt A_q sowie aus der Massendichte ρ des Wassers:

$I_m = v \cdot A_q \cdot \rho = \frac{s}{t} \cdot A_q \cdot \rho$ Diese Formel ist etwas unhandlich; so fasst man $V = s \cdot A_q$ und $m = V \cdot \rho$ zusammen und erhält:

$I_m = \frac{m}{t}$ – Mit dieser Formel kann man einfacher umgehen.

Beim elektrischen Strom interessiert nicht die strömende Masse, sondern die strömende Ladung. Also ersetzt man die unwichtige Eigenschaft m durch die interessierende Eigenschaft Q :

$$I = \frac{Q}{t} \quad (5)$$

Die Einheit der elektrischen Stromstärke ist dann

$$[I] = \frac{1\text{C}}{1\text{s}} = \frac{1\text{As}}{1\text{s}} = 1\text{Ampere} = 1\text{A} \quad (6)$$

Die Tabelle 1 zeigt typische Größenordnungen für Stromstärken in der Technik:

Terrestrische Antenne	0,00001 A = 10 μ A
Mikrofoneingang der Soundkarte	0,00002 A = 20 μ A
Leuchtstofflampe, 20 W	0,09 A = 90 mA
PC-Lüfter	0,2 A
PC-Netzteil, 200W, Eingang	0,9 A
Wasserkocher	3,5 A
CPU (je nach Typ)	12 A
Stromabnehmer einer Lokomotive	250 A
natürlicher Blitz	100 000 A = 100 kA

Tabelle 1: Größenordnungen für Stromstärken

1.2.4 Isolator, Leiter, Halbleiter

Nicht jeder Stoff leitet den Strom gleich gut (siehe Tabelle 2).

Leiter	Isolator	Halbleiter
Metalle	Holz	Silizium
Kohle (=Graphit)	Glas	Germanium
Wasser	Keramik (z.T.)	Selen
(Menschen)	Kunststoff (z.T.)	Galliumarsenid
(Tiere)	Gummi	
(Pflanzen)	Stoffe (z.T.)	

Tabelle 2: Leiter, Isolatoren, Halbleiter

Entscheidend für die Leitfähigkeit sind die Struktur der Stoffe (Gemenge, Verbindungen, Grundstoffe (=Elemente)) und die Art ihrer Bindungen:

- Atombindung (Metalle) — Elektronen gehören zu allen Atomen
- Elektronenpaarbindung (Moleküle) — zwei Atome eines Moleküle teilen sich ein oder mehrere Elektronen; meistens sind dann keine Elektronen mehr frei (Ausnahme: Wasser).
- Ionenbindung (Ionen) — ein Atom einer Art (z.B. Cl) nimmt ein oder mehrere Elektronen von einem Atom einer anderen Art an (z.B. Na).

1.2.5 Stromfluss im Metall

Metalle haben in der Regel Kristallstruktur, d.h. extrem regelmäßigen geometrischen Aufbau (s. Abb. 6, allerdings in drei Dimensionen).

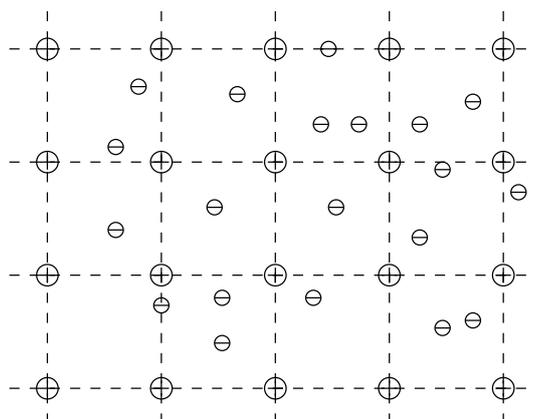


Abbildung 6: Struktur von Metallen

Anders als andere Stoffe dieser Struktur (z.B. Salzkristalle), sind ihre Elektronen äußerst lose an das Atom gebunden, und zwar so lose, dass ein Elektron an jede beliebige Stelle im Kristallgitter wandern kann. Jedes Elektron gehört damit zu allen Atomen im Gitter.

Metalle bilden also ein festes Metallgitter mit im Gitter frei beweglichem Elektronengas. Was ist dann der Stromfluss im Metall? Der Stromfluss im Metall ist gerichtete Bewegung der Elektronen durch das feste Gitter der Metallatome (s. Abb. 7).

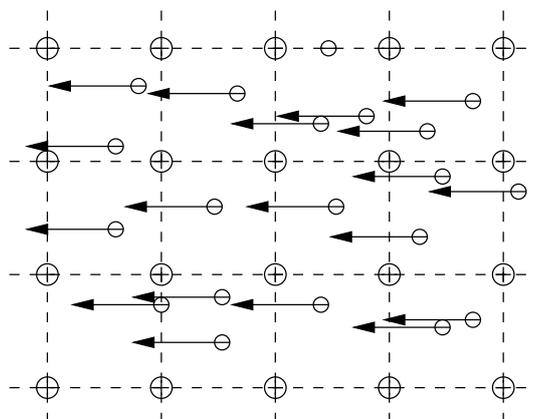


Abbildung 7: Stromfluss im Metall

Bei wachsender Temperatur schwingen die Metallatome im Gitter stärker; damit wird das Durchlaufen der Elektronen, also der Stromfluss behindert. Dem Stromfluss wirkt dann ein *Widerstand* entgegen.

1.2.6 Stromrichtung

Als die Stromrichtung festgelegt wurde, war noch nicht bekannt, in welcher Richtung die Ladungsträger in metallischen Leitern flossen. Dennoch brauchte man eine Festlegung.

Also legte man fest (Abbildung 8 links), dass ein Strom **vom Pluspol** über den Verbraucher **zum Minuspol** einer galvanischen Zelle (Akku, Batterie) **positiv** gezählt wird ³.

³Läuft man diese Stromrichtung weiter durch die galvanische Zelle hindurch zurück zum Pluspol, merkt man, dass **in der Spannungsquelle** der Strom vom Minuspol zum Pluspol laufen muss; sonst wäre der Stromkreis nicht

Um 1900 erkannte man jedoch, dass die Elektronenflussrichtung im Metall genau entgegengesetzt zur technischen Stromrichtung war (Abbildung 8 rechts): Die Elektronen fließen vom Minuspol der Spannungsquelle (=Elektronenüberschuss) durch den Verbraucher hin zum Pluspol der Spannungsquelle (=Elektronenmangel).

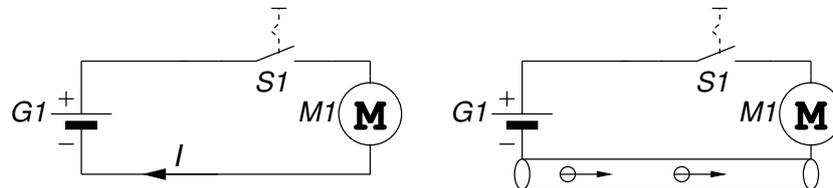


Abbildung 8: Technische Stromrichtung und Elektronenflussrichtung

Technische Stromrichtung und Elektronenflussrichtung im Metall sind also einander entgegengesetzt. Dennoch wurde die technische Stromrichtung beibehalten, damit nicht alle damaligen Fachleute umlernen mussten.

Will man im Schaltbild einen Strom kennzeichnen, geschieht das durch einen Pfeil (wahlweise auf der Leitung oder dicht daneben). Hat der Pfeil die gleiche Richtung wie die technische Stromrichtung, zeigt also vom Pluspol zum Minuspol, kennzeichnet er einen positiven Strom (andernfalls einen negativen Strom).

1.2.7 Messung der Stromstärke

Wie wird ein Strom-Messgerät (Amperemeter) in den Stromkreis eingebaut?

- Abschalten der Spannungsquellen (nie unter Spannung arbeiten!)
- Auftrennen des Stromkreises; es entstehen zwei offene Enden.
- Einbau des Amperemeters zwischen die beiden offenen Enden des Stromkreises.
- Dabei soll der Minusanschluss des Amperemeters in die gleiche Richtung zeigen wie der Strompfeil im Schaltbild.
- Vorsicht: Viele analog anzeigende Amperemeter können nur positive Werte anzeigen!
- Einschalten der Spannungsquellen (nie unter Spannung arbeiten!)

Das Resultat zeigt Abbildung 9. An welcher Stelle das Amperemeter eingebaut wird, macht nichts

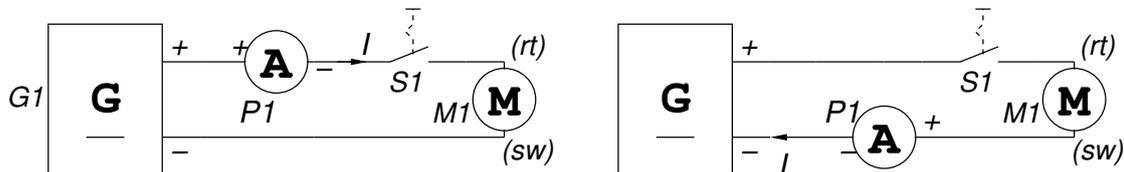


Abbildung 9: Strommessung

aus, denn an jedem Punkt des (unverzweigten) Stromkreises kann die gleiche Stromstärke gemessen werden.

geschlossen.