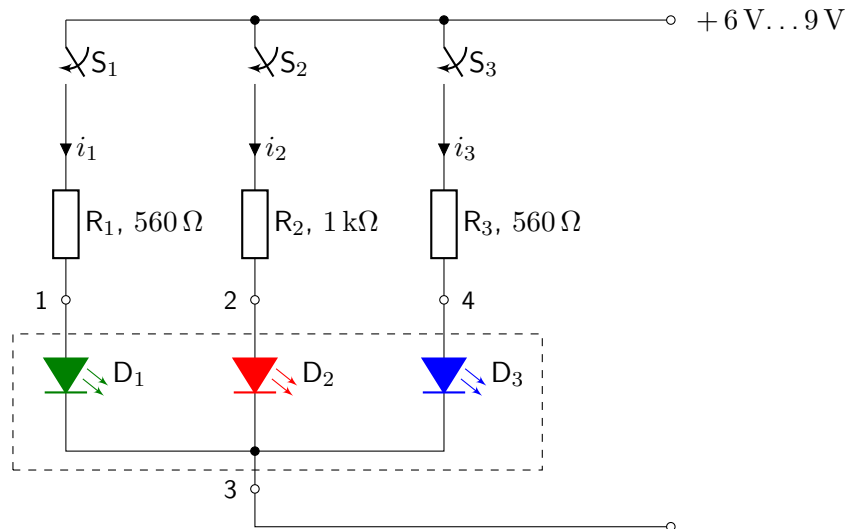


Experimente mit der 3-Farb-LED

Mit der folgenden Schaltung wollen wir mit einer LED experimentieren, welche 3 Chips in den Farben rot, grün und blau in einem Gehäuse enthält.



Beschreibung der Funktion

Wie im Schaltplan oben zu sehen ist, ist bei dieser LED für jede Farbe jeweils der positive Anschluss, die **Anode**, einzeln herausgeführt. Der negative Anschluss, die **Kathode**, ist für alle 3 LED-Chips gemeinsam. Dies ist bei dieser Art von LEDs oder auch den 7-Segment-Anzeigen der Normalfall. Beim Schaltungsentwurf und Kauf der Bauteile muss man darauf achten, ab man Bauteile mit **gemeinsamer Kathode** oder **gemeinsamer Anode** benötigt. Die Zahlen 1...4 beziehen sich auf die Anschlüsse der LED. Der Anschluss 3 (der längste) ist die Kathode.

An die Anoden der einzelnen Chips ist jeweils ein separater Vorwiderstand (R_1 bis R_3) angeschlossen. Über die Schalter S_1 bis S_3 kann jede der Farben nun einzeln ein- und ausgeschaltet werden. Als Schalter verwenden wir hier Drahtbrücken, welche entweder mit der positiven Betriebsspannung verbunden werden oder nicht.

Testen der unterschiedlichen Farbkombinationen

Wir werden sehen, wie sich durch verschiedene Kombinationen eingeschalteter LED-Chips unterschiedliche Farben erzeugen lassen. Um keine Kombination zu vergessen, gehen wir am besten systematisch anhand der Tabelle rechts vor. Bei drei Farben ergeben sich insgesamt 8 ($2 \cdot 2 \cdot 2 = 8 = 2^3$) unterschiedliche Kombinationen.

Zur besseren Übersicht ist der Zustand „aus“ zusätzlich mit einer Null und der Zustand „ein“ zusätzlich mit einer Eins gekennzeichnet. Ihr seht, dass sich für die verschiedenen Farben unterschiedliche, aber regelmäßige Muster von 0 und 1 ergeben. Auf diese Weise vergisst man keine Kombination.

Rot	Grün	Blau	Mischfarbe
Aus – 0	Aus – 0	Aus – 0	—
Aus – 0	Aus – 0	Ein – 1	Blau
Aus – 0	Ein – 1	Aus – 0	Grün
Aus – 0	Ein – 1	Ein – 1	Magenta
Ein – 1	Aus – 0	Aus – 0	Rot
Ein – 1	Aus – 0	Ein – 1	Cyan
Ein – 1	Ein – 1	Aus – 0	Gelb
Ein – 1	Ein – 1	Ein – 1	Weiß

Tabelle 1: Mögliche Farbkombinationen

Wie wir sehen, lassen sich durch das Mischen der drei Farben **rot**, **grün** und **blau** 4 zusätzliche Farben bis hin zu weiß erzeugen. Wenn man die LED-Chips jetzt unterschiedlich hell leuchten läßt – wir können dieses durch größere oder kleinere Widerstände, aber **nicht kleiner** als 270Ω erreichen – kann man noch mehr Farben erzeugen. Bei Fernsehern und Computerdisplays werden auf diese Weise bis zu 16 Millionen Farben¹ erzeugt. Mehr Farben kann das menschliche Auge sowieso nicht unterscheiden.

Aufbauskitze

Die Aufbauskitze zu dieser Schaltung seht Ihr in Bild 1.

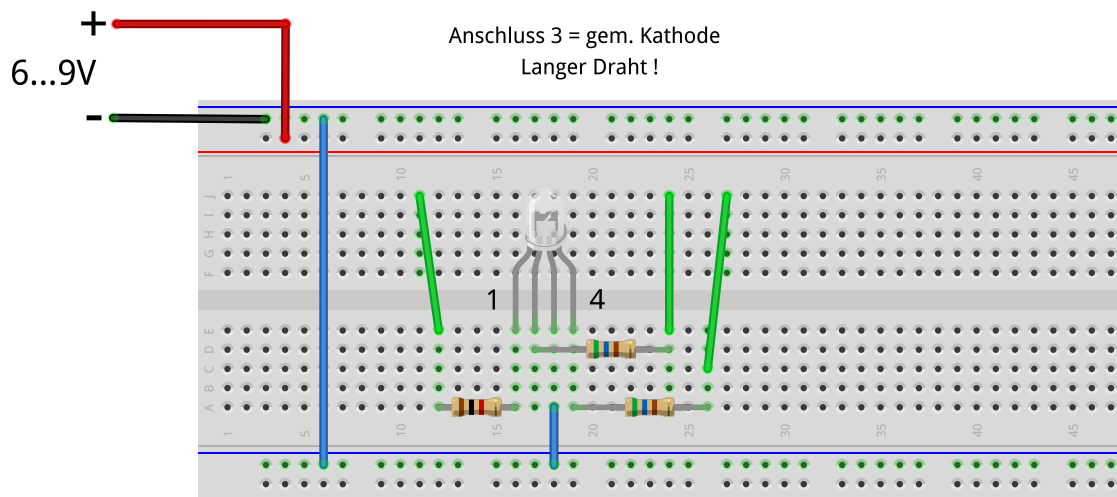


Bild 1: Aufbauskitze für Schaltung mit 3-Farb-LED

Die grünen Leitungen, welche in die nicht-angeschlossenen Klammern gesteckt sind, diesen als Schalter. Wenn Ihr sie einzeln oder in verschiedenen Kombinationen mit der oberen (roten) Plusleitung verbindet, schaltet Ihr die verschiedenen LED-Chips ein, und es ergeben sich die in Tabelle 1 beschriebenen Farben. ⇒ **LEDs sind heute sehr hell. Schaut nicht direkt in die LEDs!**

Messung der Ströme durch die LEDs

Ihr habt Euch vielleicht gewundert, wieso für die drei verschiedenfarbigen LED-Chips unterschiedliche Vorwiderstände verwendet wurden.

Um dies zu untersuchen, setzen wir für alle drei Widerstände R_1 , R_2 und $R_3 = 1\text{ k}\Omega$ ein und messen die Ströme i_1 , i_2 und i_3 . Damit wir die Schaltung aber nicht dauernd aufreißen müssen, was zu Fehlern und Kurzschlüssen führen kann, wenden wir das Ohmsche Gesetz an und messen statt dessen die **Spannungen** über den Widerständen. Die Widerstände sind mit etwas Abstand plaziert, so dass Ihr die Messkabel dort besser anklammern könnt.

Wie können wir nun mit Hilfe der gemessenen Spannungen den Strom bestimmen? Das ist ganz einfach, wenn wir das Ohmsche Gesetz anwenden. Für die Spannung am Widerstand gilt ja nach dem Ohmschen Gesetz

$$U_R = I \cdot R \quad (1)$$

Die gemessene Spannung U_R wird berechnet aus dem Produkt des fließenden Stroms und dem Widerstandswert. Wir können die Gleichung (1) so umstellen, dass wir aus der gemessenen Spannung den Strom berechnen können.

$$I = \frac{U_R}{R} \quad (\text{oder } I = U_R : R) \quad (2)$$

¹Genau genommen sind es $2^{24} = 16777216$ Farben.

Beispiel: Angenommenn, wir messen eine Spannung von 4 V, so ergibt sich daraus:

$$I = 4 \text{ V} : 1 \text{ k}\Omega = 4 \text{ V} : 1000 \Omega = 0.004 \text{ A} = 4 \text{ mA}$$

⇒ **Schaltet zum An- und Abklemmen der Messkabel besser den Strom ab. Ein Kurzschluss ist schnell passiert, und u. U. brennt dabei einer der LED-Chips durch.**

Wenn wir jetzt, wie beschrieben, die Ströme messen, stellen wir fest, dass trotz **gleicher Widerstände** und **gleicher Versorgungsspannung unterschiedliche Ströme** fließen. Wie kann das sein? Bei gleichen Widerständen und gleicher Versorgungsspannung muss der Strom gemäß dem Ohmschen Gesetz der gleiche sein. Gilt das Ohmsche Gesetz nicht mehr?

Um das Rätsel zu lösen, müssen wir beachten, dass wir hier ja eine **Serienschaltung** von **Diode** und **Widerstand** haben, wie sie in Bild 2 beispielhaft für einen LED-Chip dargestellt ist. Da wir eine **Serienschaltung** haben **muss** der Strom i durch den Widerstand und die LED der gleiche sein.

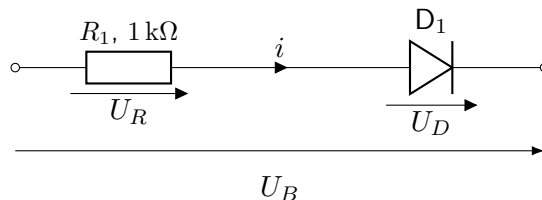


Bild 2: Serienschaltung von Diode und Widerstand

Anhand der eingezeichneten Spannungspfeile lässt sich außerdem erkennen, dass die **Summe** der Spannungen an der LED U_D und dem Widerstand U_R **gleich der Betriebsspannung** U_B sein muss. Es gilt also:

$$U_B = U_R + U_D \quad (3)$$

Aber der LED-Chip ist ja ein Halbleiter, und Halbleiter haben einige ebenso sonderbare wie nützliche Eigenschaften. Bei einem Widerstand steigt die Spannung gleichmäßig mit dem Strom an. Genau das sagt ja das Ohmsche Gesetz (siehe Gleichung (1)).

Bei LEDs ist das aber wie bei vielen Halbleitern nicht der Fall. Im Gegenteil. Die Spannung über der LED U_D steigt **nicht gleichmäßig mit dem Strom** an. Sie ist in einem gewissen Bereich sogar fast konstant und nahezu unabhängig von dem fließenden Strom². Man nennt diese Spannung die **Durchlassspannung**. Welchen Wert diese Spannung hat, steht im Datenblatt des Herstellers. Sie ist von der Art des Halbleiters und in diesem Fall auch von der Farbe der LED abhängig. Es ist also die LED, die sich nicht an das Ohmsche Gesetz hält ☺.

Wenn wir also die Betriebsspannung U_B erhöhen und die Spannung an der Diode U_D konstant ist, bleibt ja nur, dass die Spannung am Widerstand größer wird.

²Dieser Effekt wird mit entspr. speziellen Dioden, den sog. *Zenerdioden*, ausgenutzt, um bei Netzteilen Spannungen einzustellen und stabil zu halten.

Berechnung von Vorwiderständen für LEDs

Mit diesem Wissen ist es nun relativ einfach, den Vorwiderstand für eine LED zu berechnen. Dioden müssen **immer** mit einem **Vorwiderstand** betrieben werden. Da ja die Spannung an der Diode nahezu unabhängig vom fließenden Strom ist, ist ja sonst nichts da, was den Strom begrenzen würde.

Auch aufgrund von Bauteiltoleranzen – die Durchlassspannung schwankt in einem gewissen Bereich – kann man die Betriebsspannung nie so genau einstellen, dass die Diode nicht durchbrennen würde.

Der Widerstand ist in dieser Schaltung also das Bauelement, welches den Strom begrenzt. Wir könnten den Wert des Widerstands ganz einfach berechnen, wenn wir das Ohmsche Gesetz aus Gleichung (1) umstellen. Dann erhalten wir

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{oder } R = U : I) \quad (4)$$

Dabei ist I der Strom durch die Diode und den Widerstand. Aufgrund der Serienschaltung geht das ja nicht anders. Wenn wir jetzt in Gleichung (4) für die Spannung U die Betriebsspannung U_B und für I den erlaubten Strom durch die Diode, den wir im Datenblatt des Herstellers finden, einsetzen, machen wir erst einmal nicht viel falsch.

Allerdings wird der tatsächlich fließende Strom **geringer** sein, als wir erwarten, denn am Widerstand liegt ja **nicht die volle Betriebsspannung** U_B an, sondern nur die um die Durchlassspannung der Diode **verminderte Betriebsspannung**.

Bevor wir in Gleichung (4) die Spannung einsetzen, müssen wir also die Durchlassspannung der Diode abziehen. Die Spannung am Widerstand ist also tatsächlich nur

$$U_R = U_B - U_D \quad (5)$$

Wenn wir das alles jetzt zusammenfügen und für die Spannung U in Gleichung (4) die Differenz nach Gleichung (5) einsetzen, erhalten wir als Formel zur Berechnung des Vorwiderstands

$$R = \frac{U_B - U_D}{I_D} \quad (6)$$

I_D ist dabei der für die Diode erlaubte Strom. Dieser liegt meistens im Bereich um 20 mA. Im Datenblatt des Herstellers sind außerdem folgende Durchlassspannungen für die LED-Chips angegeben:

Roter Chip:	2.0 V	(1.6 V... 2.5 V)	⇒	R = 200 Ω
Grüner Chip:	3.4 V	(2.8 V... 3.8 V)	⇒	R = 130 Ω
Blauer Chip:	3.4 V	(2.8 V... 3.8 V)	⇒	R = 130 Ω

Tabelle 1: Durchlassspannungen der LED-Chips und berechnete Vorwiderstände

Ihr seht, dass die verschiedenen Farben stark unterschiedliche Durchlassspannungen haben, die dazu noch in einem doch recht großen Bereich schwanken können. Die unterschiedlichen Durchlassspannungen bewirken auch, dass – wenn die Schaltung Kondensatoren zur Pufferung der Betriebsspannung enthält – die rote LED beim Abschalten der Versorgungsspannung als letzte erlischt.

Die Widerstandswerte in Tabelle 1 sind für eine Betriebsspannung von 6 V berechnet. Für die Widerstände würde man statt der berechneten Werte wahrscheinlich die nächstliegenden Werte aus der E12-Standardreihe nehmen: 150 Ω und 220 Ω. Für unsere Schaltung haben wir die Werte etwas größer gewählt, weil die LEDs sonst sehr hell leuchten und blenden würden. Außerdem kann die Schaltung dann auch mit 9 V betrieben werden.

Ihr seht auch, dass der Vorwiderstand für den roten Chip größer ist, als für die beiden anderen. Der rote Chip hat eine geringere Durchlassspannung. Also muss am Vorwiderstand eine höhere Spannung abfallen. Daher muss er größer sein.

Beispiele

Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte. Daher zum Abschluss noch ein paar Beispiele zur Berechnung der Widerstände.

Für die in Tabelle 1 berechneten Widerstände wurden folgenden Werte angenommen:

$$U_B = 6 \text{ V}$$

$$I_D = 20 \text{ mA}$$

Daraus ergibt sich dann nach Gleichung (6):

$$\text{Roter Chip: } R = \frac{6 \text{ V} - 2 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = \frac{4 \text{ V}}{0.02 \text{ A}} = 200 \Omega$$

$$\text{Grüner Chip: } R = \frac{6 \text{ V} - 3.4 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = \frac{2.6 \text{ V}}{0.02 \text{ A}} = 130 \Omega$$

$$\text{Blauer Chip: } R = \frac{6 \text{ V} - 3.4 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = \frac{2.6 \text{ V}}{0.02 \text{ A}} = 130 \Omega$$

Für eine Spannung von $U_B = 9 \text{ V}$ ergäben sich folgende Widerstandswerte:

$$\text{Roter Chip: } R = \frac{9 \text{ V} - 2 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = \frac{7 \text{ V}}{0.02 \text{ A}} = 350 \Omega$$

$$\text{Grüner Chip: } R = \frac{9 \text{ V} - 3.4 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = \frac{5.6 \text{ V}}{0.02 \text{ A}} = 280 \Omega$$

$$\text{Blauer Chip: } R = \frac{9 \text{ V} - 3.4 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = \frac{5.6 \text{ V}}{0.02 \text{ A}} = 280 \Omega$$

Jetzt beschreiten wir den umgekehrten Weg. Für unsere Messung hatten wir ja R_1 , R_2 und $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ eingesetzt. Welche Ströme fließen dann durch die LEDs?

Hierfür muss Gleichung (6) zur Berechnung des Stromes umgestellt werden. Man erhält dann:

$$I_D = \frac{U_B - U_D}{R} \quad (7)$$

Bei $U_B = 9 \text{ V}$ und $R = 1 \text{ k}\Omega$ würden dann folgende Ströme fließen:

$$\text{Roter Chip: } I = \frac{9 \text{ V} - 2 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = \frac{7 \text{ V}}{1000 \Omega} = 7 \text{ mA}$$

$$\text{Grüner Chip: } I = \frac{9 \text{ V} - 3.4 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = \frac{5.6 \text{ V}}{1000 \Omega} = 5.6 \text{ mA}$$

$$\text{Blauer Chip: } I = \frac{9 \text{ V} - 3.4 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = \frac{5.6 \text{ V}}{1000 \Omega} = 5.6 \text{ mA}$$

© Alle Rechte beim DARC OV I07 bzw. den Autoren. Für Ausbildungs- und Lehrzwecke frei verwendbar. Die gewerbliche oder kommerzielle Nutzung bedarf der schriftlichen Genehmigung. Nicht referenzierte Bilder von DJ1FC oder vom Autor. Dokument erstellt mit \LaTeX unter Verwendung der Pakete TikZ und CircuitikZ sowie fritzing.

*** Elektrischer Strom ist kein Spielzeug. Beachtet unsere Sicherheitshinweise. ***
 *** Ihr findet sie, wie diese Schaltung, auf unserer Webseite. ***