

1 Die Basics zum Stromkreis – eine Kurzrepetition

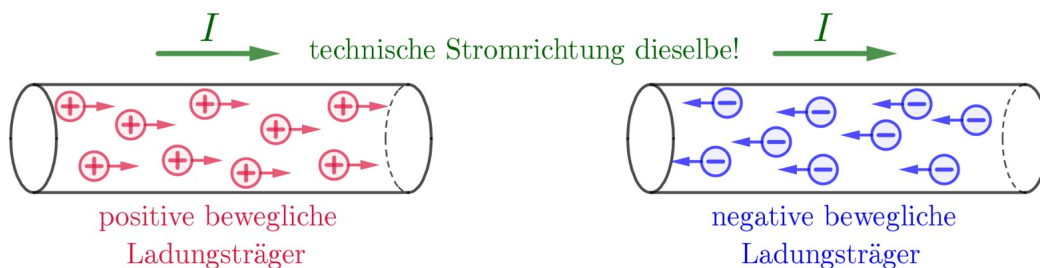
1.1 “Was ist Strom?” \Rightarrow Bewegung elektrischer Ladungen!

Bewegen sich *elektrisch geladene Teilchen* im Kollektiv, so nennen wir das einen *elektrischen Strom*. Die Art der sich bewegenden Teilchen ist je nach Leitungsmaterial verschieden, beispielsweise

- frei bewegliche *Elektronen* im *Metall* (= *Leitungselektronen*, Spezialität der *Metallbindung*!),
- *Ionen* (= geladene *Atome/Moleküle*) in *Ionenlösungen*, z.B. Na^+ - und Cl^- -Ionen im Salzwasser,
- *Protonen* im Strahl des LHC (= Teilchenbeschleuniger am CERN), etc.

Definition der Stromrichtung

Die sog. *technische Stromrichtung* führt stets vom positiveren zum negativeren Pol einer Spannungsquelle. Man kann sie mit einem Pfeil I neben der Leitung eintragen:



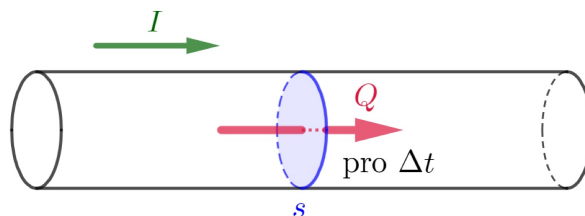
Besteht der Strom real aus positiv geladenen Teilchen, so fließen diese in die Richtung des technischen Stroms, wohingegen negativ geladene Teilchen entgegengesetzt zum technischen Strom unterwegs sind. Die Definition der technischen Stromrichtung sorgt lediglich dafür, dass der Strom in der (mathematischen) Handhabung und in Skizzen eine eindeutige Richtung hat, egal welche Teilchen in der Realität unterwegs sind und diesen Strom ausmachen.

Definition der Stromstärke I

Wir zählen, wie viel elektrische Ladung Q (in Form geladener Teilchen) pro Zeitabschnitt Δt durch einen Leiterquerschnitt an einer Stelle s der Leitung hindurch fließt und definieren damit die

$$\text{Stromstärke } I := \frac{Q}{\Delta t} = \text{“Ladung pro Zeitabschnitt”} \quad (1)$$

an dieser Stelle.



Einheit: SI-Einheit der Zeit: $[t] = \text{Sekunde} = \text{s}$; SI-Einheit der Ladung: $[Q] = \text{Coulomb} = \text{C}$

$$\Rightarrow \text{SI-Einheit der Stromstärke: } [I] = \frac{[Q]}{[t]} = \frac{\text{C}}{\text{s}} =: \text{Ampere} = \text{A}$$

In der Elektronik sind die Stromstärken meist sehr gering! Mehr als 10 mA sind die Ausnahme. Allerdings werden wir selten Stromstärken messen oder damit rechnen.

1.2 “Was treibt den Strom an?” \Rightarrow elektrische Spannung!

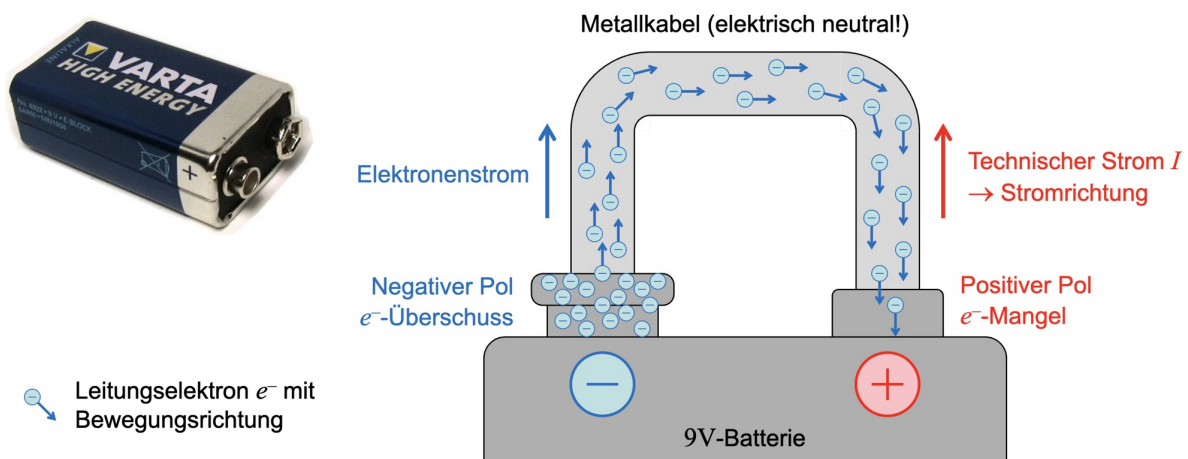
Soll durch eine Schaltung Strom fließen, so muss über ihr eine *Spannung* U anliegen. Diese Aussage gilt bereits für jedes einzelne Element der Schaltung, für kleinere oder grössere Blöcke oder für die Schaltung insgesamt. Soll irgendwo Strom fließen, so ist dazu eine Spannung nötig.

In der Elektronik interessieren uns insbesondere die Spannungen über einzelnen Schaltelementen, oder aber die Spannung zwischen zwei Drahtstellen in der Schaltung. Und natürlich arbeiten wir mit Batterien, also fixen Spannungsquellen, die uns zwischen ihren Polen (je nach Ladungszustand) etwa 9 V Spannung zur Verfügung stellen.

Spannungsquellen und elektrische Pole

In einer *Spannungsquelle* (Batterie, Netzgerät, Dynamo, etc.) werden durch irgendeinen Prozess positive und negative Ladungen voneinander getrennt. So entstehen die an der Batterie abgreifbaren *elektrischen Pole*. Man sagt: Beim *negativen Pol* einer Batterie ist ein *Elektronenüberschuss* und beim *positiven Pol* ein *Elektronenmangel* (im Vergleich mit elektrisch neutralem Material) vorhanden.¹ Man kann die Spannungsquelle als “Pumpe” auffassen, die die beweglichen geladenen Teilchen aufgrund elektrischer Kräfte (*Coulombkraft*) durch den Stromkreis drückt/zieht.

Hier zur Veranschaulichung der *Kurzschluss* einer 9V-Batterie, also die direkte Verbindung der beiden Pole durch ein Metallkabel. Die Leitungselektronen werden vom negativen Pol abgestossen und vom positiven Pol angezogen und auf diese Weise durch das Metallkabel gedrückt/gezogen.²



Definition der elektrischen Spannung

Für die *Ladungstrennung* in der Spannungsquelle wird Energie benötigt, denn dabei muss gegen die anziehende Coulombkraft zwischen positiver und negativer Ladung Arbeit verrichtet werden.³ Diese investierte Energie ist aber nicht verloren, sondern sie ist als (*potentielle!*) *elektrische Energie* der Ladungsträger zu verstehen: Ein Leitungselektron am negativen Pol einer Batterie besitzt mehr elektrische Energie als eines, das am positiven Pol angekommen ist, denn schliesslich wird das Leitungselektron vom negativen Pol abgestossen und vom positiven angezogen. Genau diese elektrische Energie wird also wieder freigesetzt, wenn die Ladung durch den Stromkreis fließt. Mit dieser Energie werden die Geräte im Stromkreis versorgt.

¹Wir werden beim Stichwort *Erdung* allerdings noch sehen, wie diese Aussagen etwas relativiert werden müssen.

²Derartige Kurzschlüsse wollen wir vermeiden, denn dadurch wird die Batterie sehr rasch “entleert”.

³Bei einer Batterie stammt diese Energie beispielsweise aus einem elektrochemischen Prozess, bei einem Dynamo hingegen aus der Energie einer Drehbewegung.

Wir halten nun fest: Je grösser die Spannung der Spannungsquelle ist, ...

- desto stärker ist der interne Ladungstrennungsprozess der Spannungsquelle,
- desto ausgeprägter sind die Pole der Spannungsquelle (grössere Ladungen),
- desto stärker sind die elektrischen Kräfte, die auf die beweglichen Ladungsträger wirken,
- desto mehr elektrische Energie besitzt ein Leitungselektron am negativen Pol und
- desto mehr elektrische Energie wird im Stromkreis umgesetzt, wenn sich die Ladungsmenge Q (z.B. in Form von Leitungselektronen) vom einen zum anderen Pol bewegt.

Der letzte Gedanke wird allgemein zur Definition der *elektrischen Spannung* zwischen zwei Orten verwendet: Wird bei der Bewegung der Ladungsmenge Q vom Ort A zum Ort B die elektrische Energie ΔE umgesetzt, so beträgt die elektrische

$$\text{Spannung zwischen A und B} \quad U_{AB} := \frac{\Delta E}{Q} \quad (2)$$

Einheit: SI-Einheit der Energie: $[E] = \text{Joule} = \text{J}$; SI-Einheit der Ladung: $[Q] = \text{Coulomb} = \text{C}$

$$\Rightarrow \text{SI-Einheit der Spannung: } [U] = \frac{[E]}{[Q]} = \frac{\text{J}}{\text{C}} =: \text{Volt} = \text{V}$$

Beispiel: Bei einer 9V-Batterie werden pro Coulomb Ladung, das sich in Form beweglicher Ladungsträger vom einen zum anderen Batteripol durch den Stromkreis bewegt, 9 J Energie freigesetzt.

Schlussanmerkung zu Spannungen in der Elektronik

Die Spannung ist vom Konzept her der anspruchsvollste Begriff, wenn man sich neu mit elektrischen Stromkreisen befasst. Für die Elektronik wollen wir vor allem mitnehmen, dass die Spannung den Strom antreibt und wir an den Spannungen zwischen verschiedenen Stellen in einer Schaltung oder an der Spannung über einem bestimmten Schaltelement interessiert sein werden.

1.3 “Was regelt, wie viel Strom fliesst?” \Rightarrow elektrischer Widerstand!

Je besser ein Objekt den Strom leitet, umso grösser ist seine *Leitfähigkeit*. Allerdings erweist es sich als zweckmässiger anzugeben, wie *schlecht* ein Objekt den Strom leitet. Dazu definieren wir den elektrischen

$$\text{Widerstand} \quad R := \frac{U}{I} \quad (3)$$

In Worten: Wenn wir mit der Spannung U versuchen Strom durch ein Objekt zu drücken, so lässt das Objekt eine bestimmte Stromstärke I zu. Je schlechter das Objekt den Strom leitet, umso mehr Spannung U wird pro Stromstärke I benötigt. In diesem Sinn ist das Verhältnis $\frac{U}{I}$ eben geeignet den Widerstand des Objekts zu beschreiben.

Einheit: SI-Einheit der Spannung: $[U] = \text{Volt} = \text{V}$; SI-Einheit der Stromstärke: $[I] = \text{Ampere} = \text{A}$

$$\Rightarrow \text{SI-Einheit des Widerstandes: } [R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{\text{V}}{\text{A}} =: \text{Ohm} = \Omega$$

Beispiel: Ein Wasserkocher hat einen Widerstand von 32Ω . Pro 1 A Stromstärke, die durch den Kocher fliessen sollen, werden also 32 V Spannung über dem Kocher benötigt. Mit seinem Widerstand legt der Kocher also fest, wie viel Strom fliesst, wenn soundso viel Spannung über ihm angelegt wird.

Notizen zu den Widerständen verschiedener Schaltelemente

Manche Elemente, die wir in unsere Schaltungen einbauen, weisen bei verschiedenen Spannungen unterschiedliche Widerstandswerte auf. Das wichtigste Beispiel sind *Diode*n. Eine Siliziumdiode beispielsweise lässt in eine Richtung unter 0.7 V Spannung praktisch gar keinen Strom fließen (sehr grosser Widerstand), über 0.7 V leitet sie den Strom allerdings sehr gut (sehr geringer Widerstand). In die Gegenrichtung *sperrt* sie komplett, lässt als gar keinen Strom fließen ($\approx \infty$ -grosser Widerstand).

Metalle leiten den Strom grundsätzlich sehr gut. Die *kurzen Metallverbindungen* in unseren Schaltungen weisen demnach praktisch gar keinen Widerstand auf. Sie sind für uns widerstandsfrei.

(Kohleschicht- resp. $\frac{1}{4}$ -Watt-) Widerstände in der Elektronik

Für die Elektronik ist es essentiell ein Schaltelement zur Verfügung zu haben, das nichts weiter macht, ausser ein Hindernis für den Strom zu sein. In Steckbrettschaltungen oder auf Platinen verwendet man hierfür sogenannte *Kohleschicht-* oder $\frac{1}{4}$ -Watt-Widerstände (siehe Bild), die wir bald nur noch als *Widerstände* bezeichnen werden. Diese Widerstände sind zur internen Steuerung einer elektronischen Schaltung unabdingbar! Wir werden sie haufenweise antreffen und verbauen.



$\frac{1}{4}$ -Watt-Widerstände gibt es mit sehr kleinen oder auch extrem grossen Werten. Der aufgedruckte *Farbcode* steht für den Widerstandswert. Zur Übersetzung dient uns die folgende Tabelle:

Farbe			1. Ring (1. Ziffer)	2. Ring (2. Ziffer)	3. Ring (Zahl der Nullen)	4. Ring (Toleranz)
schwarz	sw		0	0	—	—
braun	br		1	1	0	$\pm 1\%$
rot	rt		2	2	00	$\pm 2\%$
orange	or		3	3	000	
gelb	ge		4	4	0 000	
grün	gn		5	5	00 000	
blau	bl		6	6	000 000	
violett	vt		7	7		
grau	gr		8	8		
weiß	ws		9	9		
	ohneRing					$\pm 20\%$
Manchmal	gold				$\times 0,1$	$\pm 5\%$
auch:	silber				$\times 0,01$	$\pm 10\%$

Der Widerstand oben (braun-schwarz-rot-gold) hat also einen Wert von $1 - 0 - 00 \Omega = 1000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$ mit einer Herstellungsgenauigkeit von $\pm 5\%$ (= *Toleranz*), also $\pm 50 \Omega$.

1.4 Das Ohm'sche Gesetz

Die Widerstandsdefinition (3) können wir nach der Spannung U auflösen und erhalten so das sogenannte *Ohm'sche Gesetz*:

$$U = R \cdot I \quad (4)$$

Wir werden zwar nur selten wirklich mit diesem Gesetz rechnen, aber es bildet dennoch bei vielen Betrachtungen einen wichtigen gedanklichen Hintergrund. Drei Überlegungen seien hier unmittelbar angefügt:

Keine Spannungen über Drahtstücken! Wie im vorigen Abschnitt notiert, weisen Drahtstück einen im Vergleich zu anderen Schaltelementen vernachlässigbaren Widerstand auf: $R \approx 0$. Mit dem Ohm'schen Gesetz folgt daraus sofort, dass über einem einzelnen Drahtabschnitt keine Spannung zu messen sein wird, auch wenn darin ein Strom fließt:

$$U_{\text{Draht}} = R_{\text{Draht}} \cdot I \approx 0 \cdot I = 0$$

Kabel spielen also punkto Spannungen keine Rolle.

Keine Spannung, wenn kein Strom fließt! Solange durch ein Schaltelement kein Strom fließt, gibt es über diesem Element auch keine Spannung:

$$U_{\text{Element}} = R_{\text{Element}} \cdot I = R_{\text{Element}} \cdot 0 = 0$$

Dieser Gedanke wird wichtig sein, wenn wir über verschiedene *Potentiale* innerhalb einer Schaltung sprechen.

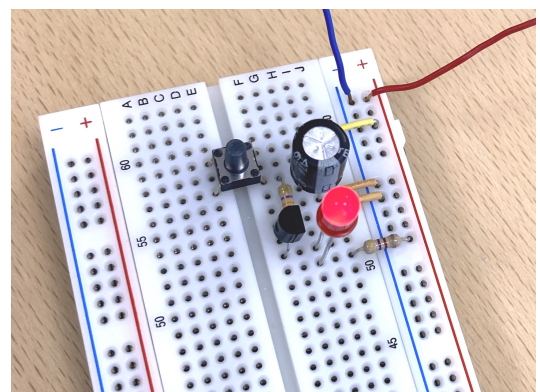
Grösste Spannung über grösstem Widerstand bei Serieschaltung! Fließt derselbe Strom und somit auch dieselbe Stromstärke I durch mehrere *seriell* (= hintereinander) geschaltete Schaltelemente, so herrscht über demjenigen Schaltelement die grösste Spannung, das auch am meisten Widerstand aufweist:

$$R_1 > R_2 \quad \Rightarrow \quad U_1 = R_1 \cdot I > R_2 \cdot I = U_2$$

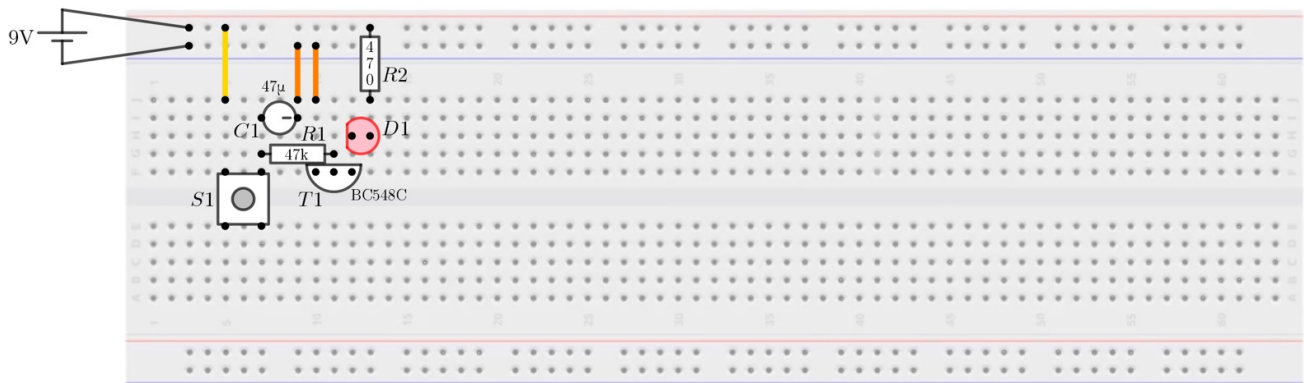
Die Einzelspannung U_n ist bei fixer Stromstärke I proportional zum Einzelwiderstand R_n . Somit können wir mehrere Widerstände in Serie benutzen, um Spannungen gezielt in Teilspannungen zu zerlegen. Man spricht von *Spannungsteilung*.

1.5 Schaltsymbole, Schaltschemata und Baupläne

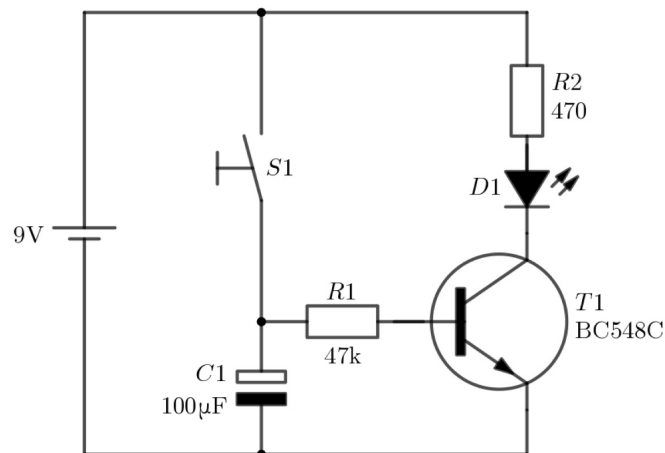
Natürlich wollen wir tolle *Schaltungen* bauen und dabei zügig unterwegs sein. Eine Schaltung ausgehend von einer Fotografie oder einer bereits gesteckten Schaltung nachzustecken ist allerdings schwierig und mit grosser Fehleranfälligkeit behaftet. Das Foto rechts zeigt z.B. eine Schaltung, die eine *LED* (= *Leuchtdiode*) auf Knopfdruck ein- und nach ein paar Sekunden später von alleine wieder ausschaltet. Darauf erkennen wir nur sehr unpräzise, welche *Drahtstücke* und welche *Schaltelemente* in welche Löcher des Steckbrettes gesteckt wurden. Zum Nachbauen benötigen wir mehr Gewissheit – sonst macht's keinen Spass!



Zu diesem Zweck arbeiten wir in der Regel mit einem *Bauplan*, der genau zeigt, welche Elemente und Kabel auf dem *Steckbrett* wie anzubringen sind, damit es funktioniert. Hier als Beispiel der Bauplan der oben fotografierten Schaltung:



Wir wollen derartige Schaltungen aber nicht nur nachbauen und ausprobieren, sondern auch verstehen, was dabei “elektronisch gespielt” wird. Für dieses Verständnis ist ein Bauplan ungeeignet. Wir benötigen ein sogenanntes *Schaltschema*. Hier dasjenige zur LED-Schaltung von oben:



Alle *Schaltelemente* haben ihr eigenes *Schaltsymbol*, das wir im Bauplan und im Schaltschema auch sinnvoll beschriften, sodass wir uns gut über die Schaltung unterhalten können. Oben gibt es beispielsweise mehrere Widerstände (R = engl. *Resistor*), die wir nummerieren und dann eben von den Widerständen $R1$ und $R2$ sprechen können. Hier ein paar Symbole häufiger Schaltelemente:

