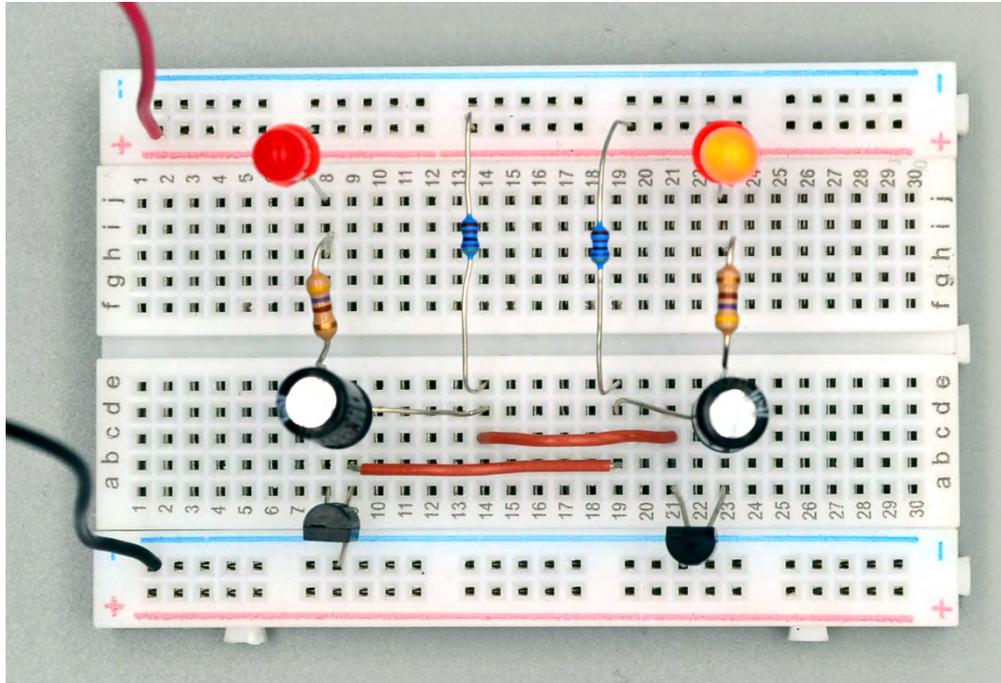


## Blinkende Lichter: Gebaut auf einem Steckbrett



**In diesem Workshop lernst du eine Blinklichtschaltung kennen – die findet sich in vielen Anwendungen, von Weihnachtskugeln bis hin zu Schaufensterbeleuchtungen!**

Das zentrale elektronische Bauteil ist die **LED (Leuchtdiode)**, von denen du natürlich zwei Stück brauchst, damit du sie abwechselnd leuchten lassen kannst.

Die elektrische Energie, die wir brauchen, liefert eine **9V-Batterie**. Diese Spannung (9 Volt) ist recht hoch, damit deine Schaltung länger lebt und du nicht so häufig die Batterie wechseln musst. Außerdem wollen wir ja mehr Bauteile als nur LEDs damit betreiben.

Durch die große Stromstärke der 9V-Batterie kann deine LED kaputt gehen. Zum Glück gibt es ein Bauteil, welches die Stromstärke begrenzt und die LED schützt: den **Widerstand**.

Damit LEDs blinken, muss automatisch mal Strom durch sie hindurchfließen und mal nicht. Wie soll das gehen, wenn du nicht selbst die ganze Zeit von Hand einen Schalter öffnen und schließen möchtest? Dafür brauchst du ein weiteres Bauteil, den **Transistor**. Das ist auch eine Art Schalter. Allerdings schaltet der nicht, wenn jemand einen Hebel betätigt, sondern wenn an einem seiner Anschlüsse (genannt Basis) eine bestimmte Spannung anliegt.

Und als letztes lernst du ein Bauteil kennen, was dafür sorgt, dass die LEDs etwas länger leuchten und nicht nur flackern. Dafür verwendest du zwei **Kondensatoren**, die kurzzeitig Energie zwischenspeichern und wieder abgeben können.

Diese Bauteile und ihre Funktionen lernst du auf den nächsten Seiten kennen. Danach kannst du die Schaltung anhand der Anleitung auf deinem Steckbrett nachbauen.

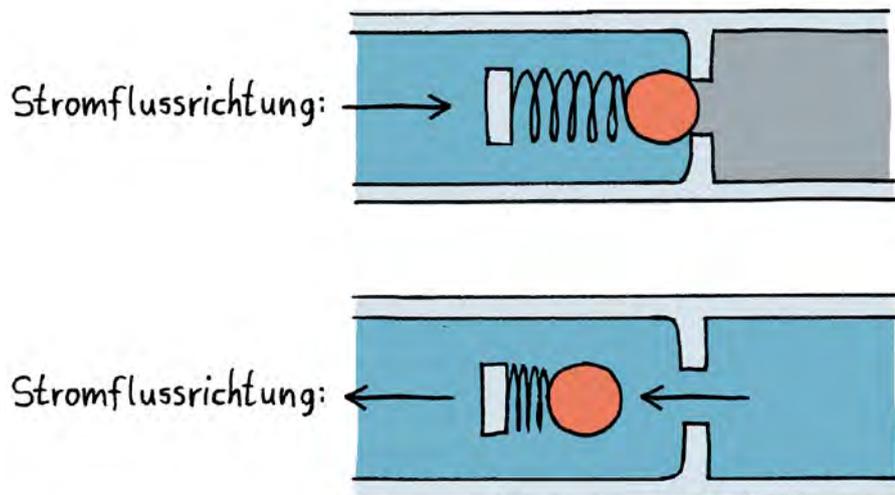
Die Grundlagen zum Thema Spannung, Strom und Batterie findest du in der [TU-it-yourself-Einführung „Was ist das Spannende an Strom“](#). Es sind nur wenige Seiten, lies sie am besten zuerst.

## Die Leuchtdiode (LED)

LED ist die Abkürzung für den englischen Begriff *light emitting diode*, was übersetzt »Licht emittierende Diode«, also leuchtende Diode heißt.

Dioden sind Halbleiter-Bauteile und leiten den Strom, je nach Temperatur, mal mehr und mal weniger gut. Ihre Funktion ist vergleichbar mit einem Ventil, denn sie lassen den Strom nur in einer bestimmten Richtung durch, der sogenannte *Durchlassrichtung*. In die andere Richtung (der *Sperrrichtung*) sperren sie.

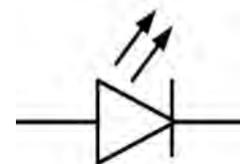
Das kannst du dir die Ventil-Funktion im Wassermodell so vorstellen: das Ventil enthält eine Kugel an einer Sprungfeder in einem Stück Wasserrohr. Wenn ein Druck (eine Spannung) auf dieses Ventil (Diode) in *Sperrrichtung* wirkt, wird der Wasserfluss (Strom) blockiert (oberes Bild). In *Durchlassrichtung* muss der Druck (die Spannung) groß genug sein, um die Federkraft des Ventils zu überwinden. Dadurch öffnet das Ventil (die Diode) den Durchlass, und der Strom kann fließen (unteres Bild).



Diesem Druck, welcher im Wassermodell zum Überwinden der Federkraft notwendig ist, entspricht bei einer Diode die so genannte *Schwelenspannung*, die in Stromflussrichtung an der Diode anliegen muss, damit sie leitend wird. Bei gewöhnlichen Siliziumdioden liegt diese Spannung bei ca. 0,6 - 0,7 V.

Wenn du genauer wissen möchtest, wie eine Diode innen aufgebaut ist und warum sie in einer Einbaurichtung sperrt, dann lies den Kasten »Wie eine Diode funktioniert«.

Die Diode hat ein eigenes **Schaltzeichen**, in dem die Sperrrichtung mit einer senkrechten Linie vor der Diode und die Durchlassrichtung mit einem Pfeil in Form eines Dreiecks dargestellt ist.



Nicht alle Dioden leuchten, wenn Strom durch sie fließt. Oft reicht es schon, dass sie den Strom nur in einer bestimmten Richtung durchlassen. Zwei parallele Pfeile am Schaltzeichen zeigen dir, dass es sich um eine Leuchtdiode handelt.

**Vorsicht:** Beim Einbau der Diode in deine Schaltung musst du wegen der Sperr- und Durchlassrichtung immer darauf achten, wo du den Plus- und den Minuspol deiner Batterie anschließen musst.

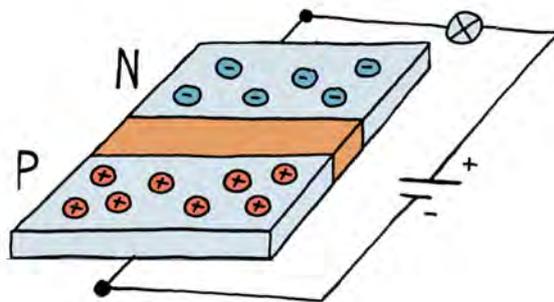
## Funktionsweise einer Diode

Dioden sind *Halbleiter*. Das sind Stoffe, die (je nach Temperatur) mal mehr und mal weniger gut den Strom leiten. Außerdem lässt sich ihre Leitfähigkeit durch das Hinzufügen von Teilchen aus anderen Materialien beeinflussen. Man nennt dieses Anreichern mit Fremd-Teilchen auch »Dotieren«.

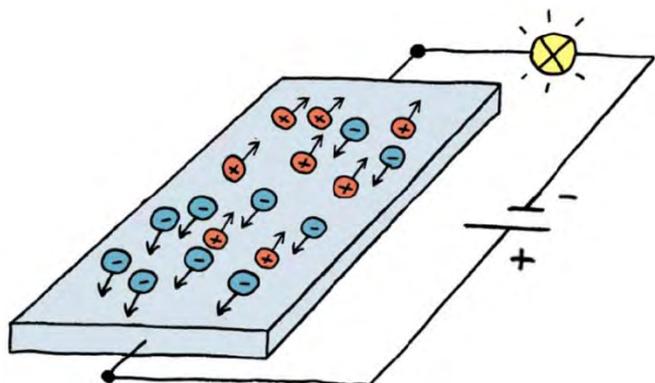
Wenn man einen Halbleiter mit positiv geladenen Teilchen dotiert, so erhält man einen »P-Halbleiter«. Darin sind die positiven Ladungsträger (gemalt als Kreise mit Plus-Zeichen) in der Überzahl. Umgekehrt bekommt man einen »N-Halbleiter«, wenn man einen Halbleiter mit negativ geladenen Teilchen dotiert. Darin sind die negativen Ladungsträger (also die Elektronen, gemalt als Kreise mit Minus-Zeichen) in der Überzahl.

Wird nun ein P-Halbleiter mit einem N-Halbleiter verbunden, gleichen sich ihre Ladungen an der Stelle, wo sich die Flächen berühren, aus. Es entsteht ein Bereich ohne eine bestimmte Ladung. Dieser Bereich wird *Grenzschicht* genannt und kann nur durch eine von außen angelegte Spannung überwunden werden.

Wird an den N-Halbleiter der Pluspol und an den P-Halbleiter der Minuspol einer Batterie angeschlossen, so wandern die Elektronen von der Grenzschicht weg in Richtung Pluspol und vergrößern damit die Grenzschicht. Durch diese größer werdende Grenzschicht kann der Strom nicht fließen. Wir sprechen daher von der **Sperrrichtung** der Diode. Eine im Stromkreis angeschlossene Lampe würde nicht leuchten.

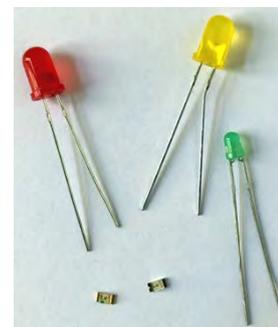


Wird die Batterie andersherum an die Diode angeschlossen (mit dem N-Halbleiter am Minuspol und dem P-Halbleiter am Pluspol), so kommt Bewegung in die Sache: Die Elektronen aus dem Minuspol der Batterie drücken in die Grenzschicht und überwinden sie auf dem Weg zum Pluspol der Batterie. Der Strom kann nun fließen. Wir sprechen von der **Durchlassrichtung** der Diode. Nun leuchtet auch die Lampe.

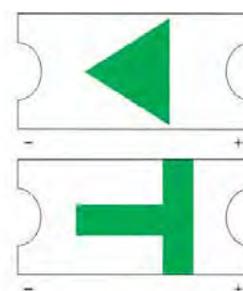


## Bauformen von LEDs

Es gibt verschiedene **Bauarten** von LEDs. Ganz kleine LEDs, sogenannte SMD-LEDs. SMD heißt *Surface-Mounted Design* und bedeutet, dass die LED ganz flach auf einer Fläche angebracht werden kann. Sie hat lötfähige Anschlussflächen und kann sehr platzsparend in Geräten wie Smartphones oder Kameras verbaut werden. Dann gibt es LEDs, die ein »Plastikköpfchen« und zwei unterschiedlich lange Anschlussdrähte haben. Das lange Anschlussbein markiert den Pluspol der LED, das kurze Anschlussbein den Minuspol.



Bei einer SMD-LED markiert die lange Seite eines grünen **Dreiecks** oder eine **Linie** auf der Rückseite der LED den Pluspol.



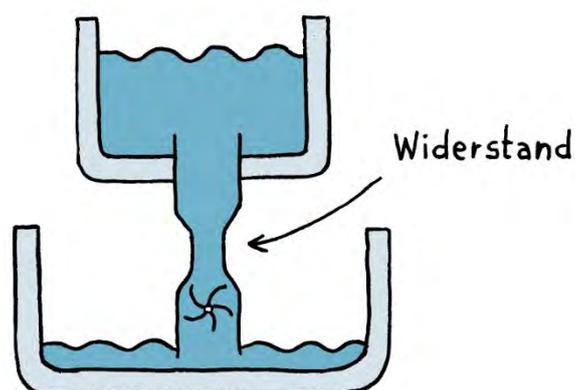
Dioden halten meist nur eine geringe Spannung aus. Ist die angelegte Spannung größer als 3V, weil du beispielsweise eine 9V-Blockbatterie benutzt, wird es für die LED brenzlich. Bei einer so hohen Spannung geht die Diode kaputt.

Da viele Geräte mit 9V Batterien betrieben werden, braucht die LED ein zusätzliches Bauelement, einen *Vorwiderstand*, damit sie nicht kaputt geht. Der Vorwiderstand sorgt dafür, dass die Spannung für die Diode niedriger ist und statt der 9V nur 3V die Diode erreichen.

## Der Widerstand

Das Bauteil, das die Stromstärke reduziert, heißt »Widerstand«.

Mit Hilfe unseres Wassermodells kannst du dir das so vorstellen, dass der Widerstand den **Querschnitt des Wasserrohrs** reduziert. Die Wasserteilchen müssen sich durch die Engstelle hindurchquetschen und verlieren an Schwung. Dadurch kann im Vergleich zum Rohr ohne Verengung nur eine reduzierte Menge Wasser (Strom) in einer bestimmten Zeit durch das Rohr fließen.



Den Zusammenhang zwischen Widerstand, Spannung und Stromstärke kann man auch in einer Formel ausdrücken. In der Formel nennen wir den Widerstandswert R (wegen des englischen Worts *resistor* für Widerstand), den Spannungswert U und den Wert der Stromstärke I. Es gilt dann in einem einfachen Stromkreis das Gesetz:

$$R = U / I$$

Das bedeutet, der Widerstandswert ist gleich dem Ergebnis der Division von Spannungswert geteilt durch Stromstärke.

Weil man die Spannung  $U$  in Volt (V) misst, und die Stromstärke  $I$  in Ampere (A), ergibt sich, dass man den Widerstand  $U/I$  in der Einheit V/A misst. Der Widerstand ist allerdings eine so wichtige Größe, dass man der Einheit V/A den Namen *Ohm* gegeben hat (nach dem Entdecker des Gesetzes, dem Forscher Georg Simon Ohm). Das Gesetz heißt daher auch *Ohmsches Gesetz*. Häufig wird die Einheit Ohm durch den griechischen Buchstaben Omega ( $\Omega$ ) abgekürzt.

### Das Ohmsche Gesetz

Das Ohmsche Gesetz lernst du als angehender Elektronik-Profi am besten auswendig. Du wirst es immer wieder brauchen. Am besten, du merkst dir dafür den Kosenamen »**RUDI**« (R gleich U Durch I). Wenn du schon gelernt hast, wie man Brüche umformt, dann weißt du, dass  $R = \frac{U}{I}$  das gleiche bedeutet wie:

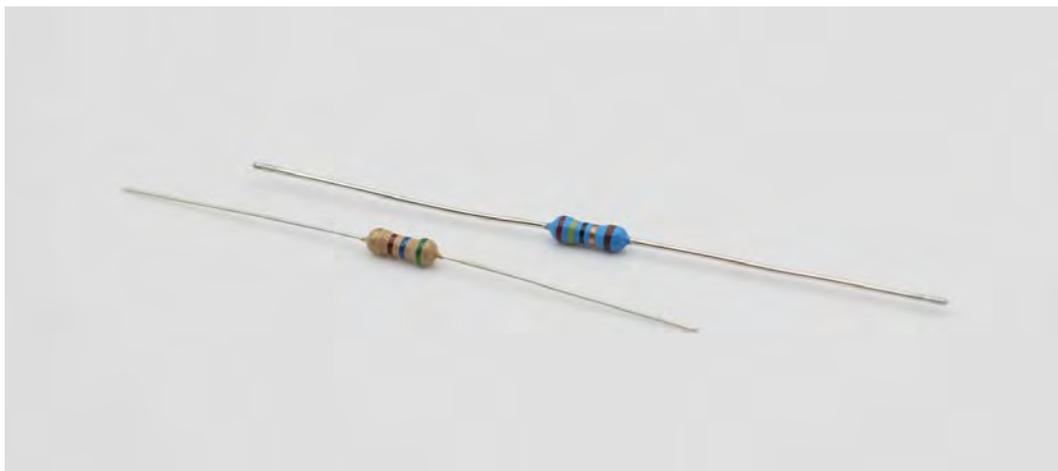
$$U = R * I \quad \text{und}$$

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

Wenn du das noch nicht in der Schule hattest, dann glaubst du es uns jetzt einfach.

Aus der letzten Gleichung kannst du schlussfolgern, dass die Stromstärke gleichbleibt, wenn du mit der Spannung  $U$  gleichzeitig auch den Widerstand  $R$  entsprechend erhöhst.

Der Widerstand selbst ist außen aus Keramik, hat die Form einer kleinen Walze und ist **mit bunten Ringen bemalt**. Das macht man nicht, um einen Widerstand hübsch aussehen zu lassen, sondern die Ringe geben an, wie stark der Widerstand ist. Jede Farbe steht für eine Ziffer und die Ziffern müssen aneinandergelagert werden, um den Wert des Widerstands zu erhalten. Wie das genau funktioniert, steht im Kasten »Rätselhafte Farbringe«.



Falls du keine Lust hast, jedes Mal ein Rätsel zu lösen, wenn du den Wert eines Widerstands bestimmen willst, kannst du den Wert auch einfach mit dem Multimeter messen: Stelle dein Multimeter auf Ohm (bzw.  $\Omega$ ) und drücke die beiden Anschlussbeinchen des Widerstands an die beiden Messspitzen. Nun wird dir der Wert auf dem Display angezeigt (entweder in  $\Omega$ , bei kleinen Widerständen in  $m\Omega$ , bei großen in  $k\Omega$ ).

## Rätselhafte Farbringe

Warum überhaupt gibt es die Farbringe auf dem Widerstand?

Früher hat man den Wert eines Widerstands direkt auf das Bauteil gedruckt. Und dann gemerkt, dass man die Zahl nicht immer lesen kann, wenn der Widerstand erstmal auf die Platine gelötet war – meistens mit der Zahl nach unten. Farbringe kann man von allen Seiten erkennen. Aber man muss sie auch deuten können! Dafür gibt es die **Farbcodetabelle**.

Farbe	1. Ring	2.(3.) Ring	3.(4.) Ring	4.(5.) Ring
	1. Ziffer	2. Ziffer	Multiplikator	Toleranz
-----	Keine	-----	-----	± 20 %
Silber	-----	-----	0,01 Ω	± 10 %
Gold	-----	-----	0,1 Ω	± 5 %
Schwarz	-----	0	1 Ω	-----
Braun	1	1	10 Ω	± 1 %
Rot	2	2	100 Ω	± 2 %
Orange	3	3	1 kΩ	-----
Gelb	4	4	10 kΩ	-----
Grün	5	5	100 kΩ	± 0,5 %
Blau	6	6	1 MΩ	± 0,25 %
Violett	7	7	10 MΩ	± 0,1 %
Grau	8	8	100 MΩ	± 0,05 %
Weiß	9	9	1 GΩ	-----

Es gibt meistens vier oder fünf Ringe. Ein Ring an einem Ende hat einen etwas größeren Abstand zum Nachbarn als der andere Ring am anderen Ende. Der Ring mit dem Abstand markiert die rechte Seite. Bei vier Ringen entsprechen von links gesehen die ersten beiden Farben einem Zahlenwert, der dritte steht für eine Zahl (genannt Multiplikator), mit der der Zahlenwert multipliziert wird und der letzte Ring gibt die Herstellungstoleranz an. Bei fünf Ringen hat man drei Ringe für den Zahlenwert.

Wir errätseln ein Beispiel: Zu ermitteln ist der Widerstand mit den Farben Gelb-Violett-Rot-Silber. Die beiden ersten Ziffern sind 4 (Gelb) und 7 (Violett). Die reihst du aneinander: 47. Diese Zahl musst du nun mit dem Multiplikator (Farbe des dritten Rings) multiplizieren. Die Farbe ist Rot, also ist der Multiplikator 100 Ω. Du erhältst als Wert:  $47 * 100 \Omega = 4.700 \Omega = 4,7 \text{ k}\Omega$ .



Das war es im Grunde schon. Was sagt uns jetzt noch der vierte Ring? »Toleranz«, was ist das denn? Dieser Ring gibt an, wie genau der Wert eigentlich ist. Ein silberner Ring bedeutet 10% Genauigkeit. Das heißt, der Wert darf in jeder Richtung 10% (also 1/100) vom angegebenen Wert abweichen, also etwas kleiner oder größer sein.

Falls du nicht so gerne rechnest: Es gibt Farbcodekonverter im Internet oder als App (beispielsweise ElectroDroid), wo du Farben anklicken kannst und als Ergebnis den Wert erhältst.

Welchen Widerstand brauchen wir denn nun für unsere LED?

Wenn du Bruchrechnung schon ein bisschen kennst und es dich interessiert, wie wir darauf kommen, dann lies den Kasten »Vorwiderstand einer LED ausrechnen«.

### Vorwiderstand einer LED ausrechnen

Wir können das Ohmsche Gesetz (in der Form »RUDI«) nutzen, um den Wert des Widerstands zu berechnen, der die Stromstärke für eine LED reduziert. Man nennt so einen Widerstand den *Vorwiderstand* der LED.

Aus dem Ohmschen Gesetz erhalten wir die Gleichung zur Berechnung des Vorwiderstands  $R_V$ : wir müssen die Spannung am Vorwiderstand  $U_R$  durch die Stromstärke  $I$  der LED teilen.

$$\text{Vorwiderstand } R_V = \frac{\text{Spannung am Vorwiderstand } U_R}{\text{Stromstärke } I \text{ der LED}}$$

Die Stromstärke  $I$  beträgt bei einer normalen roten LED 30 mA, das sind 0,03 A. Den Wert der Spannung  $U_R$  am Vorwiderstand können wir folgendermaßen berechnen: Wir ziehen von den 9V Batteriespannung die Spannung ab, die die LED braucht. Das sind ungefähr 1,6 V.

$$U_R = 9V - 1,6V$$

$$U_R = 7,4V$$

Nun können wir mit dem Ohmschen Gesetz (»RUDI«) den Wert berechnen, den der Vorwiderstand haben sollte, damit die Betriebsspannung für die LED um 7,4 V reduziert wird.

$$R_V = \frac{U_R}{I} = \frac{7,4V}{0,03A} = \frac{740V}{3A} \approx 247\Omega$$

Ein Vorwiderstand für eine rote LED sollte also einen Wert von 247  $\Omega$  haben. Einen Widerstand mit dem exakten Wert zu finden, wird uns nicht gelingen, da es für Widerstände bestimmte feste Werte gibt. Man wählt dann sicherheitshalber den nächstgrößeren Widerstandswert von 270  $\Omega$ .

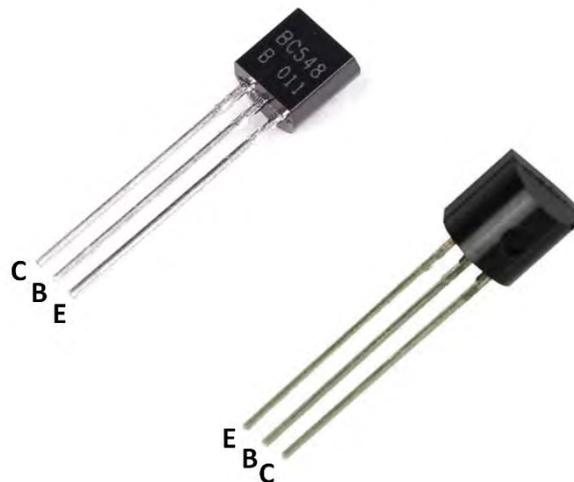
Damit deine LEDs blinken können, muss automatisch mal Strom durch sie hindurchfließen und mal nicht.

Wir zeigen dir jetzt ein neues Bauteil, den Transistor. Das ist eine Art Schalter, der den Strom in einer Leitung ein- und ausschalten kann. Allerdings schaltet der nicht, wenn jemand einen Hebel betätigt, sondern wenn an einem seiner Anschlüsse (genannt Basis) eine bestimmte Spannung anliegt.

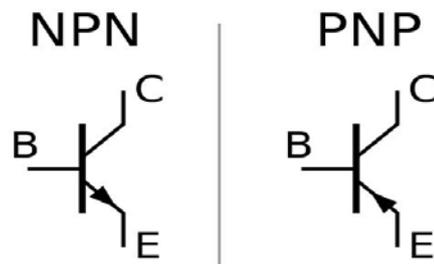
## Der Transistor

Transistoren sind sehr wichtige Bauelemente in der Elektronik. Es gibt eigentlich keine elektronischen Geräte ohne Transistoren. Alleine in einem einzigen PC oder einem Smartphone sind mehrere Milliarden davon verbaut – allerdings erheblich kleiner als die Variante, die wir hier benutzen werden.

Das Bauteil *Transistor* hat drei Anschlussbeinchen. Sie haben die Namen Basis (B) Kollektor (C) und Emitter (E). Es gibt verschiedene Bauvarianten, aber diese Eigenschaft ist allen gemeinsam. Im Bild ist der **Transistortyp von beiden Seiten** dargestellt, den wir in diesem Projekt benutzen werden.



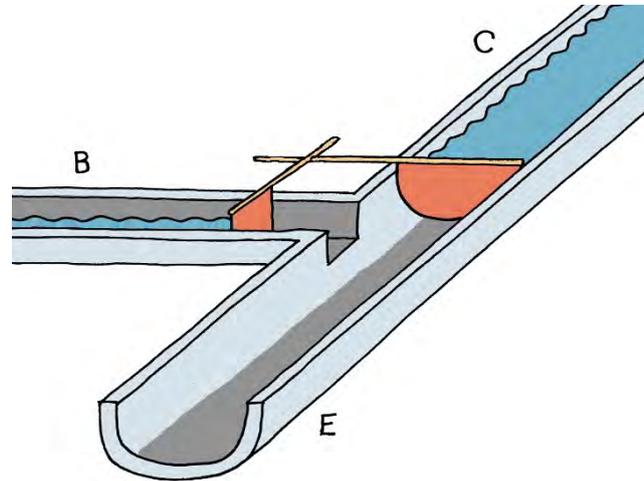
Im **Schaltsymbol** sind die Anschlüsse normalerweise nicht beschriftet, aber man erkennt die Basis, die im rechten Winkel zu den anderen beiden Anschlüssen steht. Je nach Transistortyp weist ein Pfeil dann entweder Richtung Basis (dieser Typ heißt PNP-Transistor) oder Richtung Emitter (dann ist es ein sogenannter NPN-Transistor). Wenn es dich interessiert, was der Unterschied ist, dann lies den Kasten »Tut der Pfeil der Basis weh, handelt sich's um PNP«.



Das Tolle an einem Transistor ist, dass er gleich zwei wichtige Funktionen übernehmen kann. Wir können ihn als *Schalter* nutzen oder als *Stromverstärker*. Oder als eine Kombination aus beidem. Über einen kleinen Strom, der vom Basisanschluss über den Emitter fließt, können wir einen (größeren) Stromfluss vom Kollektoranschluss zum Emitter erzeugen. Schalten wir den kleinen Basisstrom ab, so fließt auch der größere Strom nicht mehr.

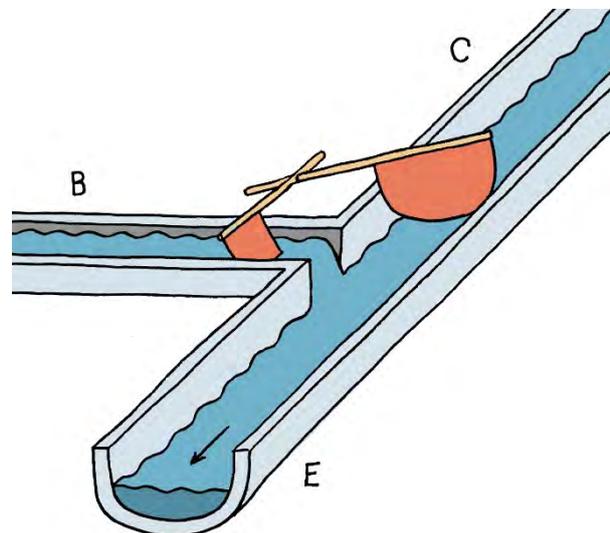
Schauen wir uns die Funktion zunächst einmal wieder anhand unseres Wassermodells an.

Hier entsprechen die drei Anschlüsse eines Transistors drei Rohrenden, die als T-Stück verbunden sind. Allerdings ist das eine Rohr (die Basis) erheblich enger als das damit verbundene Rohr (mit den Enden Kollektor und Emitter). Und ganz wichtig: Es gibt zwei miteinander verbundene Klappen, in jedem Rohr eine. Ist die Spannung an B sehr klein, dann **fließt im Basis-Rohr zu wenig Wasser**, um die kleine Klappe zu bewegen. Damit kann auch im breiteren Rohr kein Wasser fließen, auch wenn dort vielleicht mehr Wasser gegen die große Klappe drückt – die große Klappe kann nur durch die kleinere geöffnet werden!



Nun wird durch eine Schaltung an der Basis eine Spannung erzeugt: Der Wasserdruck im engen Basis-Rohr steigt und kann die kleine Klappe bewegen. Sie öffnet sich, und ein wenig Wasser fließt von der Basis in das große Rohr, wo es Richtung Emitter weiterfließt. Gleichzeitig öffnet sich mit der kleinen Klappe durch die mechanische Verbindung auch die große.

**Nun gibt es kein Halten mehr:** Das bisher am Kollektor angestaute Wasser fließt jetzt ungehindert vom Kollektor durch das große Rohr zum Emitter. Der Strom wurde hier nicht nur eingeschaltet, seine Stromstärke ist im Vergleich zum Basis-Emitter-Strom auch erheblich höher. Man sagt, der Transistor »steuert durch«.

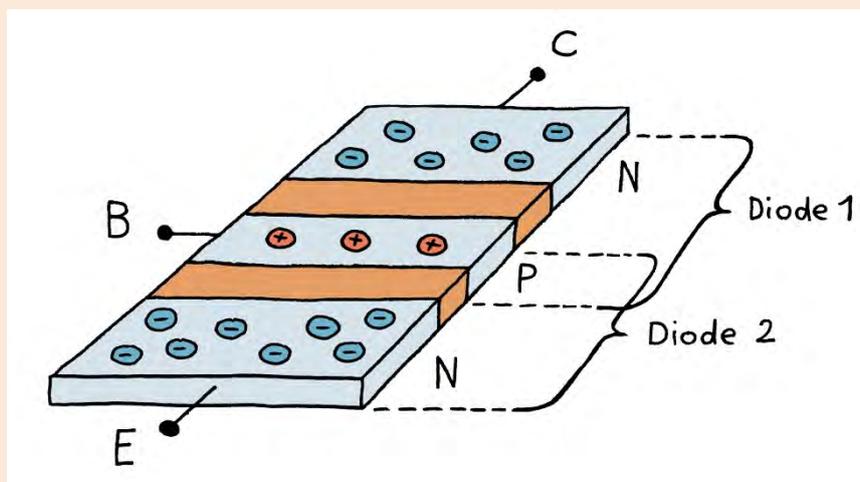


Die Spannung, die man an der Basis braucht, damit der größere Strom vom Kollektor zum Emitter fließen kann, beträgt etwa 0,7V. Eine kleine Spannungsänderung an der Basis kann also eine große Änderung beim Strom vom Kollektor zum Emitter bewirken. Der Strom kann bis zu 1000-fach verstärkt werden!

### »Tut der Pfeil der Basis weh, handelt sich's um PNP«

Mit diesem Merkspruch merken sich Elektronik-Profis, um welchen Typ Transistor es sich bei einem bestimmten Schaltsymbol handelt. Es gibt zwei Typen, genannt »PNP« und »NPN«. Aber warum gibt es überhaupt unterschiedliche Typen, und wie unterscheidet sich ihr Aufbau?

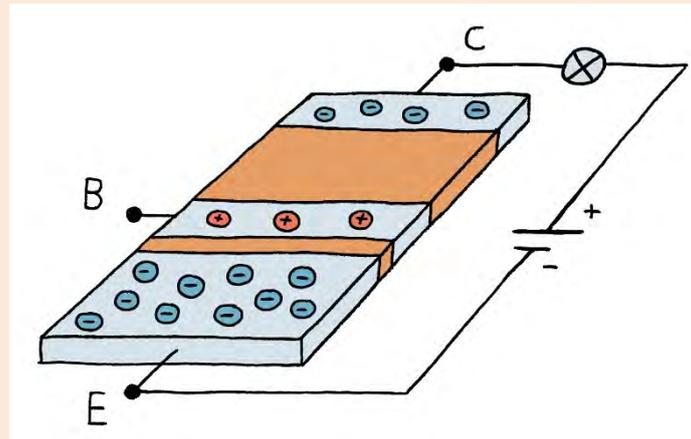
Ein Transistor ist ein Halbleiterkristall aus drei Schichten (Kollektor C, Emitter E und Basis B). Schauen wir uns den **Aufbau eines NPN-Transistors** an, denn den wirst du später verwenden: Hier sind die Emitter- und die Kollektorschicht negativ geladen, es gibt in ihnen also einen Überschuss an frei beweglichen Elektronen (gemalt als Kreise mit Minussymbol). Dazwischen liegt die schmale, positiv geladene P-Schicht namens Basis: Hier gibt es einen Überschuss an positiven Ladungsträgern (gemalt als Kreise mit Plus-Zeichen).



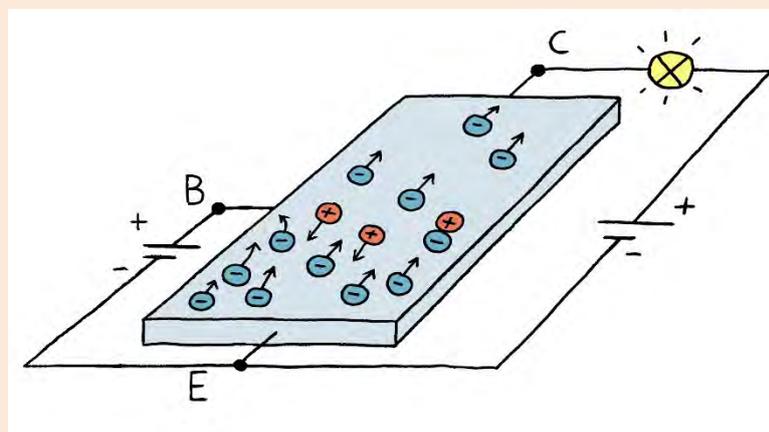
In den Grenzschichten dazwischen haben Ladungsträger »rekombiniert«. Das heißt, positive und negative Ladungsträger haben sich miteinander verbunden. Dabei haben sich ihre Ladungen ausgeglichen. Es gibt also in den Grenzschichten keine geladenen Teilchen mehr.

Im Grunde ist ein Transistor eine Kombination aus zwei Dioden. Da die beiden Dioden allerdings in verschiedene Richtungen geschaltet sind, kann eigentlich kein Strom zwischen E und C fließen, egal in welcher Richtung eine Spannung angelegt wird.

Legt man eine **Spannung zwischen Emittor und Kollektor** an, so drückt der Minuspol der Spannungsquelle noch ein paar Elektronen in den Emittor. Außerdem saugt der Pluspol ein paar Elektronen aus dem Kollektor. Dadurch wird die Grenzschicht zwischen dem Emittor und der Basis etwas kleiner, und die Grenzschicht zwischen dem Kollektor und der Basis größer. Man sagt, der Transistor »sperrt«, denn wegen der Grenzschicht kann kein Strom fließen. Auch die kleine Lampe oben rechts im Bild leuchtet nicht:



Nun kommt der Trick: Legt man jetzt noch zusätzlich eine **Spannung zwischen Basis und Emittor** an, dann passiert Folgendes: Elektronen aus dem Emittor überwinden die kleine Grenzschicht zur Basis. Das ist wie bei einer Diode, die in Durchlassrichtung geschaltet ist. Die Elektronen aus dem Emittor geraten in Bewegung!



Ein kleiner Teil der Elektronen fließt in die Basis ab (kleiner Basisstrom), da sie vom Pluspol der Basisspannungsquelle angezogen werden. Da die Basis so klein ist, schießt der viel größere Teil der Elektronen (99%) allerdings über die Grenzschicht zwischen Basis und Kollektor hinaus in den Kollektor hinein (großer Kollektorstrom). Hier werden die Elektronen vom Pluspol der Kollektorspannungsquelle angezogen. Man sagt, der Transistor »steuert durch«. Nun kann die Lampe leuchten!

Beim PNP-Transistor funktioniert das ganz ähnlich. Die Schichten sind nur umgekehrt geladen, es ändern sich also die Stromrichtungen.

Als letztes Bauteil lernst du den Kondensator kennen, der dafür sorgt, dass deine LEDs so langsam blinken, dass alle es auch gut sehen können.

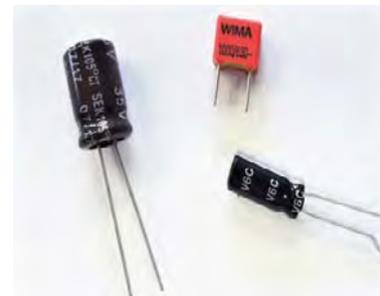
## Der Kondensator

Ein Kondensator funktioniert ähnlich wie eine Batterie. Er speichert für eine gewisse Zeit Ladungsträger und gibt diese ab, wenn andere Bauteile sie brauchen. Ein Kondensator besteht aus zwei leitenden, voneinander isolierten Flächen, beispielsweise Metallplatten oder -folien. Die *Kapazität*  $C$  eines Kondensators ist das Maß für die Ladung, die er bei einer bestimmten angelegten Spannung speichern kann. Gemessen wird die Kapazität in der Einheit *Farad*, zum Andenken an den Physiker Michael Faraday.

Das **Schaltzeichen** für einen Kondensator erinnert an zwei gegenüberliegende Metallplatten:



Es gibt verschiedene **Kondensator-Bauformen**, rund und eckig, mal aus Keramik und mal aus Metall.

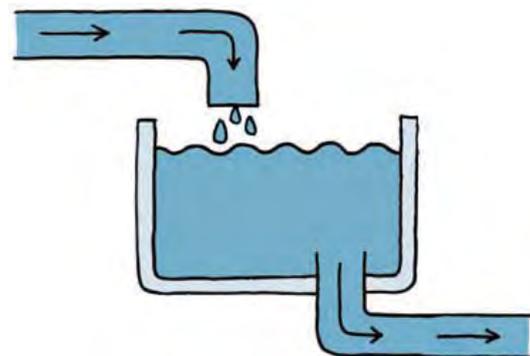


### Vorsicht

Manche Kondensatoren sind gepolt (beispielsweise sogenannte *Elektrolytkondensatoren*). Dann musst du wieder aufpassen, in welcher Richtung sie in eine Schaltung eingebaut werden.

Wenn wir den Kondensator mithilfe unseres Wassermodells beschreiben, können wir ihn uns als **großes Staubecken in einem Fluss** vorstellen.

Das Wasser läuft auf der einen Seite in das Becken hinein und füllt es auf. Auf der anderen Seite kann es wieder abfließen. Es fließt aber auch dann noch ab, wenn der Zufluss längst aufgehört hat. Genau dafür wird ein Kondensator auch in einer Schaltung eingesetzt: Wenn die Batterie mal nicht genügend Ladungsträger liefert, gibt ein aufgeladener Kondensator noch eine Weile seine gespeicherte Ladung ab.



## Die Blinklichtschaltung

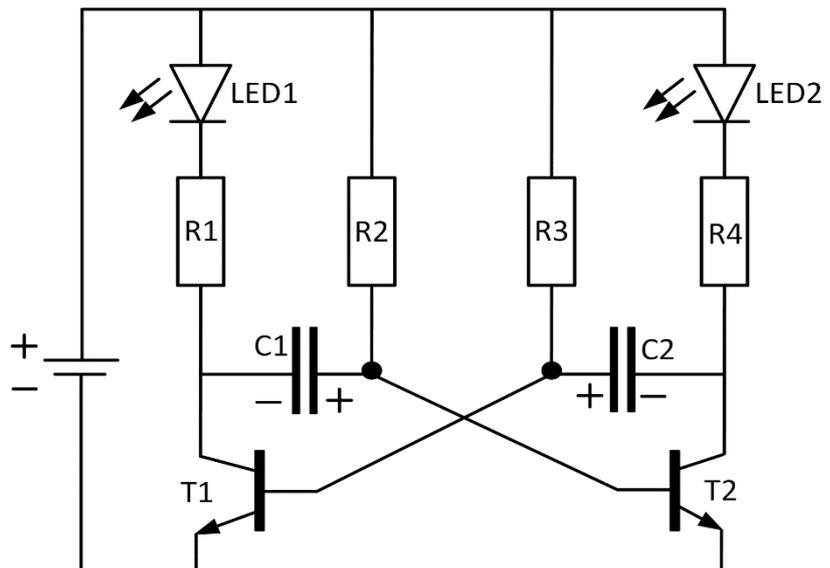
Die Blinklichtschaltung ist eine Schaltung, bei der zwei LEDs abwechselnd blinken. So eine Schaltung nennt man auch »Wechselblinker« oder »astabiler Multivibrator«.

Die Schaltung verwendet zwei Transistoren, die abwechselnd durchsteuern und sperren. An jedem Kollektor ist eine LED angeschlossen. Die LED am jeweils leitenden Transistor leuchtet, die am sperrenden Transistor leuchtet nicht.

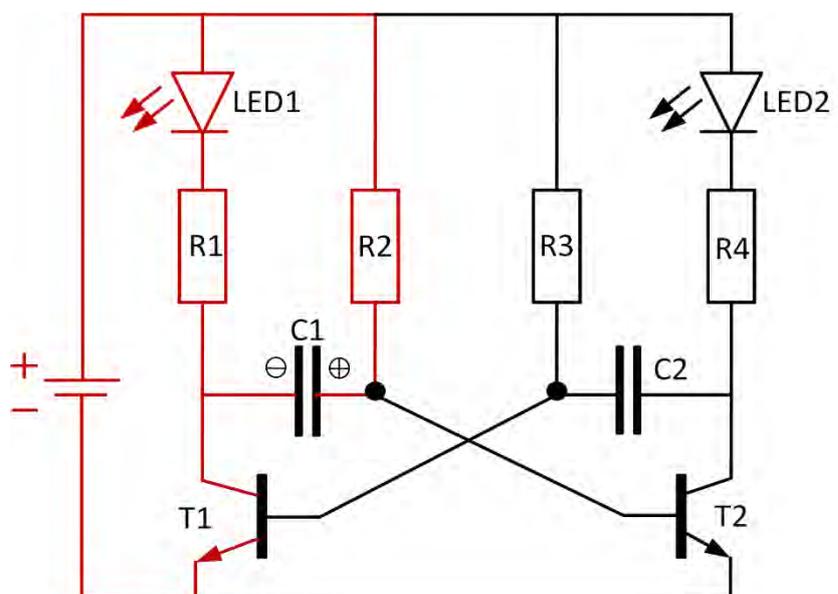
Damit die Transistoren abwechselnd an- und abschalten, gibt es noch zwei *Kondensatoren*. Diese werden jeweils von einem der Transistoren aufgeladen und über die Basis des anderen entladen.

Aber der Reihe nach: Auf dem **Wechselblinker-Schaltplan** kannst du sehen, dass die Schaltung sehr symmetrisch aufgebaut ist.

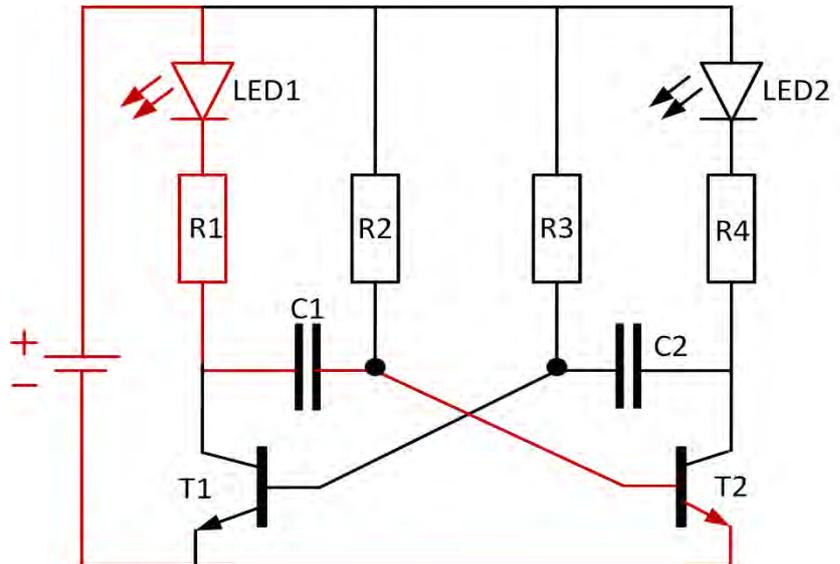
Welche LED beim Einschalten zuerst leuchtet, hängt davon ab, welcher Transistor zuerst durchsteuert (leitet). Dies wiederum hängt davon ab, welcher Kondensator zuerst aufgeladen ist und sich dann über die Basis eines Transistors entlädt. Die Bauteile sind zwar eigentlich gleich, haben aber durch die Toleranzen in Wirklichkeit leicht unterschiedliche Werte.



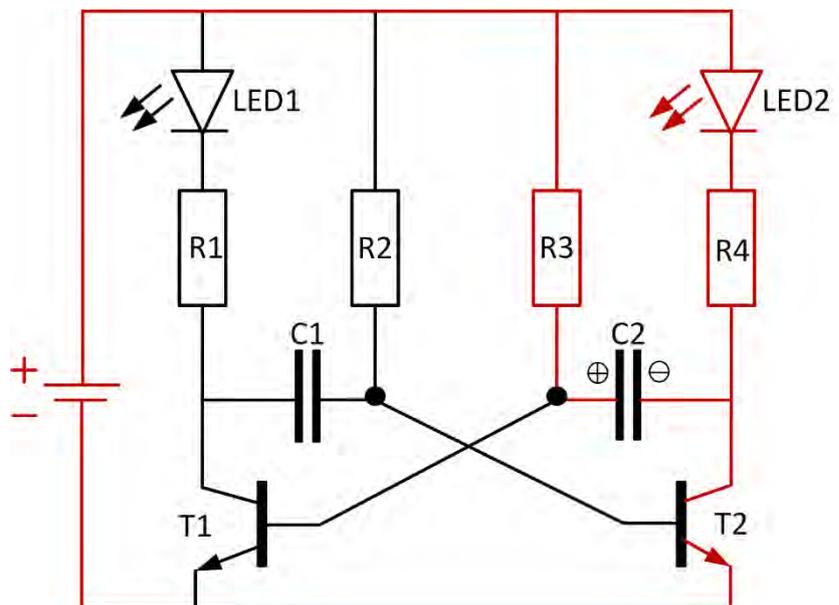
Nehmen wir an, dass Transistor T1 als erster durchsteuert, das heißt, es fließt ein großer Strom vom Pluspol der Batterie über den linken Zweig der Schaltung zum Minuspol. Dabei wird **LED1 zum Leuchten gebracht**. Gleichzeitig lädt sich der Kondensator C1 über den Widerstand R2 auf. Die Spannung an C1 steigt.



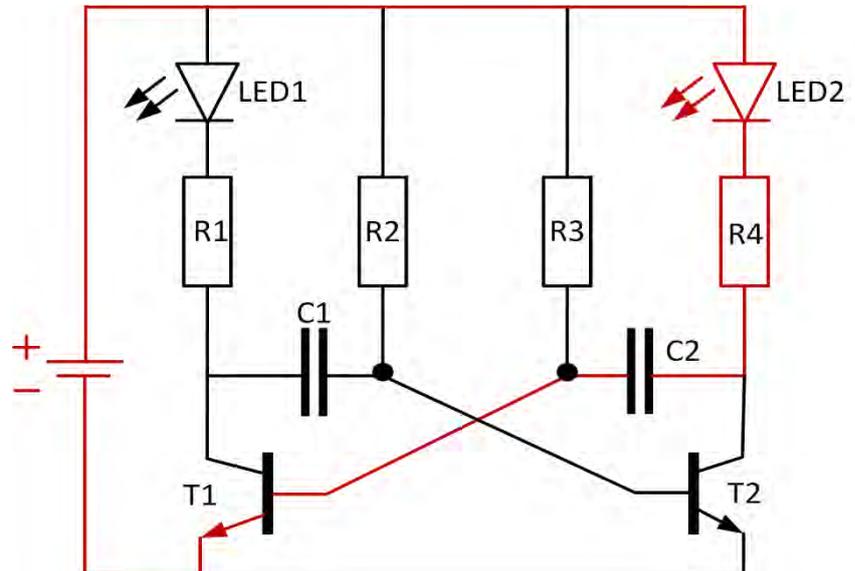
Wenn die Spannung an C1 groß genug wird (größer als 0,7V), dann ist das ja auch die Basisspannung am Transistor T2. Nun fließt der **Basisstrom durch T2**, der LED1 noch für einen kurzen Moment am Leuchten hält. An T1 liegt keine Basisspannung mehr an, also sperrt T1 jetzt.



Während sich C1 entlädt, schaltet Transistor T2 jetzt durch. Es fließt jetzt der große Kollektor-Emitter-Strom durch T2, der **LED2 zum Leuchten** bringt. LED1 leuchtet jetzt nicht mehr, da sie nicht genug Strom abbekommt. C2 wird nun langsam über R3 aufgeladen.



Sobald die Spannung an C2 groß genug wird (größer als 0,7V), ist für T1 genug Basisspannung da: Durch Transistor T1 fließt nun der **kleine Basisstrom**. Damit wird C2 allmählich wieder entladen. Da C1 bereits entladen ist, liegt an der Basis von T2 keine Spannung an, wodurch T2 sperrt.



Transistor T1 kann nun wieder durchschalten, wodurch LED1 wieder leuchtet. C1 lädt sich langsam wieder auf. Auf der anderen Seite erlischt LED2, da nicht genügend Basisspannung an T2 anliegt. Sobald C2 entladen ist, hat T1 keine Basisspannung mehr und sperrt. Sobald C1 geladen ist, schaltet T2 wieder durch. Und so weiter und so fort...das Resultat ist ein endloses Blinken der beiden LEDs.

## Experiment: Blinkendes Steckbrett

Nun baust du die Wechselblinkerschaltung selbst einmal auf dem Steckbrett auf. Das hat den Vorteil, dass du dann ein wenig mit unterschiedlichen Kondensatoren experimentieren kannst. Je größer die Kapazität der verwendeten Kondensatoren, um so langsamer wird das Blinken.

### Bauteile für die Schaltung

- ✓ zwei rote LEDs (LED1 und LED2),
- ✓ zwei Widerstände im Wert von 470  $\Omega$  (R1 und R4),
- ✓ zwei Widerstände im Wert von 47 kOhm (R2 und R3),
- ✓ zwei Elektrolytkondensatoren (auch »Elkos« genannt) im Wert von 10  $\mu\text{F}$  (C1 und C2) und zwei Elkos im Wert von 100  $\mu\text{F}$  (zum Austauschen von C1 und C2),
- ✓ zwei NPN-Transistoren vom Typ BC548 (T1 und T2),

- ✓ zwei Drahtbrücken,
- ✓ eine 9V-Blockbatterie und einen passenden Batterieclip.

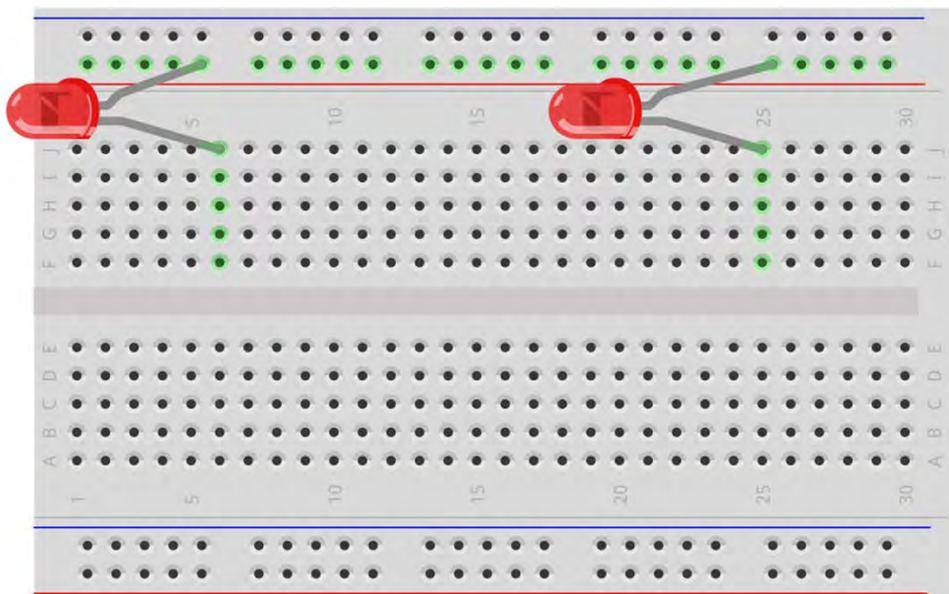
## Jetzt wird gebaut!

Wenn du Herausforderungen liebst, dann kannst du ja mal versuchen, alleine anhand des Schaltplans die Schaltung auf dem Steckbrett zu stecken. Achte dabei auf folgende Merkmale der gerichteten Bauteile:

- ✓ Bei den LEDs weisen die langen Beine in Richtung Pluspol (Plusleiste des Steckbretts).
- ✓ Bei den Elkos markiert ein heller Strich das Minus-Beinchen, das auch kürzer ist als das andere.
- ✓ Halte den Transistor so, dass die glatte Seite oben ist und die drei Beinchen von dir wegzeigen. Das mittlere Beinchen ist die Basis. Der Emitter (im Schaltbild der untere Anschluss mit dem Pfeil) ist das linke Bein, und der Kollektor (im Schaltbild der obere Anschluss ohne Pfeil) ist das rechte Beinchen.

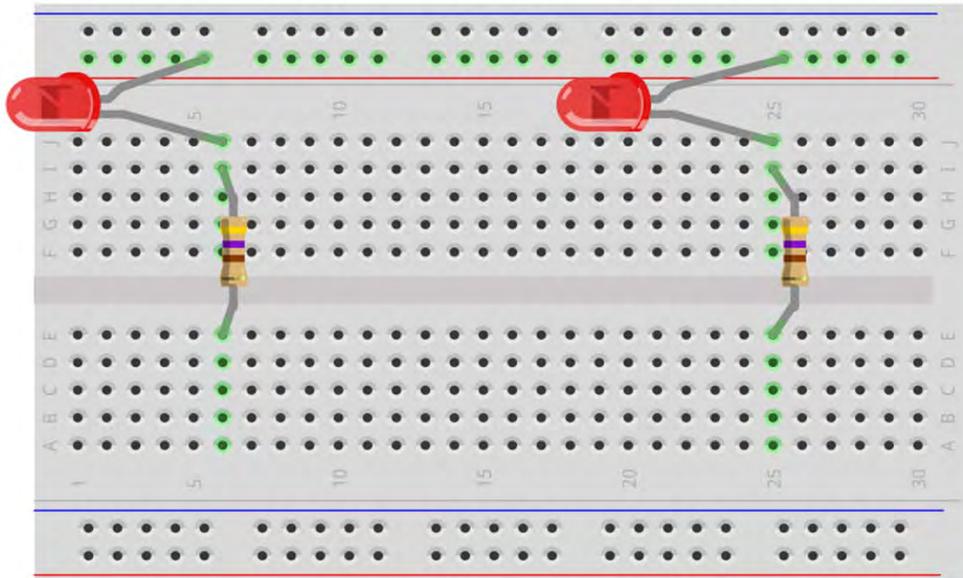
Wenn du noch unsicher bist, dann richte dich einfach nach unserer Anleitung für den Aufbau der Steckbrettschaltung. Hier erklären wir dir, wie du die Bauteile nach und nach auf das Steckbrett steckst:

1. Stecke als erstes **die beiden LEDs** mit ihren langen Beinchen in die obere Plusleiste.

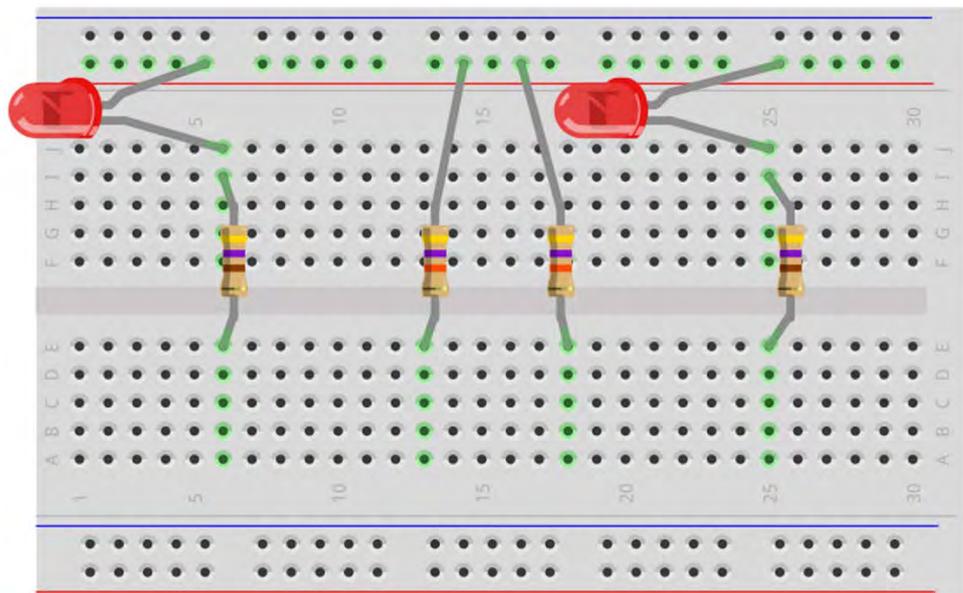


Die beiden kurzen Beinchen kommen in den oberen mittleren Bereich des Steckbretts direkt unter der Plusleiste.

2. Stecke nun **die beiden 470Ω-Widerstände** (R1 und R4) direkt unter die LEDs, so dass sie die Kerbe in der Mitte des Steckbretts überbrücken.

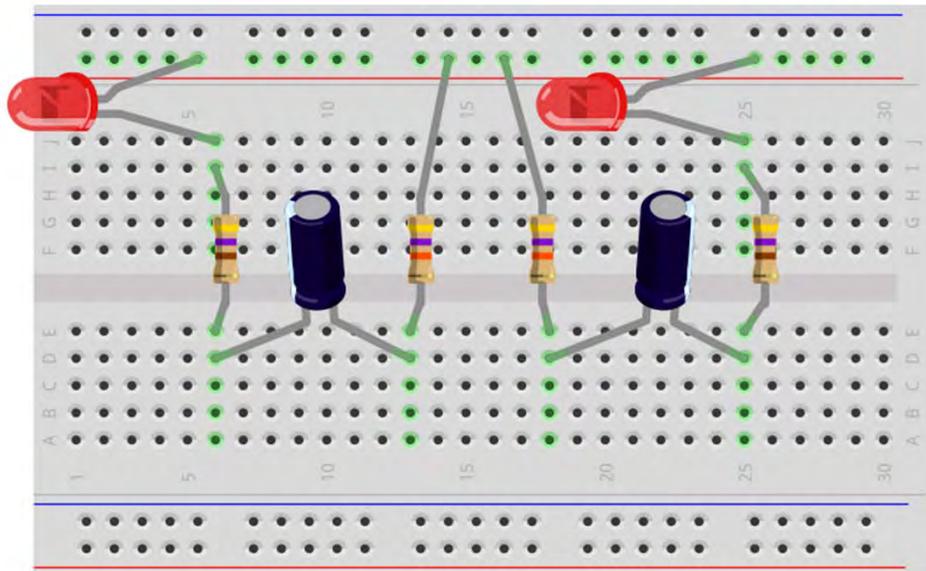


3. Stecke **die beiden 47kΩ-Widerstände** (R2 und R3) in das Steckbrett.



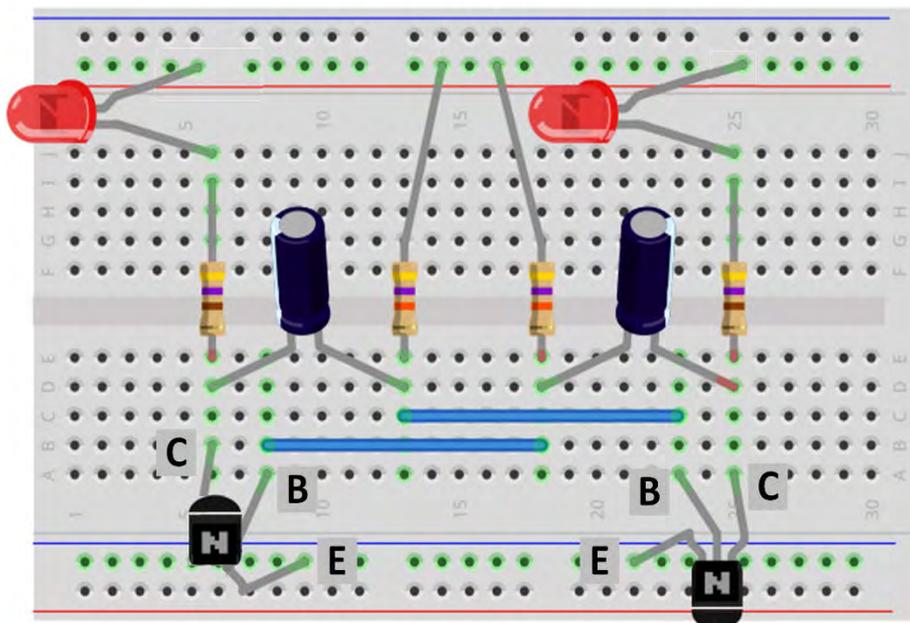
Beide stecken mit einem Beinchen in der Plusleiste und mit dem anderen im unteren mittleren Bereich des Steckbretts.

4. Nimm als nächste Bauteile **die beiden Elkos**.



Der linke Elko (C1) wird mit seinem Minusbeinchen (erkennbar an der hellen Markierung) direkt unter R1 gesteckt. Sein Plusbeinchen verbindest du mit R2. Auf der anderen Seite passiert das Gleiche, nur spiegelverkehrt: Das Minusbeinchen von Elko C2 wird direkt unter R4 gesteckt, sein Plusbeinchen direkt unter R3.

5. Stecke **die beiden Transistoren und zwei Drahtbrücken** ins Steckbrett.



Auch die Transistoren werden spiegelverkehrt eingebaut: Beginne mit dem linken Transistor (T1) und halte ihn so, dass du die Schrift auf der flachen Seite lesen kannst. In dieser Richtung ist der Kollektor (C) das linke Beinchen, die Basis (B) das mittlere Bein-

chen und der Emitter (E) ist das rechte Beinchen. Baue T1 so ein, dass die flache Seite vom Steckbrett weg zeigt. Der Kollektor kommt in die Leiste, wo schon der Widerstand R1 und das Minusbeinchen von Kondensator C1 stecken. Die Basis (B) kommt zwei Leisten rechts neben den Kollektor, und der Emitter kommt in die Minusleiste.

Nun muss noch die Basis von T1 mit Kondensator C2 verbunden werden. Nimm eine Drahtbrücke und stecke das linke Ende direkt über die T1-Basis in die gleiche Leiste. Stecke das rechte Ende in die Leiste, in der das Plusbeinchen von C2 steckt.

Der rechte Transistor T2 wird genau andersherum gesteckt: Die flache Seite weist mit der Schrift zum Steckbrett hin. Der Emitter (jetzt das linke Beinchen) kommt in die Minusleiste, der Kollektor (rechtes Beinchen) in die Leiste, wo schon der Widerstand R4 und das Minusbeinchen von Kondensator C2 stecken. Die Basis (B) kommt zwei Leisten links neben den Kollektor.

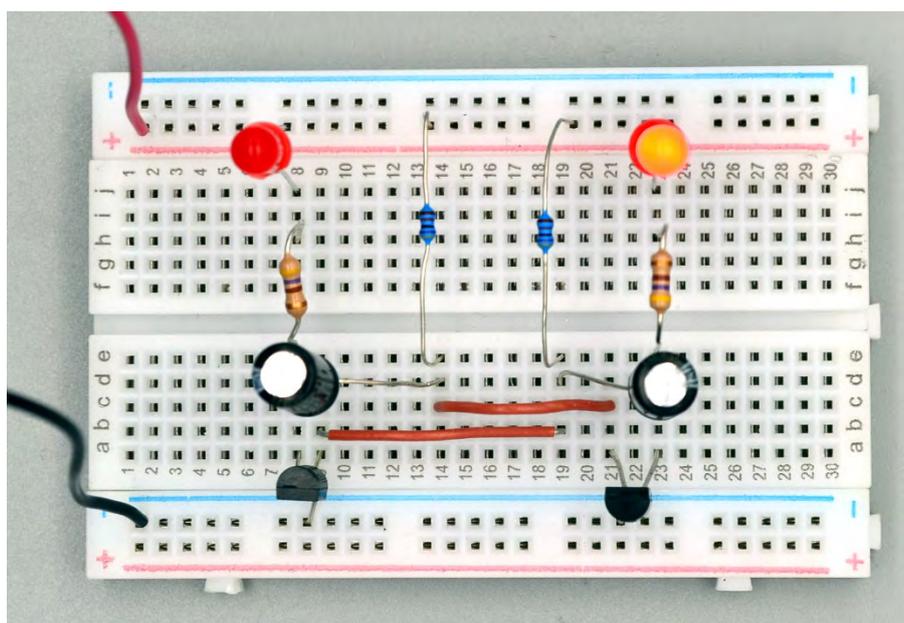
Zum Schluss muss noch die Basis von T2 mit Kondensator C1 verbunden werden. Nimm noch eine Drahtbrücke und stecke sie oberhalb der anderen Drahtbrücke ins Steckbrett: Das rechte Ende kommt zwei Löcher über die T2-Basis in die gleiche Leiste, und das linke Ende in die Leiste, in der das Plusbeinchen von C1 steckt.

## 6. Verbinde die Anschlüsse des Batterieclips.

Das kennst du ja schon: Der Pluspol der 9V-Blockbatterie wird über das rote Kabel vom Batterieclip mit der oberen (roten) Plusleiste des Steckbretts verbunden. Den Minuspol der Batterie (schwarzes Kabel) verbindest du mit der unteren (blauen) Minusleiste des Steckbretts.

## 7. SchlieÙe eine Batterie an und teste deine Schaltung.

Auf dem Bild siehst du diesmal keine Zeichnung, sondern ein Foto der Schaltung im Betrieb. Die LEDs blinken tatsächlich! Was, das siehst du nicht? Stimmt, es ist ja nur ein Foto. Aber zumindest kannst du auf dem Foto erkennen, dass die rechte LED gerade leuchtet und die linke LED gerade nicht leuchtet.



## Mögliche Fehlerquellen

Es kann sein, dass deine Schaltung nicht auf Anhieb blinkt. Hier sind ein paar Tipps, was beim Bauen eventuell schief gegangen ist:

- ✓ Eine oder beide Leuchtdioden sind falsch herum in die Schaltung eingebaut.  
Kontrolliere, ob die LEDs mit ihren langen Beinchen in der Plusleiste stecken.
- ✓ Ein oder beide Kondensatoren sind falsch herum eingebaut.  
Der linke Kondensator (C1) zeigt mit seinem hellen Minusstreifen nach links, der rechte nach rechts.
- ✓ Ein oder beide Transistoren sind falsch herum gesteckt.  
Beim linken Transistor (T1) ist die flache Seite unten, und das rechte Beinchen ist der Emitter, der in der Minusleiste steckt. Beim rechten Transistor (T2) ist die flache Seite oben und das linke Beinchen ist der Emitter, der in der Minusleiste steckt.

Wenn alles schön blinkt, dann kannst du nun das Experiment wagen, beide Kondensatoren auszutauschen, z.B. durch Elkos im Wert von 100  $\mu\text{F}$ . Diese können mehr Energie speichern und brauchen daher mehr Zeit, um sich zu laden und zu entladen. Merkst du, wie sich die Blinkgeschwindigkeit der LEDs verlangsamt?