Helmut-Schmidt-Universität
Universität der Bundeswehr Hamburg
Fakultät für Elektrotechnik
Grundlagen der Elektrotechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Dickmann

# Elektronik-Bastelkurs — der interessante Einstieg in die Elektrotechnik —

von Dr.-Ing. Stefan Schenke

Version vom 14. Oktober 2022.

# Vorwort

Als ich acht Jahre alt war, schenkte mir mein Vater einen Elektronik-Baukasten für Kinder zu Weihnachten. In dem Alter verstand ich überhaupt nicht, warum die Schaltungen funktionieren. Aber es machte mir großen Spaß, mit wenigen Bauelementen etwas zu bauen, was blinkt oder piept. Die finale Schaltung des Kastens war ein UKW-Radio, welches ich voller Stolz in der Grundschule vorführte.

Die Faszination für die Elektrotechnik war geboren und führte schließlich zur Berufswahl.

Inzwischen arbeite ich als Dozent an der Helmut-Schmidt-Universität und bemühe mich mit vollem Eifer, unseren Studienanfängern die Grundlangen der Elektrotechnik zu vermitteln. Hierbei habe ich beobachtet, dass die meisten Studierenden keinerlei Bastelerfahrungen mitbringen und die grundlegenden Bauelemente, welche in der Vorlesung bis in die letzte Theorie besprochen werden, nie benutzt oder auch nur gesehen haben.

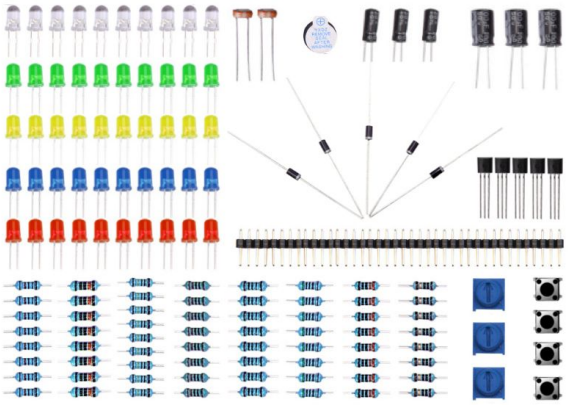
So entstand die Idee dieses Elektronik-Bastelkurses. Die Teilnahme ist freiwillig und ich verzichte auf theoretische Herleitungen (die kommen später im Studium eh dran). Das Ziel dieses Kurses ist, dass Sie Spaß haben und dass Ihre Motivation für das Studium steigt.

Ich wünsche Ihnen die kindliche Freude, die ich als Grundschüler hatte! Und im Gegensatz zu mir damals, werden Sie die Schaltungen verstehen.

# Benötigte Bauteile

Diese Experimente sind auf die Bauteilsammlung „Elektronik-Set Starter Edition“ abgestimmt, die Sie hier bestellen können:

https://www.elektronik-kompendium.de/shop/elektronik-set/starter-edition



**Zusätzlich benötigen Sie**

- **zwingend** eine 9 V Blockbatterie,

und **optional**

- 6x 470 Ω-Widerstände als Vorwiderstände für die Leuchtdioden (alternativ können Sie auch die 1 kΩ-Widerstände des Sets verwenden).

**Später** benötigen Sie noch

- 1x NE555 Timer IC (gibt es z. B. bei Ebay),
- 2x 10 nF Keramikkondensatoren.

# Inhaltsverzeichnis


**1 Bauteile** **7**

1.1 Das Steckbrett . . . 7
1.2 Batterie und Batterieclip . . . 8
1.3 Taster . . . 10
1.4 Widerstände . . . 11
1.5 Potentiometer (Poti) . . . 13
1.6 Fotowiderstand (LDR) . . . 14
1.7 Leuchtdioden (LEDs) . . . 15
1.8 Dioden . . . 17
1.9 Kondensatoren . . . 19
1.9.1 Keramikkondensatoren . . . 19
1.9.2 Elektrolytkondensatoren . . . 19
1.10 Bipolartransistoren . . . 21
1.11 Timer-IC NE555 . . . 23

**2 Experimente** **25**

2.1 Leuchtdioden, Vorwiderstände & Co . . . 25
2.1.1 LED mit Vorwiderstand . . . 25
2.1.2 LEDs in Durchlass- und Sperrrichtung . . . 27
2.1.3 Dioden in Durchlass- und Sperrrichtung . . . 29
2.1.4 Reihenschaltung von Vorwiderständen . . . 30
2.1.5 Potentiometer in Reihe zum Vorwiderstand . . . 32
2.1.6 Potentiometer als Spannungsteiler . . . 33
2.1.7 Fotowiderstand in Reihe zum Vorwiderstand . . . 34
2.1.8 Parallelschaltung von Vorwiderständen . . . 35
2.1.9 Parallelschaltung von gleichfarbigen LEDs mit gemeinsamem Vorwiderstand . . . 37
2.1.10 Parallelschaltung von ungleichfarbigen LEDs mit gemeinsamem Vorwiderstand . . . 38
2.1.11 Parallelschaltung von LEDs mit separaten Vorwiderständen . . . 40
2.1.12 Kondensator als Energiespeicher . . . 41
2.2 Nutzung des Bipolartransistors . . . 43
2.2.1 Verhalten des Bipolartransistors . . . 43
2.2.2 Durchgangsprüfer . . . 45
2.2.3 Taglicht . . . 47
2.2.4 Nachtlicht . . . 49

2.2.5 Ausschaltverzögerung . . . . . 51
2.2.6 Alarmschaltung . . . . . 53
2.2.7 Alarmschaltung mit Gedächtnis . . . . . 55
2.2.8 Logikschaltung — AND . . . . . 57
2.2.9 Logikschaltung — OR . . . . . 59
2.2.10 Logikschaltung — NAND . . . . . 61
2.2.11 Logikschaltung — NOR . . . . . 63
2.2.12 Logikschaltung — XOR . . . . . 65
2.2.13 Astabile Kippstufe . . . . . 67
2.2.14 RS Flipflop . . . . . 68
2.3 Timer-IC NE555 . . . . . 70
2.3.1 Funktionsweise des NE555 verstehen . . . . . 70
2.3.2 Treppenhauslicht – Monostabile Kippstufe . . . . . 73
2.3.3 Blinklicht – Astabile Kippstufe . . . . . 75
2.3.4 Blinklicht mit frei einstellbarer Ein- und Ausschaltzeit . . . . . 77
2.3.5 Pulsweitenmodulation . . . . . 79

# 1 Bauteile

## 1.1 Das Steckbrett

Mit Hilfe eines Steckbretts (engl. Breadboard) lassen sich komplexe Schaltungen aufbauen, ohne die Bauteile dauerhaft miteinander zu verlöten. Dadurch eignet es sich hervorragend zum Experimentieren. Die vielen Steckkontakte (die Löcher) sind in geschickter Weise zueinander leitend kontaktiert. In Abb 1.1 ist links das Foto eines Steckbretts zu sehen, der Skizze rechts ist zu entnehmen, wie die Löcher miteinander verbunden sind.
In jeder Zeile sind jeweils links und rechts fünf Löcher leitfähig miteinander verbunden. Die Löcher an den äußeren Rändern sind spaltenweise über die gesamte Länge des Steckbretts miteinander verbunden und für die Spannungsversorgung gedacht.

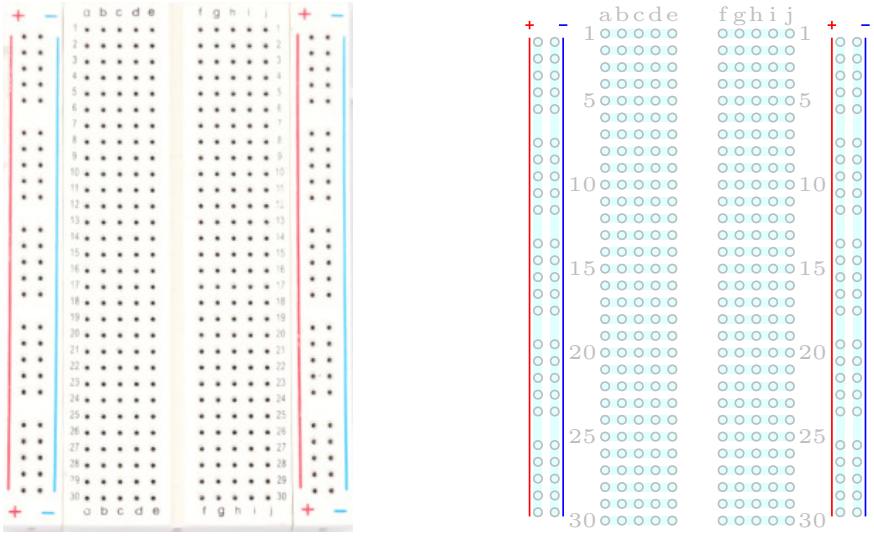



Abbildung 1.1: Links: Foto des Steckbretts, rechts: Verbindungen innerhalb des Steckbretts

## 1.2 Batterie und Batterieclip

Sämtliche hier vorgestellten Schaltungen werden mit einer 9 V-Batterie betrieben. Diese Spannung stellt für den Menschen keinerlei Gefahr dar, Sie können angstfrei experimentieren. Zum Schutz der Batterie sollten Sie jedoch darauf achten, dass Sie diese nicht versehentlich kurzschließen. Trennen Sie die Batterie darum immer von dem Batterieanschluss, bevor Sie Änderungen an Ihrer Schaltung vornehmen.

Abbildung 1.2: Links: 9 V-Batterie, rechts: Batterieanschluss

Eigentlich verwendet man in Schaltplänen für Batterien das linke Symbol in Abb. 1.3. Aus zwei Gründen wird in diesem Skript jedoch stattdessen das Symbol der idealen Spannungsquelle (Abb. 1.3, rechts) verwendet.

1. In der Vorlesung „Grundlagen der Elektrotechnik“ werden in der Regel ganz allgemein *Spannungsquellen* betrachtet.

2. Das Symbol einer Batterie ähnelt dem eines Kondensators. Wir möchten Irritationen und Verwechslungen vermeiden.

Abbildung 1.3: Links: Schaltungssymbol einer Batterie, rechts: Schaltungssymbol einer idealen Spannungsquelle

**Polarität einer Batterie** Eine Batterie besitzt einen Plus- und einen Minuspol. Am Batterieclip ist der Pluspol mit dem roten Kabel, der Minuspol mit dem schwarzen Kabel verbunden. Das Schaltsymbol der Batterie ist der Pluspol durch den längeren wagerechten Strich gekennzeichnet. Beim Schaltsymbol der Spannungsquelle zeigt der

Pfeil von Plus nach Minus.
In den hier verwendeten Schaltplänen ist der Pluspol immer oben mit der Schaltung verbunden, der Minuspol unten. (Außer in Versuch 2.1.2, in dem die Battierie bewusst auch andersherum angeschlossen werden soll.)

## 1.3 Taster

Um manuell vorübergehend einen elektrischen Kontakt zu schließen, verwendet man Taster. Im Gegensatz zu einem Schalter öffnet sich der Kontakt wieder, sobald man den Taster loslässt. Abb. 1.4 zeigt das Aussehen und den inneren Aufbau der hier verwendeten Taster. Wichtig ist, dass die Anschlussbeinchen auf der linken und der rechten Seite jeweils miteinander verbunden sind. Achten Sie darauf, dass Sie den Taster nicht versehentlich um 90° verdreht in Ihre Schaltung einsetzen! Die beiden Seiten sind auf der Unterseite des Gehäuses durch eine Nut voneinander getrennt.

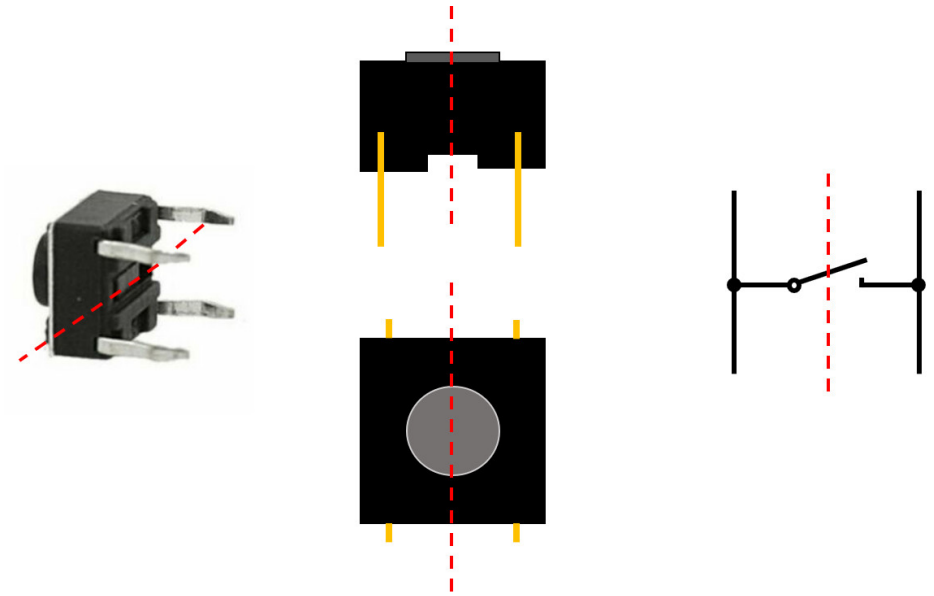


Abbildung 1.4: Links: Foto des Tasters, Mitte: Seitenansicht und Draufsicht, rechts: innere Beschaltung

## 1.4 Widerstände

In der Experimentierbox finden Sie Metallschichtwiderstände (siehe Abb. 1.5). An Widerständen gilt das ohmsche Gesetz

$$U = R \cdot I.$$

Das bedeutet, dass immer ein Strom $I$ durch den Widerstand $R$ fließt, wenn eine Spannung $U$ an ihm abfällt. Als wichtiger Sonderfall gilt auch, dass keine Spannung an einem Widerstand abfällt, wenn kein Strom durch ihn fließt! In Abb. 1.6 sind das Schaltungssymbol eines Widerstands und seine $U - I-$Kennlinie abgebildet.

**Achtung:** Diese Widerstände können nur eine Leistung von 0,25 W aufnehmen. Bei höheren Leistungen werden sie zu heiß und brennen durch!

Die elektrische Leistung an einem Widerstand berechnet sich mit der Formel

$$P = U \cdot I = U \cdot U/R = U^2/R.$$

Dies bedeutet z. B., dass man an eine 9 V-Batterie keinen Widerstandswert direkt anschließen darf, der kleiner ist als $R = \frac{(9\,\mathrm{V})^2}{0{,}25\,\mathrm{W}} = 324\,\Omega$!

Der Widerstandswert ist mit Hilfe von Farbringen codiert, siehe Abb. 1.7.

**Beispiel:** Ein 1000 Ω-Widerstand hat die Farbringe braun-schwarz-schwarz-braun.

$$\underbrace{1}_{\text{braun}}\ \underbrace{0}_{\text{schwarz}}\ \underbrace{0}_{\text{schwarz}} \cdot \underbrace{10^1}_{\text{braun}}$$

Der fünfte Ring gibt die Toleranz des Widerstandswertes an. Bei unseren Metallschichtwiderständen ist der Ring braun, die Toleranz ist also ±1%. Ein 1000 Ω-Widerstand kann also einen Wert zwischen 990 Ω und 1010 Ω besitzen.

Abbildung 1.5: Bauformen der verwendeten Widerstände

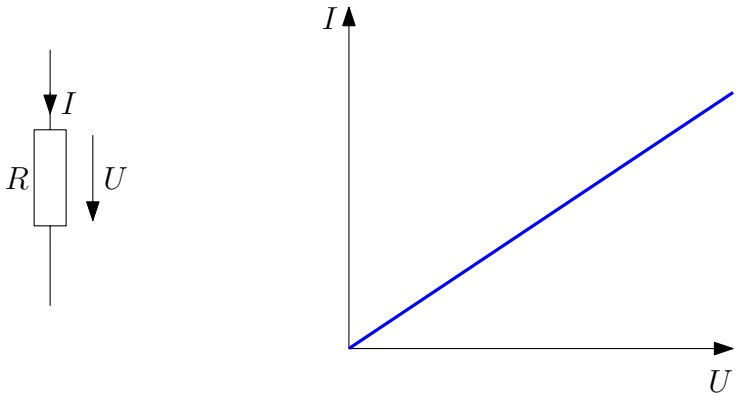
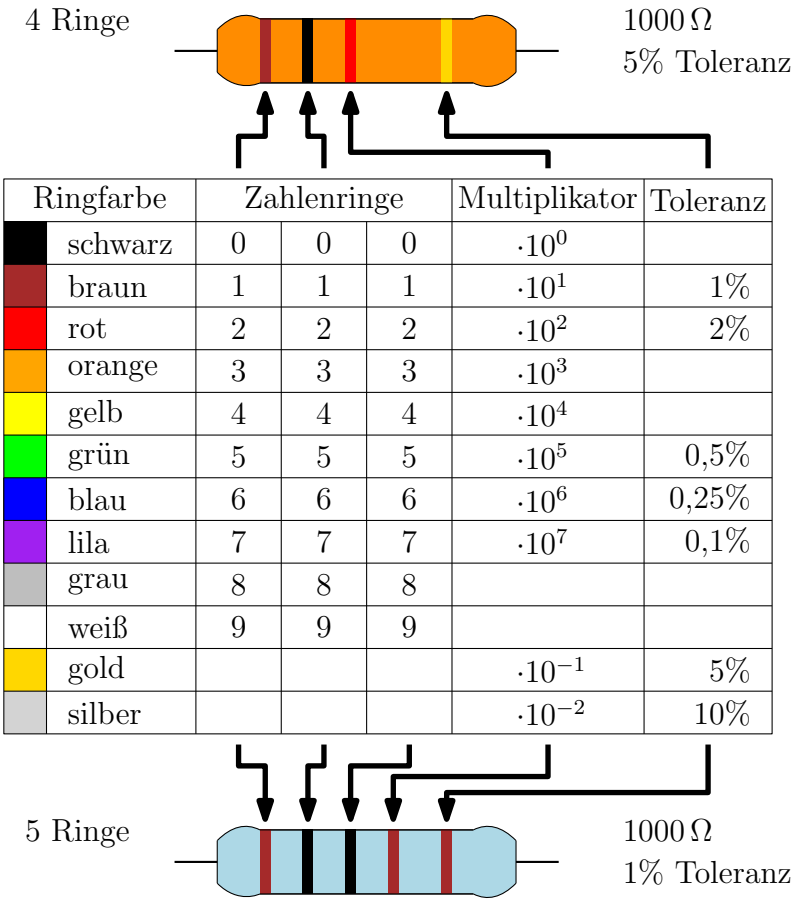



Abbildung 1.6: Links: Symbol eines Widerstands, rechts: Strom- und Spannungkennlinie eines Widerstands




| Ringfarbe | | Zahlenringe | | | Multiplikator | Toleranz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | schwarz | 0 | 0 | 0 | $\cdot 10^0$ | |
| | braun | 1 | 1 | 1 | $\cdot 10^1$ | 1% |
| | rot | 2 | 2 | 2 | $\cdot 10^2$ | 2% |
| | orange | 3 | 3 | 3 | $\cdot 10^3$ | |
| | gelb | 4 | 4 | 4 | $\cdot 10^4$ | |
| | grün | 5 | 5 | 5 | $\cdot 10^5$ | 0,5% |
| | blau | 6 | 6 | 6 | $\cdot 10^6$ | 0,25% |
| | lila | 7 | 7 | 7 | $\cdot 10^7$ | 0,1% |
| | grau | 8 | 8 | 8 | | |
| | weiß | 9 | 9 | 9 | | |
| | gold | | | | $\cdot 10^{-1}$ | 5% |
| | silber | | | | $\cdot 10^{-2}$ | 10% |

Abbildung 1.7: Farbcodes von Widerständen. Oben: Beispiel für einen Kohlewiderstand, unten: Beispiel für einen Metallschichtwiderstand

## 1.5 Potentiometer (Poti)

Bei dem Potentiometer handelt es sich um ein Bauteil mit drei Anschlüssen. Sein innerer Aufbau besteht aus einer Widerstandsbahn, wie in Abb. 1.8 oben dargestellt. Die beiden äußeren Anschlüsse sind mit den Enden dieser Bahn verbunden, zwischen ihnen liegt ein konstanter Widerstandswert, welcher den Wert des Bauteils definiert. In unserer Bauteilsammlung finden Sie drei 10 kΩ-Potentiometer. Der dritte Anschluss ist mit einem Schleifdraht verbunden, welcher leitfähig auf die Widerstandsbahn drückt. Die Position der Berührung kann durch Verstellen des Drehkopfes entlang der Widerstandsbahn geändert werden.

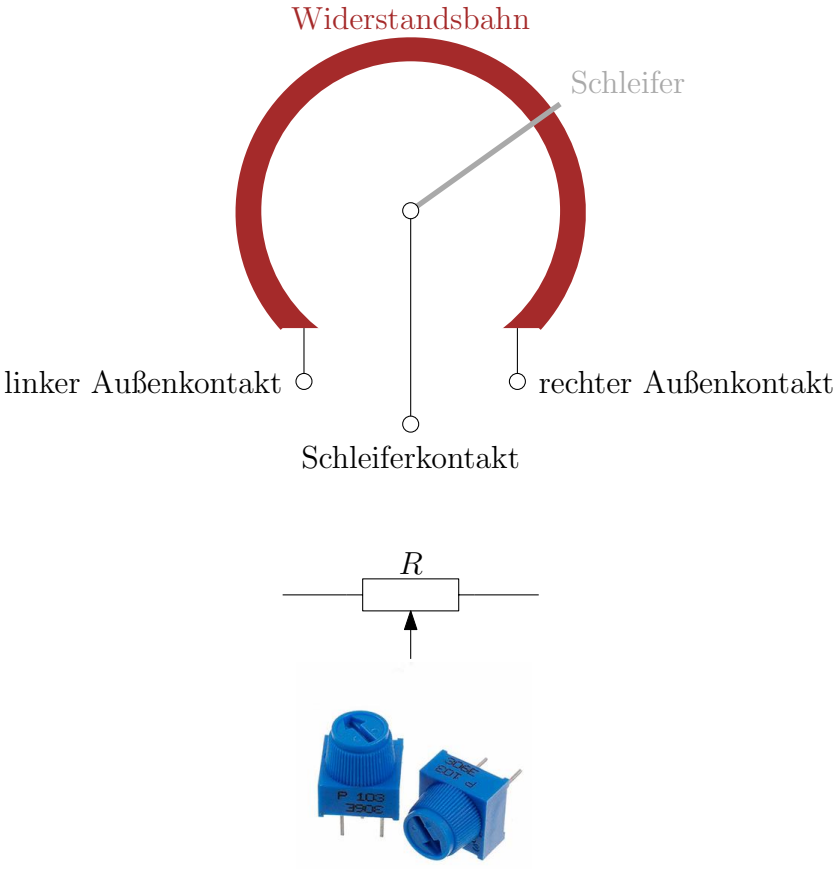



Abbildung 1.8: Oben: innerer Aufbau eines Potentiometers, Mitte: Symbol des Potentiometers, unten: Foto des hier verwendeten Potentiometers

Wird der Drehknopf ganz nach links gestellt, besteht ein Kurzschluss zwischen dem linken Außenkontakt und dem Schleiferkontakt, während zwischen dem Schleiferkontakt und dem rechten Außenkontakt der volle Widerstandswert des Potentiometers liegt. Dreht man nun den Drehknopf nach rechts, vergrößert sich der Widerstandswert zwischen Schleiferkontakt und linkem Außenkontakt, während der Widerstandswert zum rechten Außenkontakt abnimmt.

## 1.6 Fotowiderstand (LDR)

Der Widerstandswert eines Fotowiderstandes (LDR – Light Dependant Resistor) verändert sich in Abhängigkeit von der Helligkeit am Bauteil. Je heller die Umgebung ist, umso geringer ist der Widerstand. In Abb. 1.9 ist ein Fotowiderstand abgebildet, Abb. 1.10 zeigt den prinzipiellen Verlauf seines Widerstandswertes in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke.

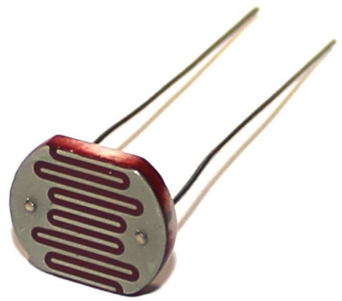


Abbildung 1.9: Fotowiderstand (LDR)

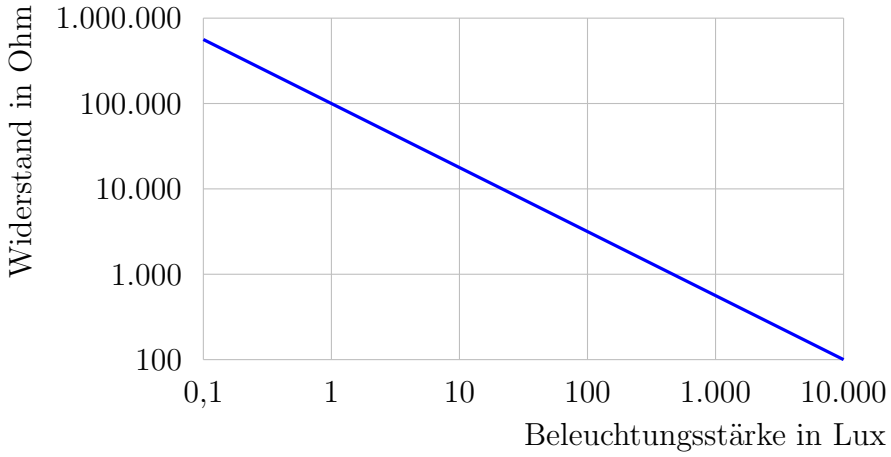



Abbildung 1.10: Widerstandskennlinie des LDR

## 1.7 Leuchtdioden (LEDs)

Leuchtdioden (LEDs – Light Emitting Diodes) kennen Sie als kleine bunte Signallampen an Geräten. (Die Standby-Lampe Ihres Fernsehers ist eine LED.) Über die Jahrzehnte hat sich die LED-Technik stark weiterentwickelt. In den 80er-Jahren gab es nur die Farben rot, grün und gelb. Später kam blau hinzu. Als die Playstation 2 im Jahr 2000 vorgestellt wurde, feierte die Fachwelt die moderne blaue Power-LED der Konsole. Es hieß, Sony habe damals den Markt der blauen LEDs über Monate hinweg leergekauft.

Mittlerweile gibt es LEDs in allen Farben und Helligkeitsstufen.

Eine wichtige Eingenschaft haben alle LEDs gemeinsam: An ihnen gilt NICHT das ohmsche Gesetz!

Die Abb 1.11 zeigt das Foto einer LED. Es ist wichtig zu beachten, dass eine LED eine Polarität besitzt! Das bedeutet, dass sie nur leuchtet, wenn der Pluspol der Spannungsquelle mit der Anode verbunden wird und der Minuspol mit der Kathode. Die Kathode ist dadurch gekennzeichnet, dass das Anschlussbeinchen kürzer ist und dass das ansonsten runde Gehäuse der LED auf der Kathodenseite abgeflacht ist.

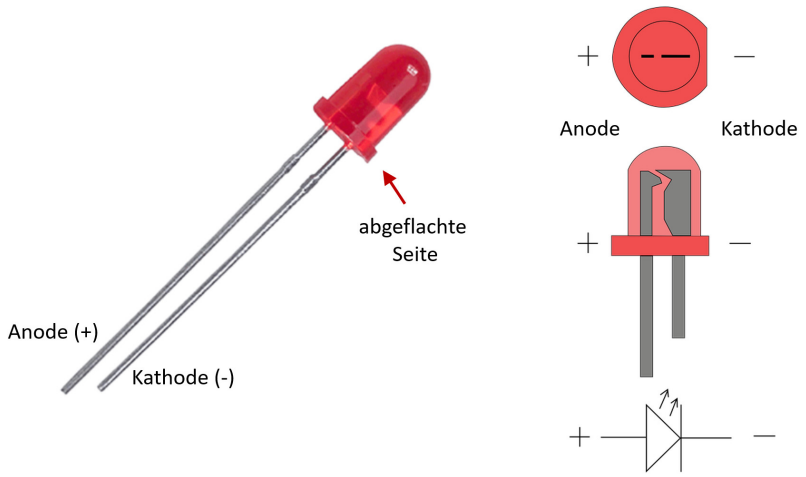



Abbildung 1.11: Links: Foto einer LED, rechts: Draufsicht, Seitenansicht, Schaltzeichen

In Abb. 1.12 ist die Kennlinie einer LED gezeigt. Erst wenn ein Strom (in der Größenordnung $I = 0,1\,\mathrm{mA}$) durch die LED fließt, beginnt sie zu leuchten. Bei ca. 15 mA erreicht sie ihre volle Helligkeit. Hierbei fällt die sogenannte Flussspannung $U_\mathrm{F} \approx 2\,\mathrm{V}$ an der LED ab. Ein leichter Anstieg von $U_\mathrm{F}$ hat jedoch einen starken Anstieg von $I$ zur Folge und kann zum Durchbrennen der LED führen! Die 9 V unserer Batterie ist in jedem Fall viel zu groß! **Darum dürfen wir die LED nie direkt mit der Batterie verbinden!**

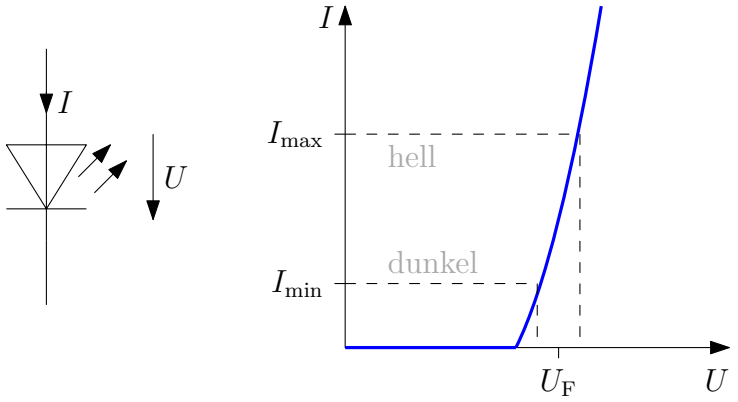



Abbildung 1.12: Links: Symbol einer LED, rechts: Strom- und Spannungkennlinie einer LED

Der Strom muss mit Hilfe eines in Reihe geschalteten Vorwiderstandes begrenzt werden, siehe Abb. 1.13. Um den Vorwiderstand $R$ zu dimensionieren, muss man die Versorgungsspannung $U$, die Flussspannung $U_\mathrm{F}$ der LED und den Strom $I$ kennen. Für unsere roten LED gilt etwa

$$\begin{aligned} U_\mathrm{F} &= 2\,\mathrm{V}, \\ I &= 15\,\mathrm{mA}. \end{aligned}$$

Wir verwenden eine 9 V-Batterie. Somit ergibt sich

$$R = \frac{9\,\mathrm{V} - 2\,\mathrm{V}}{15\,\mathrm{mA}} = 466,67\,\Omega.$$

Da es diesen Wert nicht als Bauteil gibt, verwenden wir in unseren Schaltungen **immer** einen 470 Ω-Widerstand in Reihe zu den LEDs.

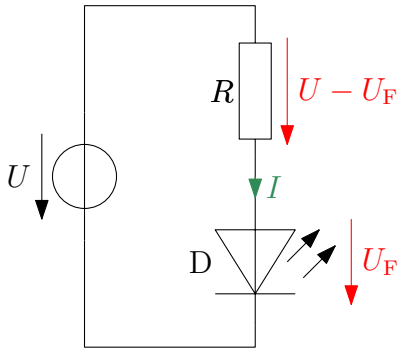



Abbildung 1.13: LED mit Vorwiderstand an einer Spannungsquelle

## 1.8 Dioden

Eine Diode verhält sich so ähnlich wie eine LED, nur dass sie nicht leuchtet. Aber auch eine Diode lässt den Strom nur in eine Richtung passieren (man spricht von Durchlassrichtung). Sie verhält sich also wie ein Ventil. Auf dem Bauteil ist die Kathode (also der Minuspol) mit einem Ring gekennzeichnet. Wie bei einer LED muss an der Diode eine Schwellspannung überschritten werden, bevor ein Strom fließen kann. Bei unseren Silizium-Dioden beträgt diese Schwellspannung 0,7 V, siehe Abb. 1.15. In Sperrrichtung (also bei negativer Spannung) fließt solange kein Strom, bis die Durchbruchspannung erreicht ist; dann beginnt die Diode auch in Sperrrichtung zu leiten. Die meisten Dioden gehen bei einem Spannungsdurchbruch kaputt. Es gibt jedoch auch Dioden, die extra dafür gebaut wurden, in Sperrrichtung jenseits der Durchbruchspannung betrieben zu werden.

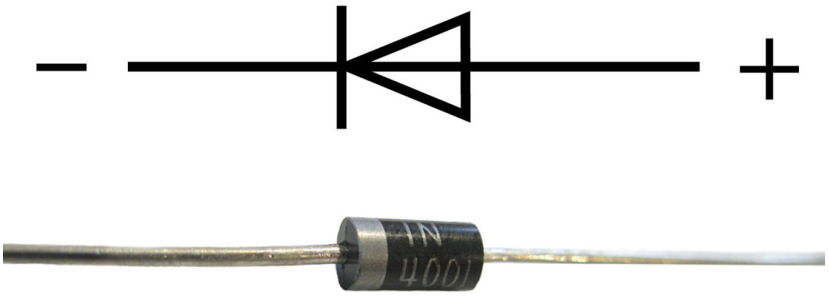



Abbildung 1.14: Oben: Schaltsymbol einer Diode, unten: Fotos einer hier verwendeten Diode

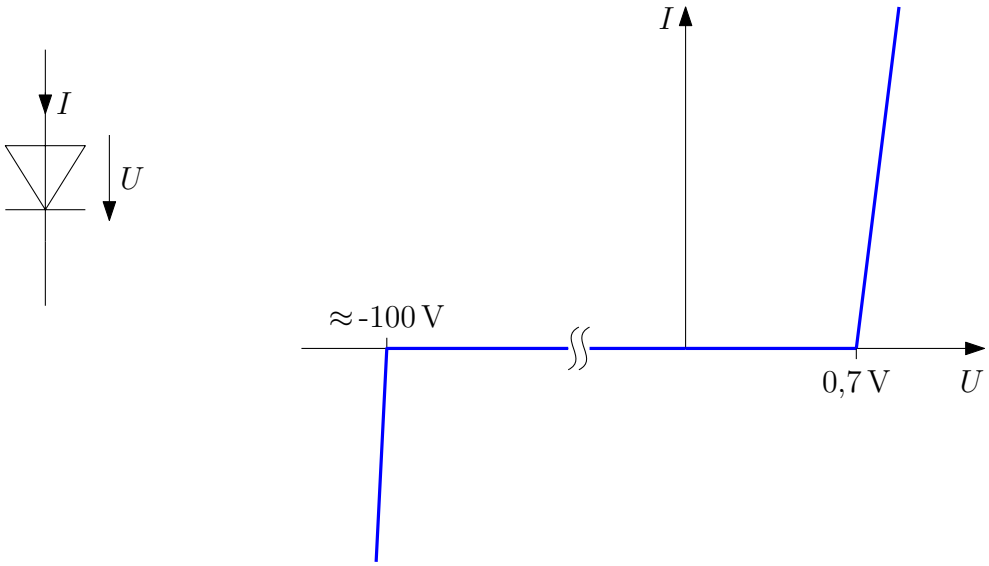



Abbildung 1.15: Links: Symbol einer Diode, rechts: Strom- und Spannungkennlinie einer Diode

## 1.9 Kondensatoren

Ein Kondensator kann elektrische Ladungen speichern und ist vergleichbar mit einem Akku. Zwar kann ein Kondensator viel weniger Energie speichern als ein Akku, dafür ist der Kondensator viel schneller. Die Kapazität $C$ gibt an, welche Ladungsmenge $Q$ ein Kondensator gespeichert hat, wenn er sich auf die Spannung $U$ aufgeladen hat:

$$C = \frac{Q}{U}.$$

In unseren Experimenten verwenden wir Keramikkondendensatoren und Elektrolytkondensatoren.

### 1.9.1 Keramikkondensatoren

Die Elektroden eines Keramikkondensators bestehen aus Metallfolien und sind mit einem keramischen Dielektrikum voneinander isoliert. Durch diesen symmetrischen Aufbau besitzt das Bauteil keine Polarität, wir müssen also nicht darauf achten, wie rum wir einen Keramikkondensator einbauen. Die Kapazität des Bauteils ist in kodierter Weise aufgedruckt. Drei Ziffern $abc$ geben die Kapazität in pico-Farrad an. Die ersten zwei Ziffern $ab$ sind als Zahl zu lesen, die dritte Ziffer gibt den Zehnerexponenten an: $C = ab \cdot 10^c$ pF. Abb. 1.16 zeigt das Foto eines Keramikkondensators und dessen Schaltzeichen.

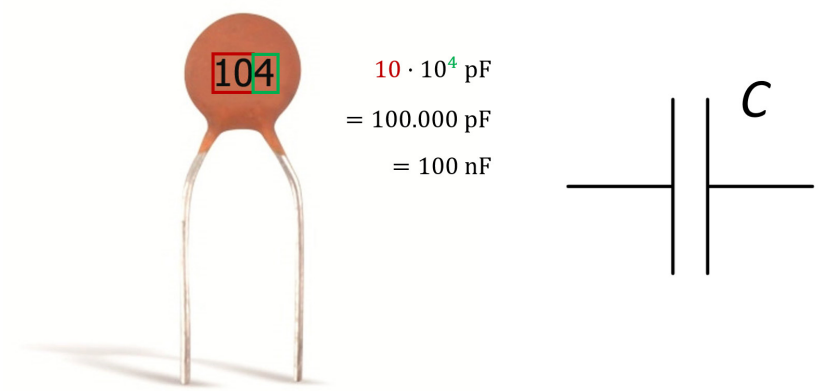



Abbildung 1.16: Links: Foto eines Keramikkondensators mit Erläuterung der Beschriftung, rechts: Schaltsymbol eines Kondensators

### 1.9.2 Elektrolytkondensatoren

Bei einem Elektrolytkondensator (kurz „Elko“ genannt) besteht die Anodenelektrode aus einem Metall, welches von einer isolierenden Oxidschicht umgeben ist, welche das Dielektrikum bildet. Die Kathode bildet ein flüssiger Elektrolyt. Ein Elko besitzt eine

größere Kapazität als ein Keramikkondensator. **Wir müssen jedoch darauf achten, dass wir den Elko nicht falsch herum anschließen, da der Kondensator sonst kaputt geht!** In Abb. 1.17 ist zu sehen, dass die Kathode (der Minuspol) sowohl auf dem Gehäuse gekennzeichnet ist, als auch (wie bei einer LED) ein kürzeres Anschlussbeinchen besitzt als die Anode (der Pluspol). Der Kapazitätswert und die maximal zulässige Spannung sind ebenfalls auf das Gehäuse gedruckt.

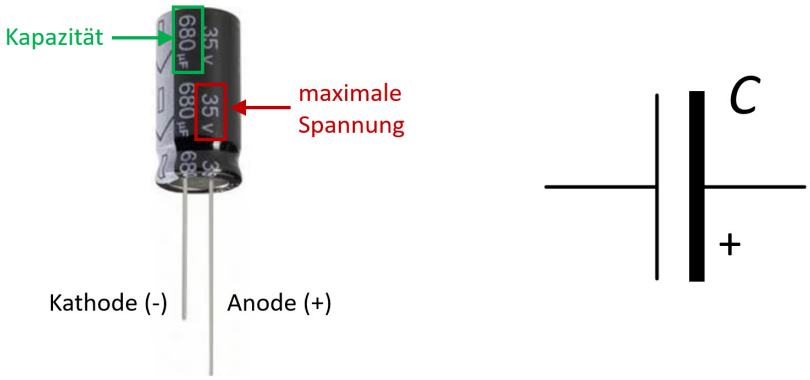



Abbildung 1.17: Links: Foto eines Elektrolytkondensators mit Erläuterung der Beschriftung, rechts: Schaltsymbol eines Elektrolytkondensators

## 1.10 Bipolartransistoren

In unseren Experimenten werden wir nur NPN-Bipolartransistoren verwenden. (Es gibt viele Arten von Transistoren und noch mehr verschiedene Anwendungsfälle!) Um die innere Funktionsweise zu verstehen, ist eine Menge theoretisches Wissen notwendig, welches im Laufe des Elektrotechnikstudiums erworben wird. Wir wollen uns nicht weiter darum kümmern und das Bauteil nur als elektronischen Schalter auffassen (obwohl es noch viel mehr kann).

Der NPN-Transistor besitzt drei Anschlüsse: Die Basis, den Kollektor und den Emitter. Abb. 1.18 zeigt die Pinbelegung des hier verwendeten Bauteils PN2222. In Abb. 1.19 sind die fließenden Ströme definiert. Wir betrachten den Transistor als Schalter zwischen Kollektor und Emitter, wobei der Strom in die Pfeilrichtung des Bauteilsymbols fließen soll. Dieser Strom kann aber erst fließen, sobald ein kleiner Steuerstrom $I_\mathrm{B}$ in die Basis des Transistors fließt. Der Kollektorstrom $I_\mathrm{K}$ ist um den Verstärkungsfaktor $\beta$ größer als der Basisstrom: $I_\mathrm{K} = \beta \cdot I_\mathrm{B}$. Durch den Emitter verlassen beide Ströme das Bauelement: $I_\mathrm{E} = I_\mathrm{K} + I_\mathrm{B}$. Der Verstärkungsfaktor $\beta$ ist abhängig von der äußeren Beschaltung des Transistors und liegt im Bereich $35 \leq \beta \leq 300$. **Das Bauteil wird zerstört, wenn ein zu großer Strom in die Basis fließt, darum werden wir immer einen Widerstand in Reihe zur Basis anschließen.**

Abbildung 1.18: Links: Pinbelegung des NPN-Bipolartransistors PN2222, rechts: Schaltzeichen eines NPN-Transistors

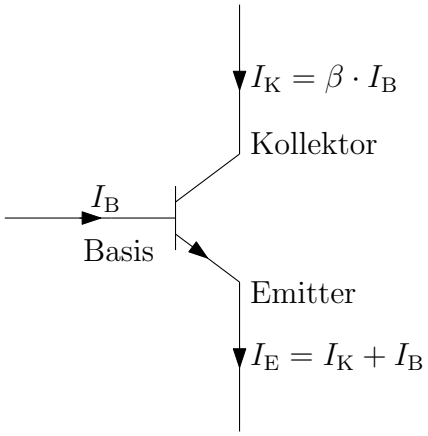



Abbildung 1.19: Funktionsweise des NPN-Transistors

## 1.11 Timer-IC NE555

Der IC NE555 wird bereits seit 1972 gebaut und ist bis heute der am häufigsten eingesetzte Chip weltweit. Abb. 1.20 zeigt das Prinzipschaltbild des seines inneren Aufbaus. Das zentrale Element stellet das RS Flipflop dar (siehe Experiment 2.2.14). Die drei integrierten 5 kΩ-Widerstände stellen einen Spannungsteiler dar, der an den Eingängen der Komparatoren $\frac{2}{3}V_{CC}$ und $\frac{1}{3}V_{CC}$ bereitstellt. ($V_{CC}$ ist die Versorgungsspannung des ICs, in unseren Experimenten also 9 V.)

- Unterschreitet die Spannung am Trigger-Pin (2) den Wert $\frac{1}{3}V_{CC}$, so wird der Ausgangspin Q (3) auf „high“ gesetzt. Das bedeutet, zwischen Q und GND fällt die Spannung $V_{CC}$ ab.

  Gleichzeitig wird $\overline{Q}$ auf „low“ gesetzt, $\overline{Q}$ ist also mit GND verbunden. Dies hat zur Folge, dass der innere Transistor sperrt und der Discharge-Pin (7) hochohmig wird. Es kann kein Strom über Pin 7 fließen.

- Überschreitet die Spannung am Threshold-Pin (6) den Wert $\frac{2}{3}V_{CC}$, so wird Q auf „low“ gesetzt, also mit GND verbunden.

  Gleichzeitig wird $\overline{Q}$ auf „high“ gesetzt und der Transistor beginnt zu leiten, wodurch der Pin Discharge (7) mit GND verbunden wird. Dieser Pin kann z. B. dazu verwendet werden, einen extern angeschlossenen Kondensator zu entladen, was den Anschluss seinen Namen gibt.

Die Funktionalität des Bauteils wird im Rahmen der Lehrveranstaltung (und in den verlinkten Videos) ausführlicher besprochen. Einen Einblick in seine Funktionsvielfalt geben die hier vorgestellten Experimente.

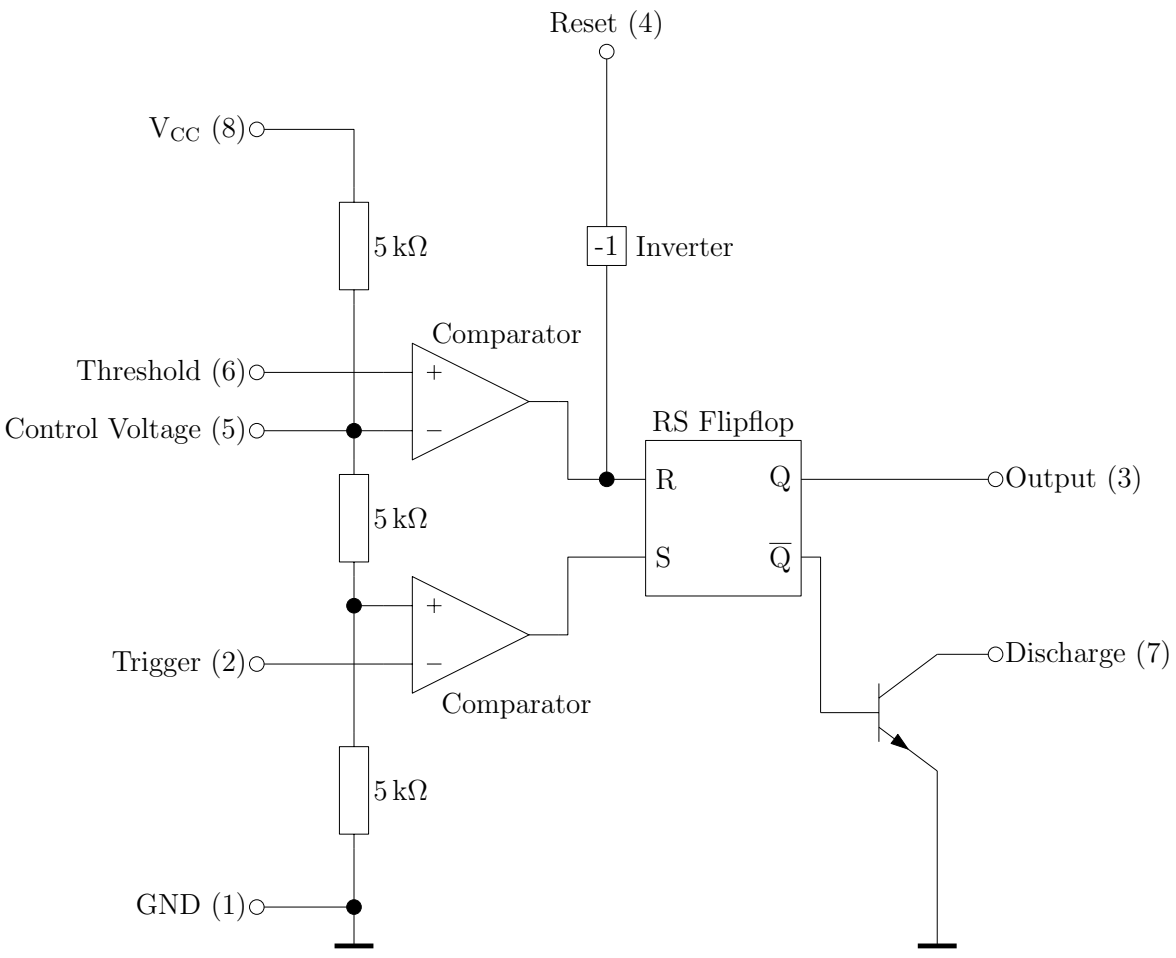



Abbildung 1.20: Innerer Aufbau des NE555

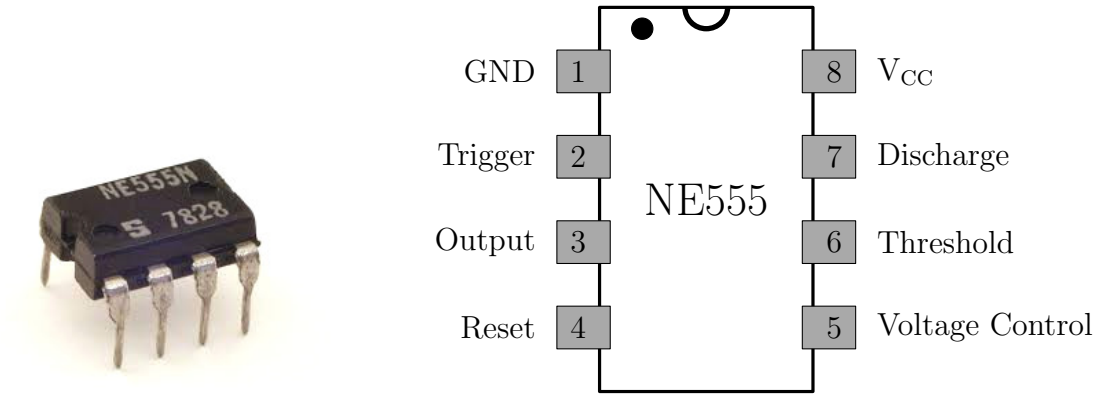



Abbildung 1.21: Links: Foto des Timers NE555, rechts: Pinbelegung

# 2 Experimente

## 2.1 Leuchtdioden, Vorwiderstände & Co

### 2.1.1 LED mit Vorwiderstand

In unserer ersten Schaltung bauen wir einen einfachen Stromkreis auf. Eine Leuchtdiode (LED) wird mit einem in Reihe geschalteten Vorwiderstand mit einer Batterie verbunden. Zusätzlich bauen wir einen Taster in den Stromkreis ein, so dass die LED nur bei Betätigen des Tasters aufleuchtet.

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.1 auf dem Steckbrett auf. Beachten Sie, dass die LED richtig herum angeschlossen ist. Die Kathode muss mit dem Minuspol der Batterie verbunden werden. Man erkennt die Kathode an dem kürzeren Anschlussbeinchen und dem abgeflachten Gehäuse, siehe Seite 15. Achten Sie außerdem darauf, dass Sie den Taster nicht versehentlich um 90° verdreht einbauen, siehe Seite 10.

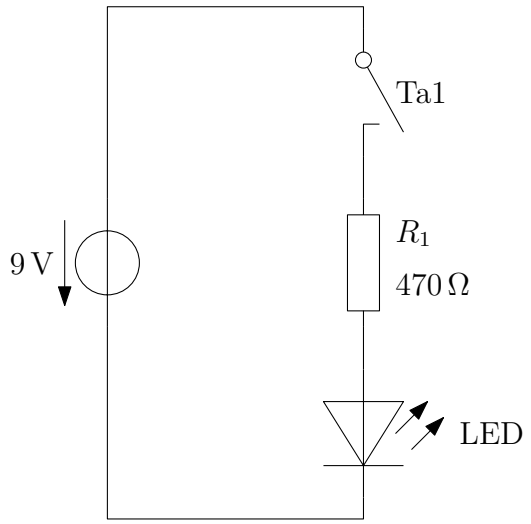



Abbildung 2.1: Experiment – LED mit Vorwiderstand

**Beobachtungen** Bei Betätigen des Tasters leuchtet die LED sofort auf, nach Loslassen des Tasters verlischt sie sofort wieder.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/P9ha-OhiD1A

### 2.1.2 LEDs in Durchlass- und Sperrrichtung

LEDs leuchten nur, wenn sie richtig herum gepolt sind. In diesem Experiment schalten wir zwei LEDs antiparallel zueinander. Das bedeutet, die LEDs sind parallel geschaltet, ihre Polaritäten zeigen jedoch in entgegengesetzte Richtung.

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.2 auf.

- Verbinden Sie die Batterie zunächst so mit der Schaltung, dass ihr Pluspol gemäß Abb. 2.2 „oben“ angeschlossen ist und ihr Minuspol „unten“.
- Polen Sie nun die Batterieanschlüssen um (Minuspol „oben“, Pluspol „unten“).

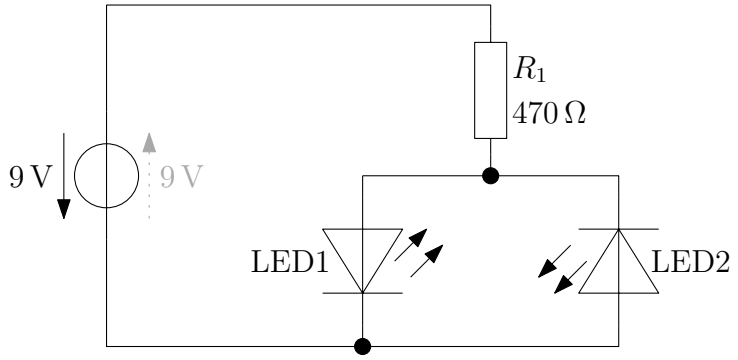



Abbildung 2.2: Experiment – LEDs in Durchlass- und Sperrrichtung

**Beobachtungen** Es leuchtet immer nur eine LED, nämlich jene, deren Kathode mit dem Minuspol der Batterie verbunden ist. Hierbei spielt es keine Rolle, ob sich zwischen Batterie und LED noch der Vorwiderstand befindet. **In einer Reihenschaltung spielt die Reihenfolge der Bauelemente keine Rolle!**

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/DS6x6QQBB0Q

**Achtung!** Eine LED geht kaputt, wenn sie in Sperrrichtung einer Spannung größer 5 V ausgesetzt ist! In unserem Experiment sind die LEDs parallel zueinander geschaltet, darum fällt an beiden die selbe Spannung ab. Da immer eine von ihnen leuchtet, fällt an ihnen die Flussspannung von ca. 2 V ab. Entfernen Sie jedoch die leuchtende LED aus der Schaltung, bleibt nur noch die in Sperrrichtung gepolte übrig. Wegen der Sperrrichtung kann kein Strom durch sie fließen, an dem Vorwiderstand fällt keine Spannung mehr ab und es liegen die vollen 9 V Batteriespannung an der LED. Danach leuchtet sie nie wieder.

### 2.1.3 Dioden in Durchlass- und Sperrrichtung

Auch Dioden leiten den Strom nur in eine Richtung.

**Versuchsaufbau** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.3 auf.

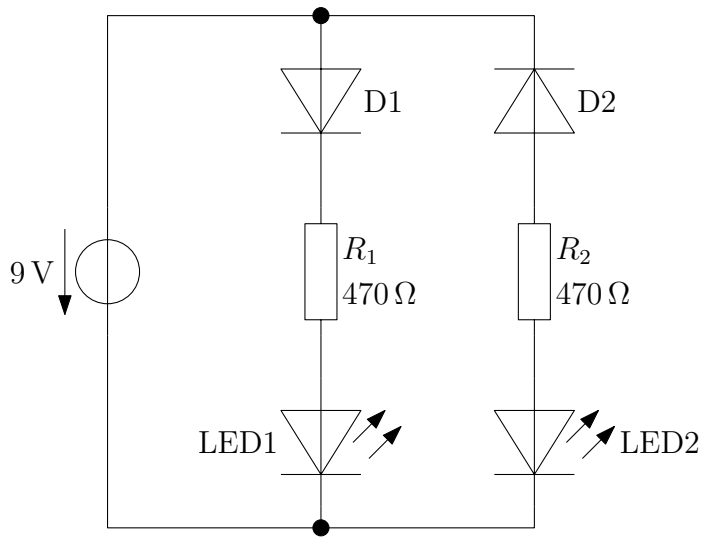



Abbildung 2.3: Experiment – Dioden in Durchlass- und Sperrrichtung

**Beobachtung** Nur LED1 leuchtet. Durch LED2 fließt kein Strom, da D1 in Sperrichtung gepolt ist.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/V76yjeaj1ds

**Achtung!** Polen Sie bei diesem Experiment die Batteriespannung nicht um! Die LED2 wäre in Sperrrichtung gepolt, der Strom durch $R_2$ wäre Null und es würde keine Spannung an ihm abfallen. Der Spannungsabfall an der LED2 entspräche der Batteriespannung abzüglich der Durchlassspannung der Diode D2: $9\,\mathrm{V} - 0,7\,\mathrm{V} = 8{,}3\,\mathrm{V}$, wodurch die LED2 kaputt ginge.

### 2.1.4 Reihenschaltung von Vorwiderständen

Der Gesamtwiderstand von in Reihe geschalteten Widerständen ist die Summe der Einzelwiderstandswerte!

**Versuchsaufbau** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.4 auf. Verwenden Sie Leuchtdioden roter Farbe.

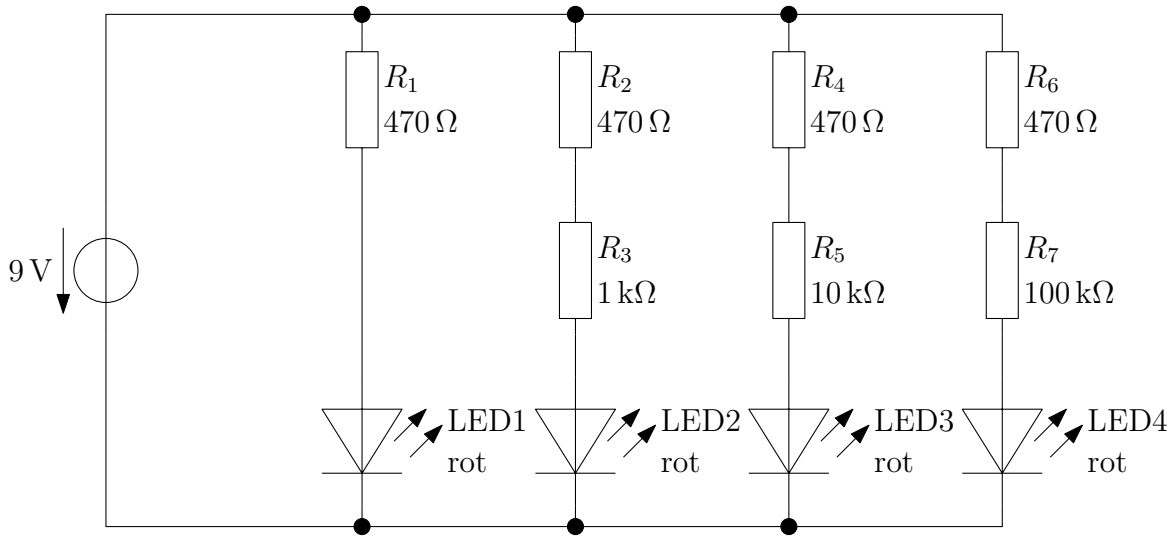



Abbildung 2.4: Experiment – LED mit Vorwiderständen in Reihe

**Beobachtung** LED1 leuchtet am hellsten, LED2 ist etwas dunkler, LED3 deutlich dunkler und LED4 am dunkelsten.

**Erklärung** An den leuchtenden LEDs fällt (nahezu) die identische Flussspannung $U_\mathrm{F} \approx 2\,\mathrm{V}$ ab. Da sich die Widerstandswerte der in Reihe geschalteten Widerstände addieren, wird der Vorwiderstand der LEDs von links nach rechts immer größer. An den Vorwiderständen fällt (nach dem kirchhoffschen Maschensatz) jeweils die Spannung 7 V ab. Dadurch fließen durch die LEDs die folgenden Ströme:

$$\begin{aligned}
\mathrm{LED1}: \quad I_1 &= \frac{7\,\mathrm{V}}{470\,\Omega} = 15\,\mathrm{mA} \\
\mathrm{LED2}: \quad I_2 &= \frac{7\,\mathrm{V}}{1470\,\Omega} = 5\,\mathrm{mA} \\
\mathrm{LED3}: \quad I_3 &= \frac{7\,\mathrm{V}}{10470\,\Omega} = 0{,}7\,\mathrm{mA} \\
\mathrm{LED4}: \quad I_4 &= \frac{7\,\mathrm{V}}{100470\,\Omega} = 0{,}07\,\mathrm{mA}
\end{aligned}$$

Die Helligkeit einer LED ist proportional zum elektrischen Strom, der durch sie fließt.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/8RPEih2Ymqk

### 2.1.5 Potentiometer in Reihe zum Vorwiderstand

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.5 auf. Verdrehen Sie das Potentiometer.

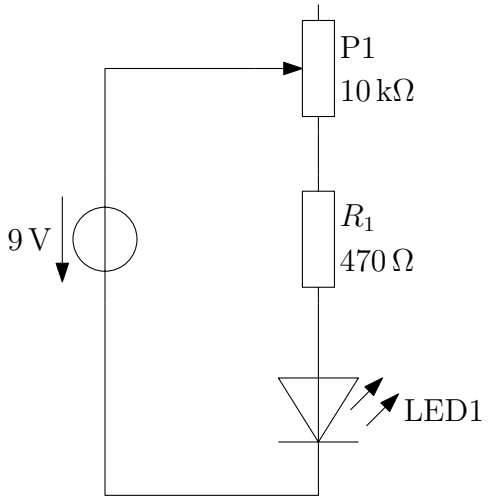



Abbildung 2.5: Experiment – Potentiometer in Reihe zum Vorwiderstand

**Beobachtung** Die Helligkeit der LED ändert sich mit dem Drehwinkel des Potentiometers, wobei die LED nie ganz verlischt.

**Erklärung** Gemäß Abb. 2.5 ist der „untere Teil“ des Potentiometers in Reihe zum Widerstand $R_1$ geschaltet, $R_1$ und der untere Teil von P1 bilden also den Vorwiderstand $R_\mathrm{V}$ von LED1. Je nach Drehwinkel von P1 liegt $R_\mathrm{V}$ im Bereich
$470\,\Omega \leq R_\mathrm{V} \leq 10470\,\Omega$.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/cUQtCMgbpzg

### 2.1.6 Potentiometer als Spannungsteiler

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.6 auf. Verdrehen Sie das Potentiometer.

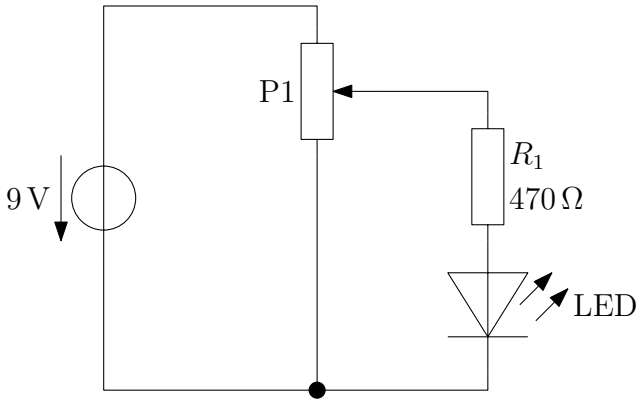



Abbildung 2.6: Experiment – Potentiometer als Spannungsteiler

**Beobachtung** Die Helligkeit der LED ändert sich mit dem Drehwinkel des Potentiometers, wobei jeder Helligkeitswert von Dunkelheit bis zur vollen Leuchtstärke einstellbar ist.

**Erklärung** Die LED und ihr Vorwiderstand erhalten ihre Versorgungsspannung über den Schleifdraht des Potentiometers. Ist dieser Schleifdraht nach Abb. 2.6 „ganz oben" am Widerstandskörper des Potis, so ist er direkt mit dem Pluspol der Batterie verbunden. Der Zweig aus $R_1$ und LED erhält die volle Batteriespannung, die LED leuchtet mit maximaler Helligkeit. Für den Fall, dass der Schleifdraht auf die Position „ganz unten" eingestellt ist, sind beide Seiten des $R_1$-LED-Zweigs mit dem Minuspol der Batterie verbunden, es fällt also gar keine Spannung über dem Zweig ab. Die LED bleibt dunkel. Beim Verstellen des Potentiometers kann an $R_1$–LED jeder beliebige Spannungswert zwischen 0 V und 9 V eingestellt werden. Diese Eigenschaft des Potentiometers wir oft in elektronischen Schaltungen genutzt.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/QEuQAiEOA_0

### 2.1.7 Fotowiderstand in Reihe zum Vorwiderstand

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.7 auf. Verändern Sie die Lichtintensität am Fotowiderstand.

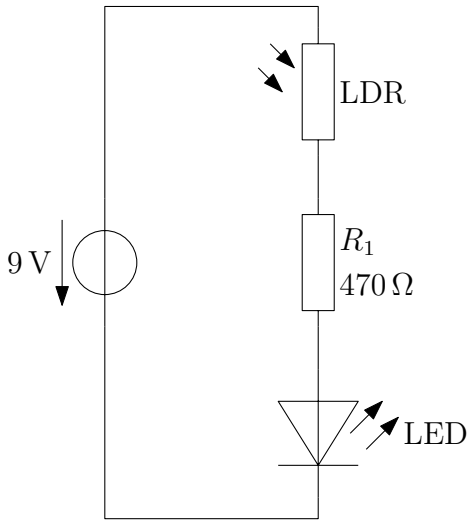



Abbildung 2.7: Experiment – Fotowiderstand in Reihe zum Vorwiderstand

**Beobachtung** Je größer die Lichtintensität am Fotowiderstand, desto heller leuchtet die LED.

**Erklärung** Mit zunehmender Beleuchtung nimmt der Widerstandswert von LDR ab. Der gesamte Vorwiderstand der LED wird also kleiner.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/znw29I2FpI0

### 2.1.8 Parallelschaltung von Vorwiderständen

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.8 auf. Vergleichen Sie die Leuchtstärken der LEDs.

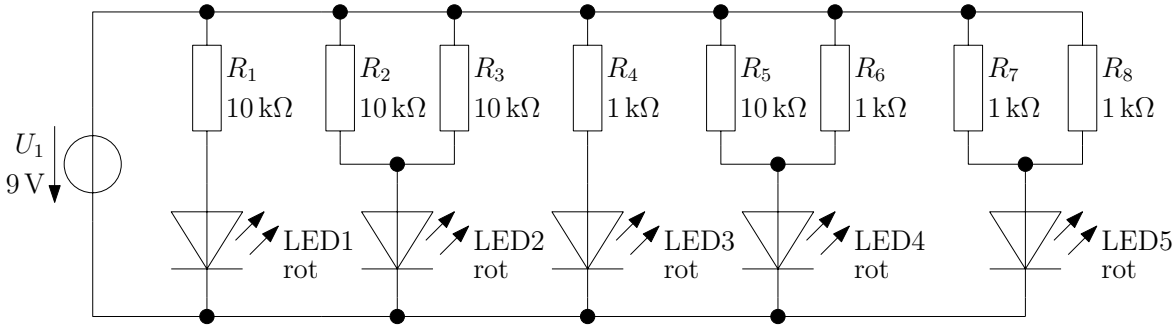



Abbildung 2.8: Experiment – LED mit parallel geschalteten Vorwiderständen

**Beobachtung** Die Leuchtdioden werden von links nach rechts heller.

**Erklärung** Eine LED leuchtet heller, wenn ein größerer Strom durch sie fließt. Dies passiert bei kleinerem Vorwiderstand. Bei der Parallelschaltung von Widerständen werden dem Strom zusätzliche Pfade eröffnet. **Darum ist der Gesamtwiderstand einer Parallelschaltung immer kleiner als jeder einzelne Widerstandswert der beteiligten Bauteile!**

Der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung **zweier** Widerstände $R_\mathrm{a}$ und $R_\mathrm{b}$ berechnet sich mit

$$R_\mathrm{ges} = \frac{R_\mathrm{a} \cdot R_\mathrm{b}}{R_\mathrm{a} + R_\mathrm{b}}.$$

In unserem Beispiel gilt also

$$\begin{aligned}
R_1 &= 10\,\mathrm{k\Omega} \\
> R_2 = 10\,\mathrm{k\Omega} \parallel R_3 = 10\,\mathrm{k\Omega} = \frac{10\,\mathrm{k\Omega} \cdot 10\,\mathrm{k\Omega}}{10\,\mathrm{k\Omega} + 10\,\mathrm{k\Omega}} &= 5\,\mathrm{k\Omega} \\
> R_4 &= 1\,\mathrm{k\Omega} \\
> R_5 = 10\,\mathrm{k\Omega} \parallel R_6 = 1\,\mathrm{k\Omega} = \frac{10\,\mathrm{k\Omega} \cdot 1\,\mathrm{k\Omega}}{10\,\mathrm{k\Omega} + 1\,\mathrm{k\Omega}} &= 0{,}91\,\mathrm{k\Omega} \\
> R_7 = 1\,\mathrm{k\Omega} \parallel R_8 = 1\,\mathrm{k\Omega} = \frac{1\,\mathrm{k\Omega} \cdot 1\,\mathrm{k\Omega}}{1\,\mathrm{k\Omega} + 1\,\mathrm{k\Omega}} &= 0{,}5\,\mathrm{k\Omega}
\end{aligned}$$

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/1y6uymbNHeY

### 2.1.9 Parallelschaltung von gleichfarbigen LEDs mit gemeinsamem Vorwiderstand

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.9 so auf dem Steckbrett auf, dass Sie zunächst nur LED1 anschließen. Ergänzen Sie die Schaltung im Betrieb schrittweise um LED2 bis LED4.

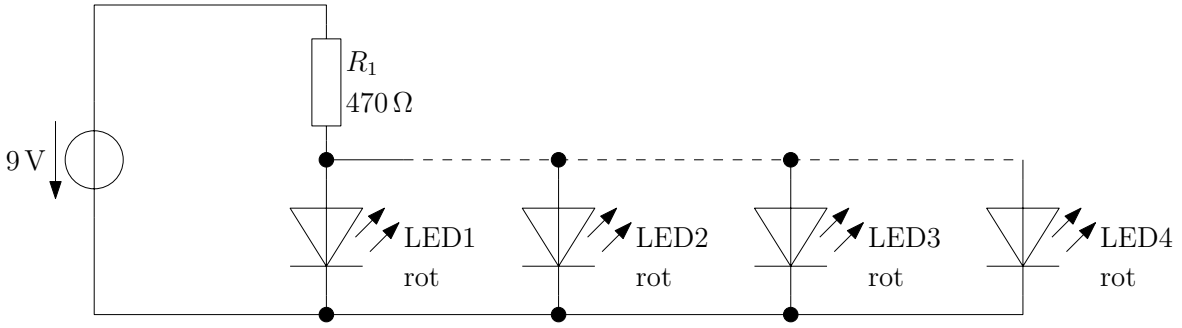



Abbildung 2.9: Experiment – Parallelschaltung von LEDs

**Beobachtung** LED1 leuchtet zunächst mit voller Intensität. Mit jeder zusätzlich hinzugefügten LED nimmt die Leuchtstärke jedoch ab, wobei alle angeschlossenen LEDs die gleiche Intensität aufweisen.

**Erklärung** Die roten LEDs besitzen eine Flussspannung von etwa $U_\mathrm{F} = 2\,\mathrm{V}$. Dadurch ist der Spannungsabfall an $R_1$ immer 7 V, durch den Widerstand fließen also immer $I = \frac{7\,\mathrm{V}}{470\,\Omega} = 15\,\mathrm{mA}$, egal wie viele LEDs angeschlossen sind. Diese 15 mA teilen sich nun auf die angeschlossenen LEDs auf. Je mehr LEDs angeschlossen sind, umso kleiner ist der Stromfluss durch jede LED.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/Lej1g2VLlIQ

### 2.1.10 Parallelschaltung von ungleichfarbigen LEDs mit gemeinsamem Vorwiderstand

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.10 so auf dem Steckbrett auf, dass Sie zunächst alle LEDs anschließen. Achten Sie auf die richtigen Farben! Entfernen Sie nun im laufenden Betrieb nacheinander die LEDs „rot“, „gelb“ und „grün“.

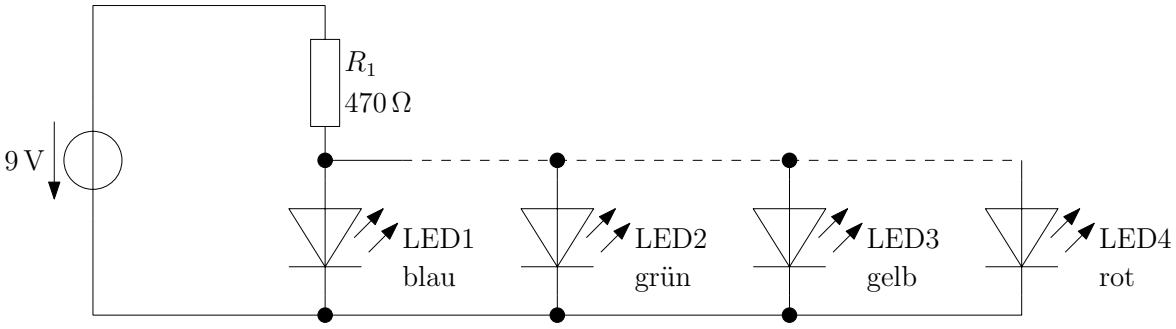



Abbildung 2.10: Experiment – Parallelschaltung von LEDs

**Beobachtung** Zunächst leuchten nur LEDs „rot“ und „gelb“. „grün“ und „blau“ sind dunkel. Nach Entfernen von „rot“ leuchtet „gelb“ weiter, „grün“ und „blau“ sind weiterhin dunkel. Nach dem Entfernen von „gelb“ beginnen „grün“ und „blau“ plötzlich zu leuchten. Das Entfernen von „grün“ hat nur noch zur Folge, dass „blau“ heller leuchtet.

**Erklärung** Das Geheimnis dieses merkwürdigen Verhaltens steckt in den unterschiedlichen Flussspannungen der verschiedenfarbigen LEDs. Während rote und grüne LEDs eine Flussspannung von etwa 2 V besitzen, benötigen grüne und blaue LEDs einen Spannungsabfall von 4 V, um zu leuchten.

Solange „rot“ und „gelb“ noch angeschlossen sind, sorgen sie dafür, dass der Spannungsabfall über der Parallelschaltungen der vier LEDs etwa 2 V beträgt. Für „rot“ und „gelb“ genügt diese Spannung zum Leuchten, für „grün“ und „blau“ ist sie allerdings zu klein. Erst nach Entfernen von „rot“ und „gelb“ stellt sich an den verbliebenen LEDs die höhere Flussspannung von ca. 4 V ein und die können leuchten. Der Strom durch $R_1$ beträgt hierbei $I = \frac{5\,\mathrm{V}}{470\,\Omega} = 10\,\mathrm{mA}$ und teilt sich auf die beiden LEDs auf. Nach Entfernen der grünen LED fließen diese 10 mA komplett durch die blaue LED, die darum heller Leuchtet als in Kombination mit „grün“.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/24aEE7Rt2ac

### 2.1.11 Parallelschaltung von LEDs mit separaten Vorwiderständen

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.11 auf. Achten Sie auf die Farben der LEDs.

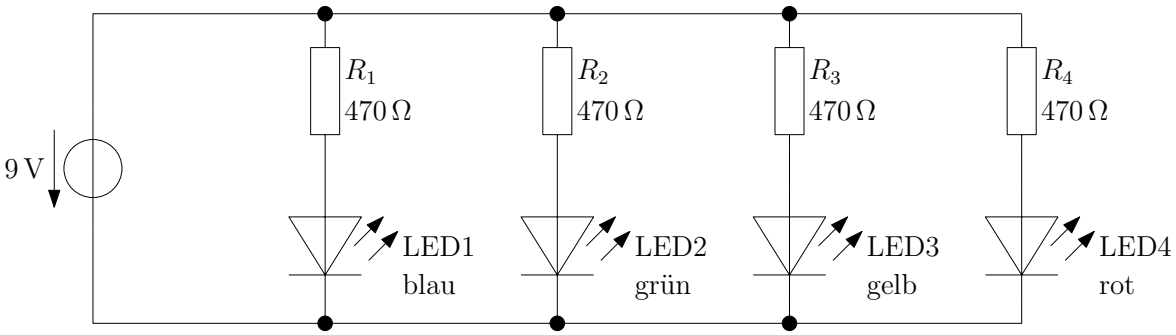



Abbildung 2.11: Experiment – Parallelschaltung von LEDs

**Beobachtung** Dieses mal leuchten alle vier LEDs.

**Erklärung** Da jede LED einen eigenen Vorwiderstand besitzt, sind die einzelnen Zweige der Parallelschaltung unabhängig voneinander. Die Batterie sorgt dafür, dass über jedem Zweig eine Spannung von 9 V abfällt und kann außerdem genug Strom für die gesamte Schaltung liefern.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/1FkCrq1EhKI

### 2.1.12 Kondensator als Energiespeicher

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.12 auf. Verwenden Sie zunächst nur einen Kondensator und achten Sie auf dessen Polung (siehe Seite 19). Betätigen Sie den Taster für einige Sekunden und beobachten Sie die LED. Lassen Sie den Taster wieder los und beobachten Sie weiterhin die LED. Wiederholen Sie das Experiment nachdem Sie einen zweiten Kondensator angeschlossen haben.

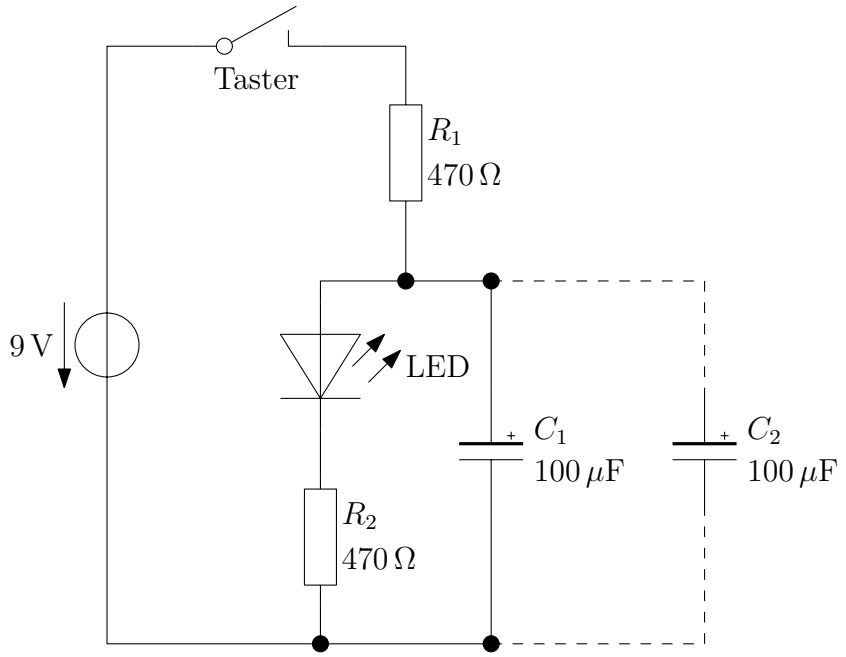



Abbildung 2.12: Experiment – Kondensator als Energiespeicher

**Beobachtung** Nach Betätigen des Tasters benötigt die LED eine gewisse Zeit, bis sie mit voller Intensität leuchtet. Nach Loslassen des Tasters leuchtet sie für eine Weile weiter, wobei sie allmählich dunkler wird. Nach Anschließen des zweiten Kondensators dauern beide Vorgänge (heller und dunkler werden) länger.

**Erklärung** Der Kondensator kann wie ein Akku Energie speichern. Wird der Taster gedrückt, wird der Kondensator aufgeladen. Der Spannungsabfall an ihm ist abhängig von der Ladungsmenge $Q$, die bereits in ihn geflossen ist: $U_C = \frac{Q}{C}$. Während sich der Kondensator lädt, steigt also der Spannungsabfall an ihm. Diese Spannung fällt auch an der Reihenschaltung LED-$R_2$ ab. Da die Spannung erst allmählich steigt, wird die LED erst mit der Zeit heller.
Wird der Taster losgelassen ist die Batterie von der Schaltung getrennt. Der Kondensator ist jedoch noch immer auf eine Spannung aufgeladen und kann die LED mit seiner gespeicherter gespeicherten Ladungsmenge noch eine Weile mit Strom versorgen. Während dieses Entladevorgangs nimmt die Kondensatorspannung stetig ab, wodurch die

LED auch kontinuierlich dunkler wird.
Schaltet man zwei Kondensatoren parallel, so addieren sich ihre Kapazitäten, sie können also gemeinsam eine größere Ladungsmenge speichern. Entsprechend benötigen sowohl der Auflade- als auch der Entladevorgang die doppelte Zeit.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/yhpPsXTMSRU

## 2.2 Nutzung des Bipolartransistors

### 2.2.1 Verhalten des Bipolartransistors

In diesem Experiment lernen Sie das Verhalten des NPN-Bipolartransistors kennen. In den Schaltungen dieses Abschnitts werden wir das Bauteil ausschließlich als Schalter verwenden. Damit der Transistor einen Strom „von oben nach unten“ (vom Kollektor zum Emitter) leiten kann, muss eine Spannung $U_{\mathrm{BE}}$ zwischen Basis und Emitter von ca. 0,7 V abfallen. Für $U_{\mathrm{BE}} < 0{,}7\,\mathrm{V}$ sperrt der Transistor, er verhält sich wie ein offener Schalter.
In der Schaltung in Abb. 2.13 wird mit dem Potentiometer $\mathrm{P}_1$ die Spannung an der Basis eingestellt. Da wir daran interessiert sind, wie sich der Transistor verhält, wenn $U_{\mathrm{BE}} \approx 0{,}7\,\mathrm{V}$ ist, führen wir LED2 ein. An der roten LED fallen im Betrieb ca. 2 V ab, dadurch können wir mit $\mathrm{P}_1$ die Spannung maximal im Bereich $0\,\mathrm{V} \leq U_{\mathrm{BE}} \leq 2\,\mathrm{V}$ einstellen.

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung gemäß Abb. 2.13 auf. Verstellen Sie den Drehknopf am Potentiometer $\mathrm{P}_1$ und beobachten Sie die Helligkeit von LED1.

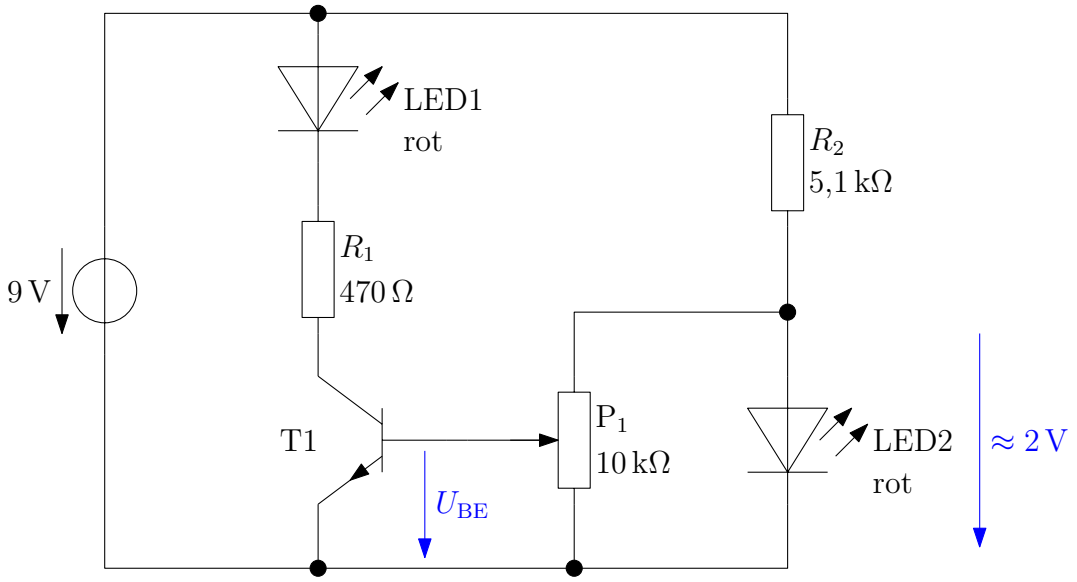



Abbildung 2.13: Experiment – Verhalten des Bipolartransistors

**Beobachtung** LED1 bleibt zunächst dunkel. Ab einem bestimmten Drehwinkel des Potentiometers beginnt die LED heller zu werden und leuchtet nach dem weiteren Verdrehen um wenige Grad mit voller Intensität. Für den Rest des Drehweges ändert sich nichts mehr an der Helligkeit der LED1.

**Erklärung** Der Transistor verhält sich wie ein Schalter. Bei ausreichend kleinen Spannungen $U_{\mathrm{BE}}$ ist der Schalter geöffnet, bei ausreichend großen Spannungen $U_{\mathrm{BE}}$ ist er geschlossen. Interessant (aber hier noch nicht behandelt) ist der Bereich, in dem die LED1 allmählich heller wird. Er wird „Verstärkungsbereich“ genannt, hier ist der Kollektorstrom $I_{\mathrm{K}}$ um einem festen Faktor $\beta$ größer als der Basisstrom $I_{\mathrm{B}}$: $I_{\mathrm{K}} = \beta \cdot I_{\mathrm{B}}$ (siehe Abb. 2.13 auf Seite 43). Betreibt man einen Transistor in diesem Bereich, kann man z.B. Audioverstärkerschaltungen mit ihm realisieren.
Irgendwann kann der Kollektorstrom $I_{\mathrm{K}}$ nicht weiter ansteigen, da er von der äußeren Beschaltung (LED1 und $R_1$) begrenzt wird. Wir sagen: „Der Transistor befindet sich in Sättigung“. Er verhält sich nun wie ein geschlossener Schalter.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/rmPFQ8HpmZI

### 2.2.2 Durchgangsprüfer

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.14 auf. Die beiden eingezeichneten Anschlussklemmen realisieren Sie, indem Sie zwei längere Experimentierkabel einseitig mit dem Steckbrett verbinden. Nun können Sie verschiedene Gegenstände und Materialien auf ihre elektrische Leitfähigkeit hin überprüfen, indem Sie sie mit den beiden freien Kabelenden berühren. Testen Sie auch die Leitfähigkeit Ihres eigenen Körpers, indem sie die Kabelenden in die linke und rechte Hand nehmen. Wiederholen Sie den Versuch mit feuchten Fingern. (Die 9 V der Batterie sind für Sie völlig ungefährlich.)

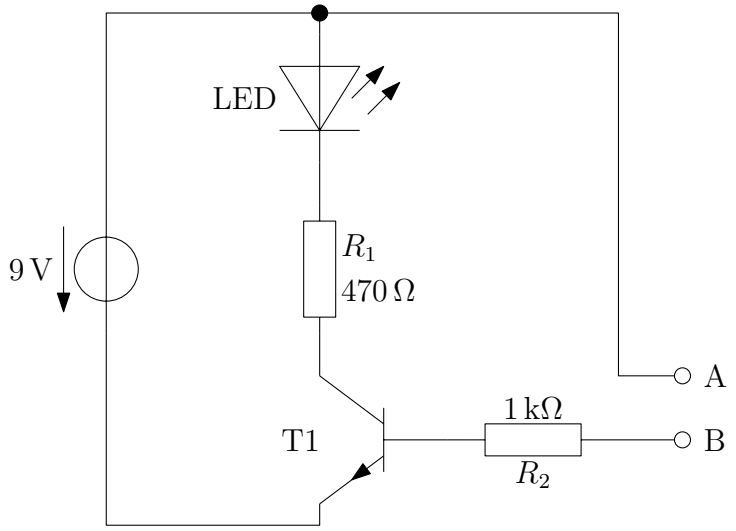



Abbildung 2.14: Experiment – Durchgangsprüfer

**Beobachtung** Bereits eine geringe Leitfähigkeit der untersuchten Materialien genügt, um die LED zum Leuchten zu bringen.

**Erklärung** Damit der Transistor leitet, muss nur ein geringer Strom in seinen Basis-Anschluss fließen: $I_K = \beta \cdot I_B$. Darum genügt es bereits, wenn ein Gegenstand mit geringer Leitfähigkeit an A und B angeschlossen wird. Der Widerstand $R_2$ hat die Aufgabe, den Basisstrom zu begrenzen, damit der Transistor nicht beschädigt wird.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/Qim57Ir0WZM

### 2.2.3 Taglicht

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.15 auf. Halten Sie den Fotowiderstand LDR abwechselnd ins Licht und decken Sie ihn mit dem Finger ab.

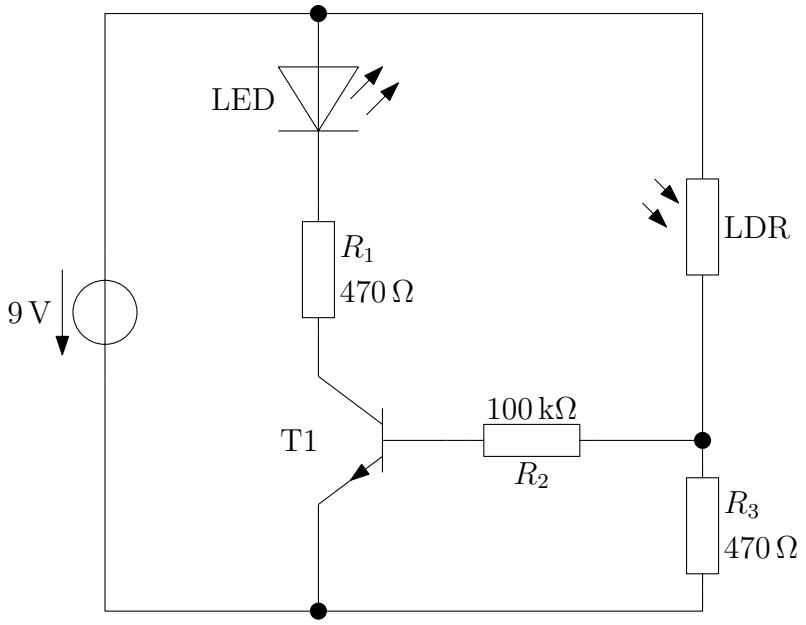



Abbildung 2.15: Experiment – Taglicht

**Beobachtung** Fällt ausreichend Licht auf den LDR, leuchtet die Leuchtdiode. Wird der LDR beschattet, bleibt die LED dunkel.

**Erklärung** Der LDR und der Widerstand $R_3$ bilden einen Spannungsteiler. Die Batteriespannung von 9 V teilt sich proportional zu den Widerstandswerten der Bauelemente über diesen auf. Bei geringen Lichteinfall ist der Widerstandswert des LDR sehr groß im Vergleich zu $R_3$, fast die komplette Batteriespannung fällt am LDR ab, der Spannungsabfall an $R_3$ ist sehr klein. Dadurch ist die Basis-Emitter-Spannung $U_{\mathrm{BE}}$ an T1 auch sehr klein, der Transistor sperrt.

Mit zunehmender Beleuchtungsintensität nimmt der Widerstandswert des LDR immer weiter ab. Gemäß der Spannungsteilerregel sinkt der Spannungsabfall am LDR, an $R_3$ steigt die Spannung. Irgendwann ist der Spannungsabfall an $R_3$ und in Folge dessen auch $U_{\mathrm{BE}}$ so groß, dass T1 eingeschaltet wird, die LED leuchtet.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/j57fEUqQwo4

### 2.2.4 Nachtlicht

Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.16 auf. Halten Sie den Fotowiderstand LDR abwechselnd ins Licht und decken Sie ihn mit dem Finger ab.

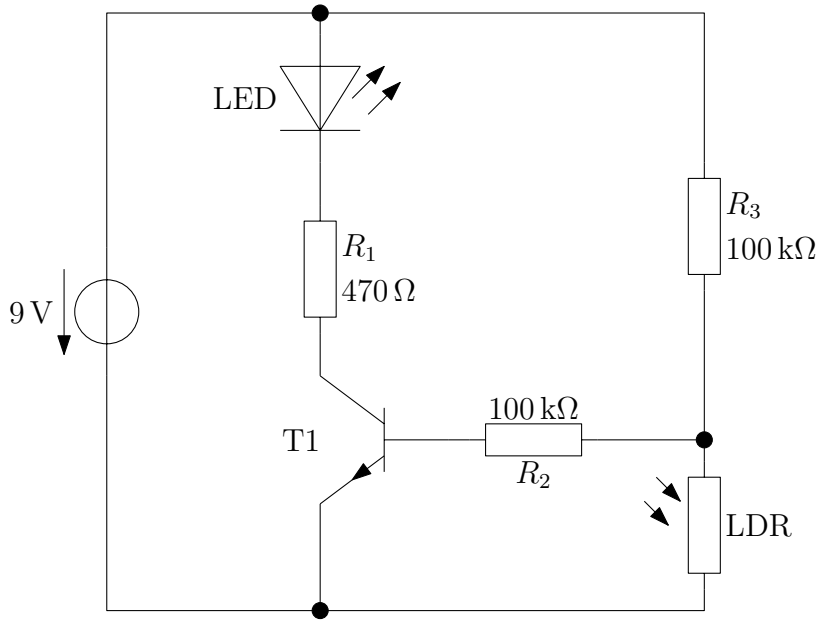



Abbildung 2.16: Experiment – Nachtlicht

**Beobachtung** Fällt ausreichend Licht auf den LDR, bleibt die LED dunkel. Wird der LDR beschattet, leuchtet die Leuchtdiode.

**Erklärung** Der LDR und der Widerstand $R_3$ bilden einen Spannungsteiler. Die Batteriespannung von 9 V teilt sich proportional zu den Widerstandswerten der Bauelemente über diesen auf. Bei geringen Lichteinfall ist der Widerstandswert des LDR sehr groß im Vergleich zu $R_3$, fast die komplette Batteriespannung fällt am LDR ab, der Spannungsabfall an $R_3$ ist sehr klein. Der große Spannungsabfall am LDR schaltet den Transistor T1 ein, die LED leuchtet.

Mit zunehmender Beleuchtungsintensität nimmt der Widerstandswert des LDR immer weiter ab. Gemäß der Spannungsteilerregel sinkt der Spannungsabfall am LDR, so dass T1 ausgeschaltet wird, mit ihm die LED.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/AGfhf0AsFSM

### 2.2.5 Ausschaltverzögerung

Bereits im Experiment 2.1.12 (Kondensator als Energiespeicher) haben wir einen Kondensator verwendet, um das Verlöschen einer Leuchtdiode zu verzögern. Hierbei nutzten wir einen Kondensator als Energiequelle zum Betreiben der LED. Es dauerte aber nicht besonders lange, bis der Energievorrat des Kondensators erschöpft war. Mit Hilfe eines Transistors lässt sich eine cleverere Schaltung aufbauen.

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.17 auf. Drücken Sie den Taster und lassen sie ihn wieder los.

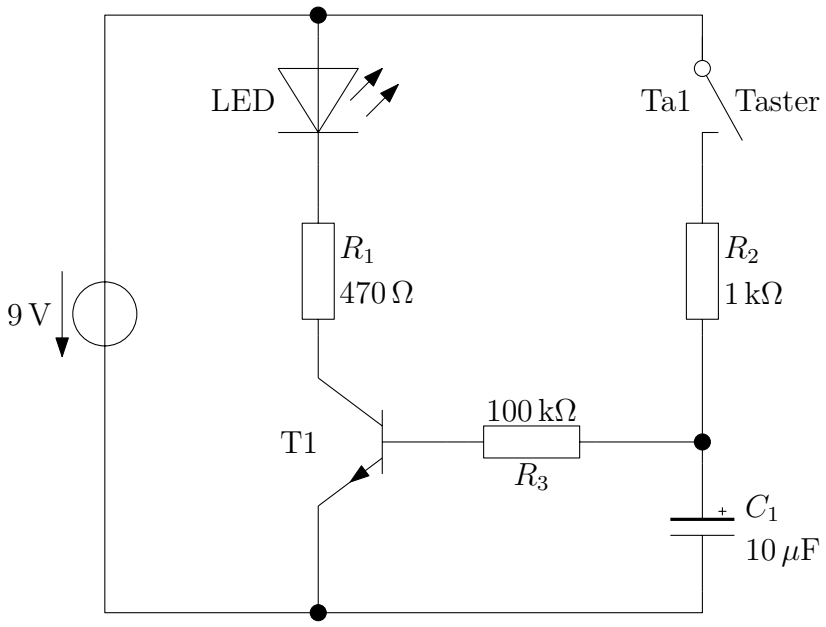



Abbildung 2.17: Experiment – Ausschaltverzögerung

**Beobachtung** Obwohl wir einen Kondensator mit viel kleinerer Kapazität verwenden als in Experiment 2.1.12, leuchtet die LED nach Loslassen des Tasters deutlich länger nach.

**Erklärung** Die LED wird beim Leuchten die ganze Zeit von der Batterie mit Energie versorgt. Wird der Taster gedrückt, fließt ein Strom in die Basis des Transistors und schaltet diesen ein. Außerdem wird der Kondensator aufgeladen. Nach Öffnen des Tasters wird der Kondensator über $R_3$ und T1 entladen. Durch den hohen Wert von $R_3$ ist der Entladestrom nicht besonders groß. Durch die hohe Stromverstärkung von T1 kann ein ausreichend großer Strom durch die LED, $R_1$ und T1 fließen, so dass die LED weiter leuchtet, bis die Kondensatorspannung auf unter 0,7 V gefallen ist.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/hrL-7X-fjsw

### 2.2.6 Alarmschaltung

Nun bauen wir eine sehr simple Alarmanlage.

**Versuchsaufbau und-durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.18 auf. Der blau eingezeichnete Draht stellt die Alarmschleife dar. Wird dieser Draht unterbrochen, wird Alarm ausgelöst.

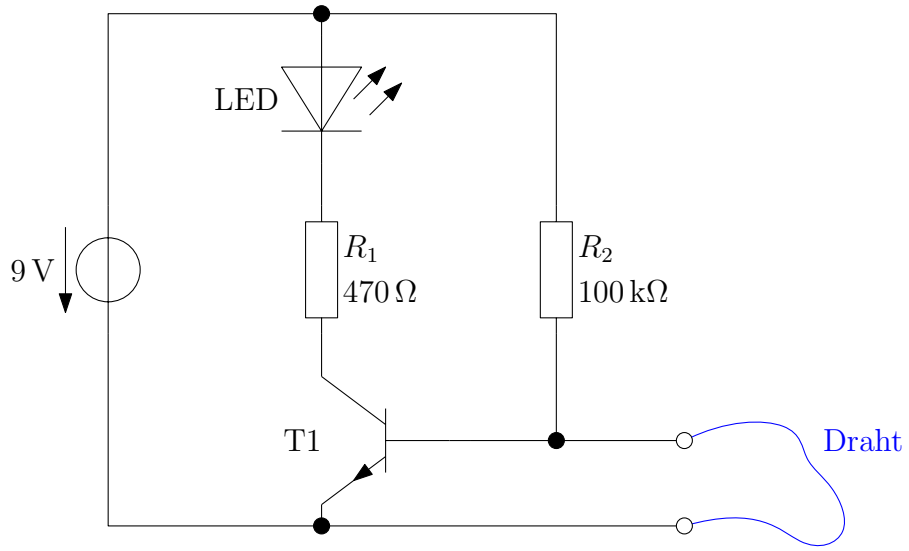



Abbildung 2.18: Experiment – Alarmschaltung

**Beobachtung** Sobald der Alarmdraht unterbrochen wird, beginnt die LED zu leuchten. Wird der Kontakt wieder hergestellt, erlischt die LED.

**Erklärung** Solange der Draht angeschlossen ist, schließt er den Basis- und Emitteranschluss des Transistors T1 kurz. Die Basis-Emitter-Spannung ist also definitiv Null $U_{\mathrm{BE}} = 0\,\mathrm{V}$! T1 kann nicht leiten.

Wird der Draht unterbrochen, kann über $R_2$ ein Strom in die Basis fließen, T1 beginnt zu leiten, die LED leuchtet.

Stellt man den Drahtkontakt wieder her, ist $U_{\mathrm{BE}} = 0$ und T1 sperrt wieder.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/bzdKeTQCWjg

### 2.2.7 Alarmschaltung mit Gedächtnis

Ein Alarmanlage soll auslösen, wenn z. B. ein Türkontakt geöffnet wird. Nun wäre es unpraktisch, wenn der Alarm bereits durch Schließen der Tür verstummen würde. Darum bauen wir nun eine Alarmschaltung mit Gedächtnis.

**Versuchsaufbau, -durchführung und Beobachtung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.19 auf. Wird der eingezeichnete Draht unterbrochen, beginnt die LED zu leuchten. Wird die Verbindung des Drahtes wieder hergestellt, leuchtet die LED weiter. Erst ein Drücken des Tasters Ta1 bringt die LED zu verlöschen.

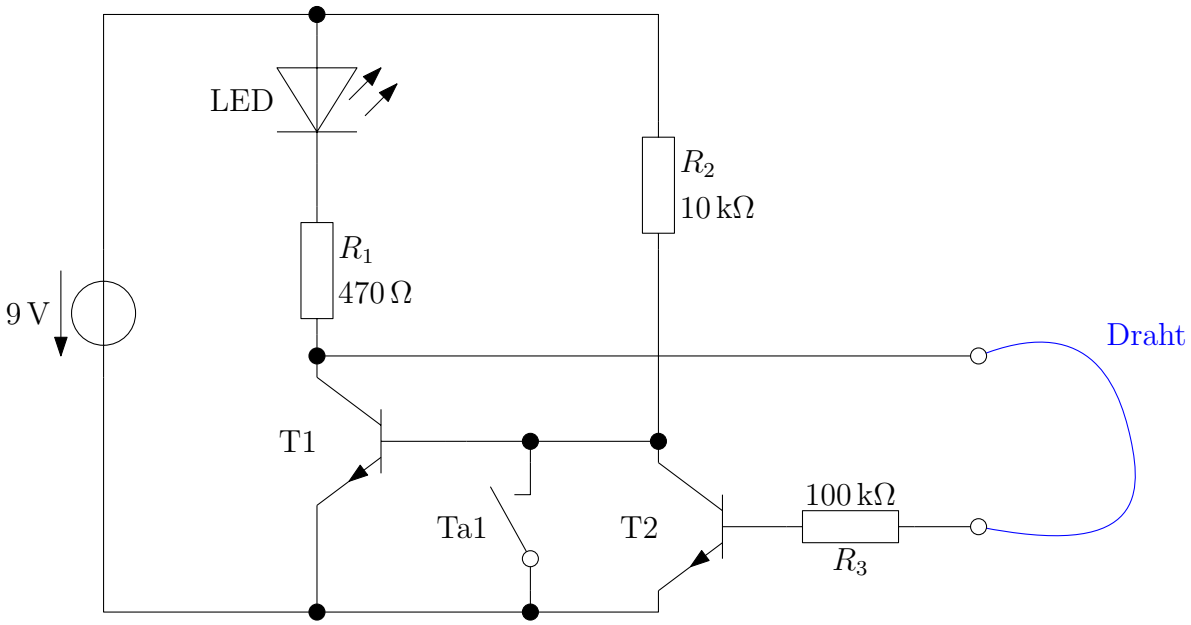



Abbildung 2.19: Experiment – Alarmschaltung mit Gedächtnis

**Erklärung** Solange kein Alarm ausgelöst wurde und die Drahtverbindung geschlossen ist, kann ein kleiner Strom in die Basis von T2 fließen. Dieser Strom nimmt den Weg LED – $R_1$ – Draht – $R_3$ und sorgt dafür, dass sich T2 wie ein geschlossener Schalter verhält. Dadurch wiederum ist die Basis von T1 mit dem Emitter von T1 verbunden, T1 sperrt also.

Wird nun der Draht unterbrochen, fließt kein Strom mehr in die Basis von T2 und T2 sperrt. Nun kann über $R_2$ ein Strom in die Basis von T1 fließen, der daraufhin einschaltet, die LED beginnt zu leuchten.

Dadurch dass T1 nun leitet, ist der Anschlusspunkt des Drahtes zwischen $R_1$ und T1 mit dem Minuspol der Batterie verbunden. Wird der Drahtkontakt wieder geschlossen,

kann dieses mal kein Strom in die Basis von T2 fließen und T2 kann T1 nicht ausschalten. Erst ein kurzzeitiges Schließen von Ta1 sorgt dafür, dass T1 nicht mehr leitet. Die LED verlischt, der ursprüngliche Zustand ist wieder hergestellt.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/0sTWJZhIrk4

Im Folgenden werden wir Logikschaltungen betrachten. Diese bilden die Grundlage moderner Computertechnologie. Jeder Computerchip besteht als Millionen solcher Grundschaltungen. Eine Logikoperation erzeugt aus zwei Eingangssignalen (hier die Schaltzustände zweier Taster) ein Ausgangssignal (hier das Leuchten einer LED).

### 2.2.8 Logikschaltung — AND

Die logische Verknüpfung „AND“ (und) erzeugt ein aktives Ausgangssignal, wenn *beide* Eingangssignale aktiv sind. Tabelle 2.1 zeigt die Zuordnung der Eingangssignale zum Ausgangssignal.

| Eingang 1 | Eingang 2 | Ausgang |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Tabelle 2.1: Zuordnungstabelle der AND-Verknüpfung. Bei den Eingängen repräsentiert „0“ einen geöffneten Schalter und „1“ einen geschlossenen. Am Ausgang bedeutet „0“, dass die LED dunkel beibt, bei „1“ leuchtet sie.

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.20 auf. Beobachten Sie die LED und gehen Sie mit Ta1 und Ta2 alle Schaltzustände gemäß Tabelle 2.1 durch.

**Beobachtung** Das Leuchten der LED hängt von den Taster-Zuständen gemäß Tabelle 2.1 ab.

**Erklärung** Damit die LED leuchtet, müssen beide Transistoren T1 und T2 eingeschaltet werden.
Betrachten wir T1: Solange der Taster Ta1 geöffnet ist, ist die Basis des Transistors über $R_2$ und $R_4$ mit dem Minuspul der Batterie verbunden. T1 sperrt also. Wird der Taster Ta1 jedoch geschlossen, kann über Ta1 und $R_2$ ein Strom in die Basis von T1 fließen und den Transistor einschalten.
Die gleiche Überlegung kann man für T2 anstellen.

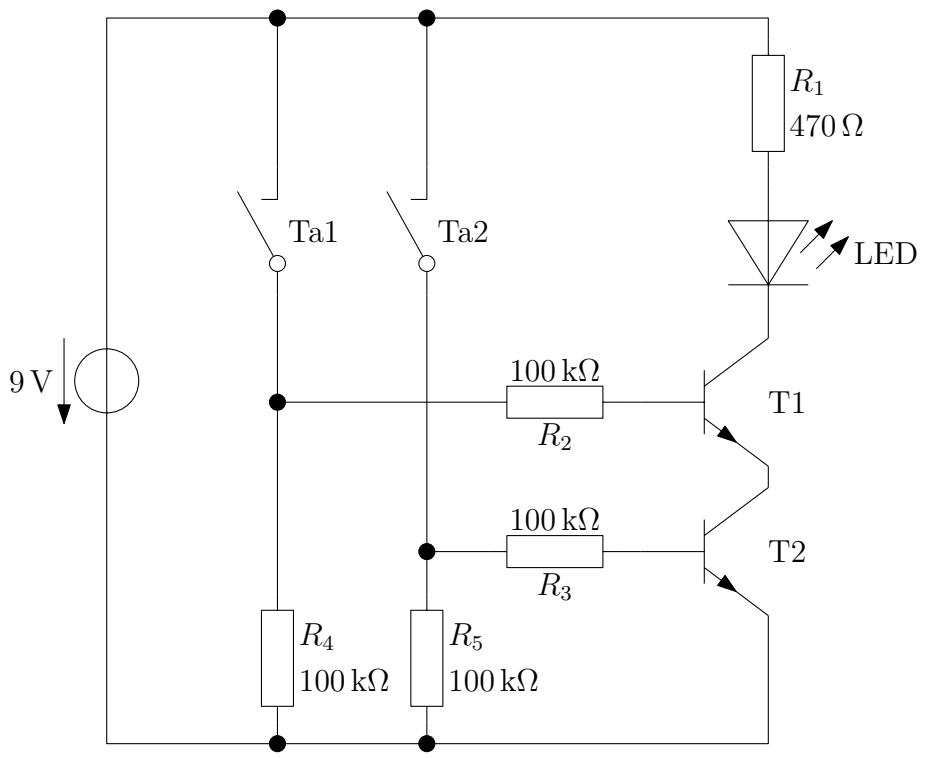



Abbildung 2.20: Experiment – Logikschaltung „AND“ (und)

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/9L8-xOXXcY4

### 2.2.9 Logikschaltung — OR

Der „OR“ (oder) - Verknüpfung genügt es, wenn ein Eingang eingeschaltet ist, um den Ausgang zu aktivieren, siehe Tabelle 2.2.

| Eingang 1 | Eingang 2 | Ausgang |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

Tabelle 2.2: Zuordnungstabelle der OR-Verknüpfung

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.21 auf. Beobachten Sie die LED und gehen Sie mit Ta1 und Ta2 alle Schaltzustände gemäß Tabelle 2.2 durch.

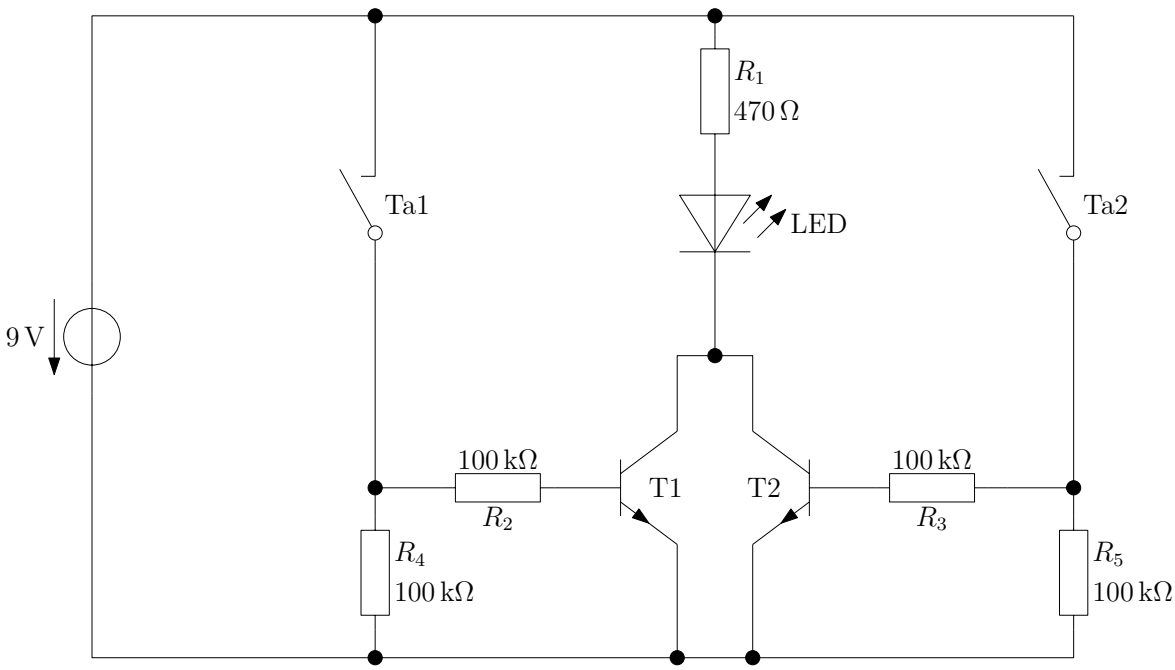



Abbildung 2.21: Experiment – Logikschaltung „OR“ (oder)

**Beobachtung** Das Leuchten der LED hängt von den Taster-Zuständen gemäß Tabelle 2.2 ab.

**Erklärung** Damit die LED leuchtet, muss mindestens einer der Transistoren T1 und T2 eingeschaltet sein. Die Schaltung sollte mit dem bisher erworbenen Wissen selbsterklärend sein.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/vM28b1DqgEo

### 2.2.10 Logikschaltung — NAND

Die „NAND“-Verknüpfung (nicht-und) ist das genaue Gegenteil der AND-Verknüpfung. Vergleichen Sie hierzu die Tabellen 2.3 und 2.1.

| Eingang 1 | Eingang 2 | Ausgang |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Tabelle 2.3: Zuordnungstabelle der NAND-Verknüpfung

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.22 auf. Beobachten Sie die LED und gehen Sie mit Ta1 und Ta2 alle Schaltzustände gemäß Tabelle 2.3 durch.

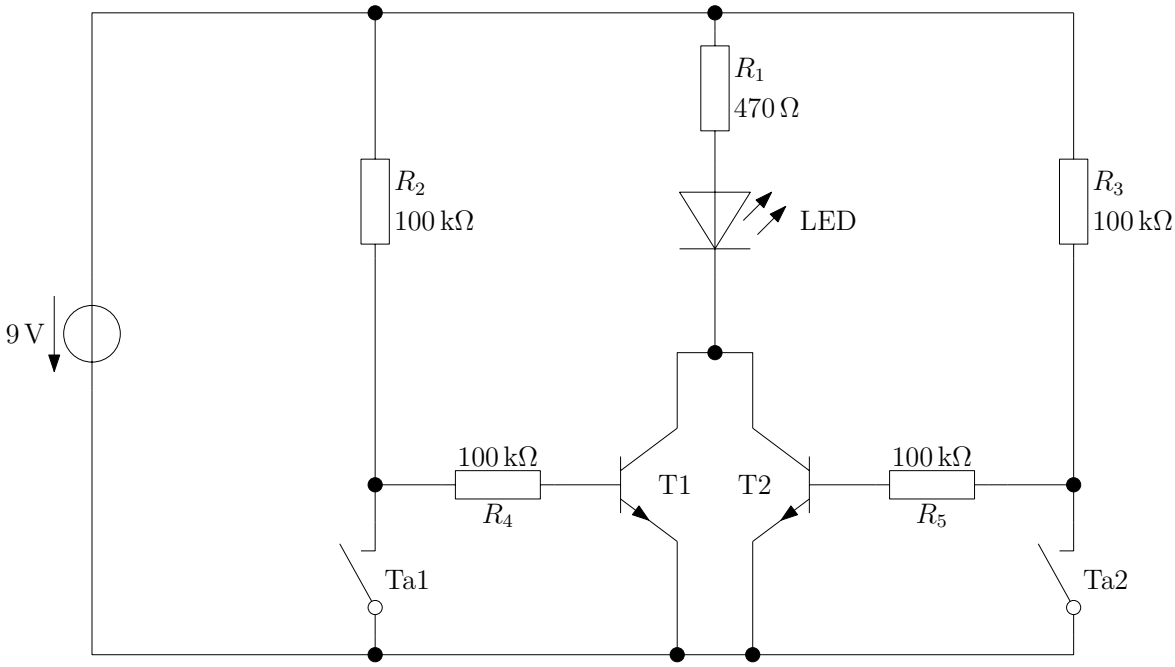



Abbildung 2.22: Experiment – Logikschaltung „NAND“ (nicht und)

**Beobachtung** Das Leuchten der LED hängt von den Taster-Zuständen gemäß Tabelle 2.3 ab.

**Erklärung** Damit die LED leuchtet, genügt es, dass einer der Transistoren T1 und T2 eingeschaltet sein.
Wir betrachten T1: Solange Taster Ta1 geöffnet ist, kann über $R_2$ und $R_4$ ein Strom in die Basis von Transistor T1 fließen. Er ist also eingeschaltet, die LED leuchtet. Wird der Taster Ta1 geschlossen, kann der Strom über $R_2$ direkt über Ta1 zurück zum Minuspol der Batterie fließen. Es fließt kein Strom in die Basis von T1, der Transistor sperrt also.
Die gleiche Überlegung ist für T2, Ta2, $R_3$ und $R_5$ gültig.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/QHkxTZqmv7o

### 2.2.11 Logikschaltung — NOR

Die „NOR“-Verknüpfung (nicht-oder) ist das genaue Gegenteil der OR-Verknüpfung. Vergleichen Sie hierzu die Tabellen 2.4 und 2.2.

| Eingang 1 | Eingang 2 | Ausgang |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

Tabelle 2.4: Zuordnungstabelle der NOR-Verknüpfung

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.23 auf. Beobachten Sie die LED und gehen Sie mit Ta1 und Ta2 alle Schaltzustände gemäß Tabelle 2.4 durch.

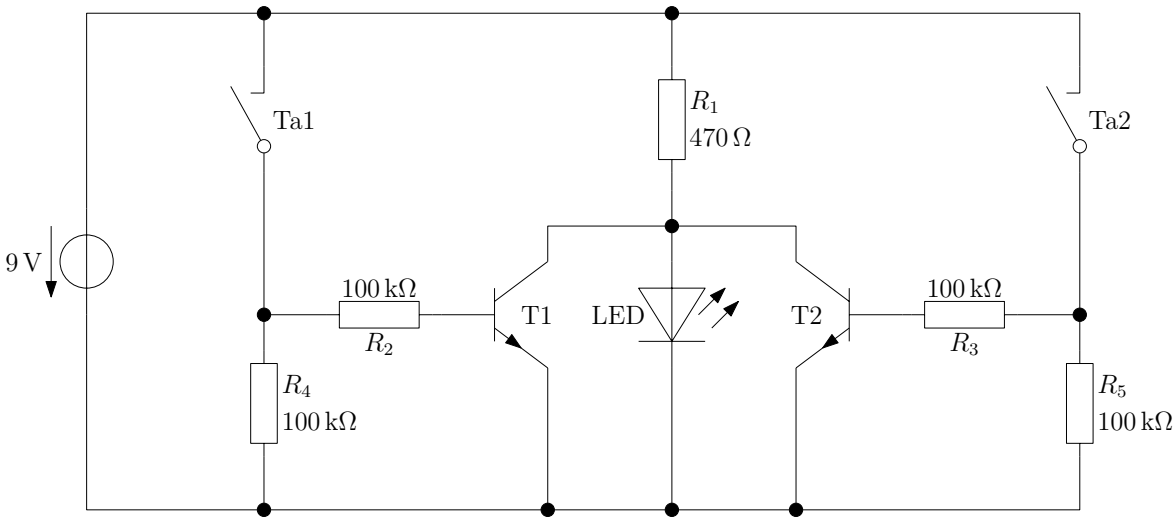



Abbildung 2.23: Experiment – Logikschaltung „NOR“ (nicht oder)

**Beobachtung** Das Leuchten der LED hängt von den Taster-Zuständen gemäß Tabelle 2.4 ab.

**Erklärung** Die LED kann nur leuchten, wenn die Transistoren T1 und T2 beide ausgeschaltet sind. Sobald auch nur einer der Transistoren eingeschaltet ist, wird der durch $R_1$ kommende Strom an der LED vorbei geführt.

Die Ansteuerung der Transistoren über die Taster sollte mit dem bisher erlangen Wissen selbsterklärend sein.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/p-0UY28DuGo

### 2.2.12 Logikschaltung — XOR

Die Schaltung der „XOR“-Verknüpfung (exklusiv oder) ist die vorerst komplizierteste in diesem Elektronikkurs. Die XOR-Verknüpfung hat die Besonderheit, dass die LED nur aufleuchten soll, wenn *einer* der Taster gedrückt wird, siehe Tabelle 2.5.

| Eingang 1 | Eingang 2 | Ausgang |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Tabelle 2.5: Zuordnungstabelle der XOR-Verknüpfung

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.23 auf. Beobachten Sie die LED und gehen Sie mit Ta1 und Ta2 alle Schaltzustände gemäß Tabelle 2.4 durch.

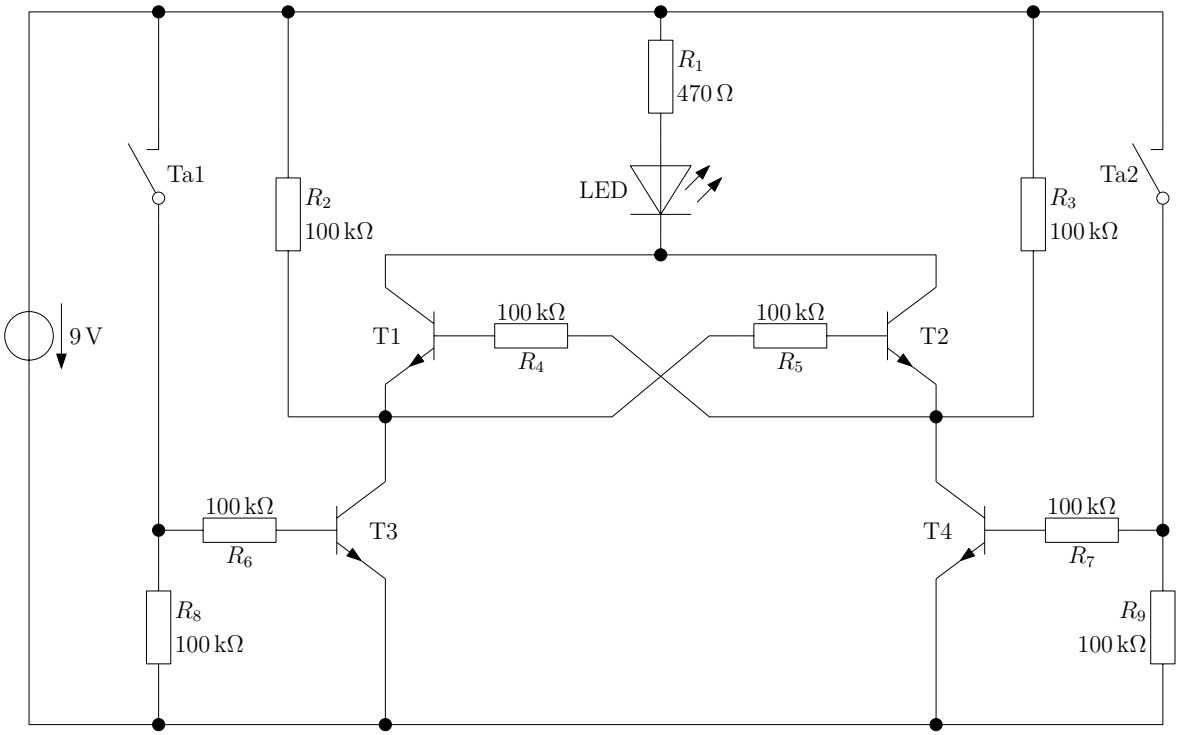



Abbildung 2.24: Experiment – Logikschaltung „XOR“ (exklusiv oder)

**Beobachtung** Das Leuchten der LED hängt von den Taster-Zuständen gemäß Tabelle 2.5 ab.

**Erklärung** Da die Schaltung sehr komplex ist, betrachten wir die verschiedenen Schaltzustände separat.

- Beide Taster sind geöffnet.
  Die Transistoren T3 und T4 sperren. So kann kein Strom durch die LED fließen, da die Verbindung zum Minuspol der Batterie unterbrochen ist.

- Ein Taster ist geschlossen. Wir betrachten den Fall: Ta1 ist geschlossen.
  Über Ta1 und $R_6$ kann ein Strom in die Basis von T3 fließen, T3 schaltet also ein.
  Nun wird über T3 die Basis von T2 mit dem Minuspol der Batterie verbunden. T2 sperrt.
  Über $R_3$ und $R_4$ fließt nun ein Strom in die Basis von Transistor T1, der zu leiten beginnt.
  Nun sind T1 und T3 eingeschaltet. Die LED leuchtet.

- Beide Taster sind geschlossen.
  Gehen wir von dem vorherigen Zustand aus: Ta1 ist geschlossen, Ta2 geöffnet.
  Nun wird auch Ta2 geschlossen.
  Der Transistor T4 beginnt zu leiten. Dadurch fließt der Strom durch $R_3$ nicht mehr in die Basis von T1, sondern über T4 direkt zum Minuspol der Batterie.
  T1 sperrt.
  Die LED erlischt.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/4hUjM-k6GkU

### 2.2.13 Astabile Kippstufe

Nun bauen wir eine Schaltung, die von alleine blinkt.

**Versuchaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.25 auf. Achten Sie auf die richtige Polung der Elektrolytkondensatoren! Beobachten Sie die LEDs. Ändern Sie die Werte der Bauteile $R_2$, $R_3$, $C_1$ und $C_2$.

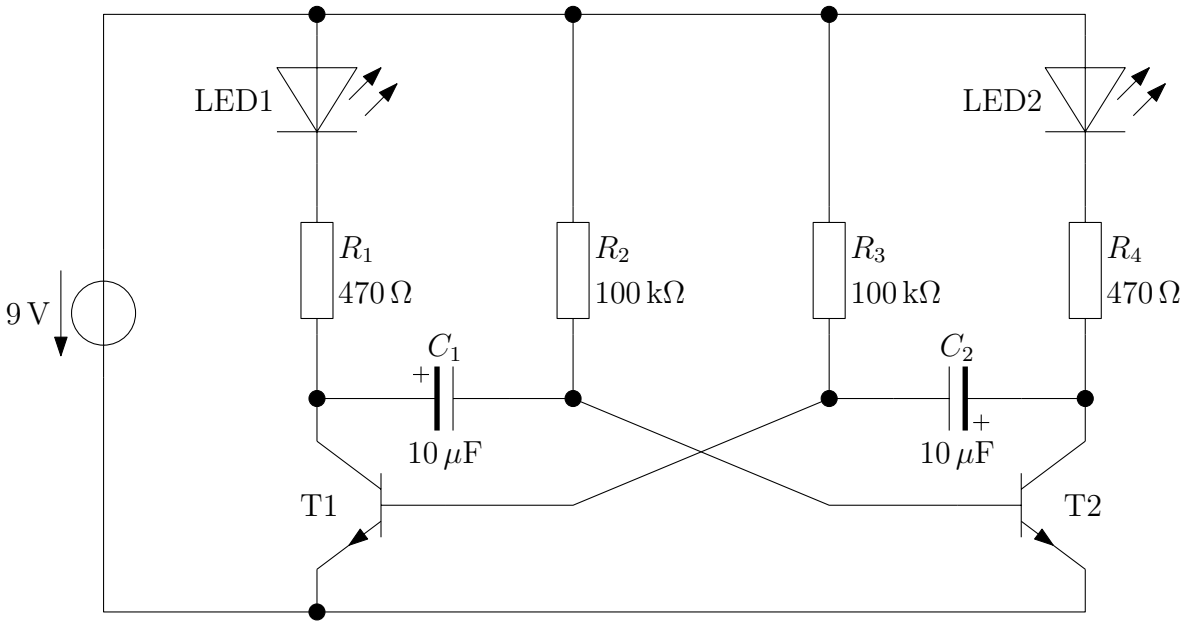



Abbildung 2.25: Experiment – Astabile Kippstufe

**Beobachtung** Die LEDs blinken abwechselnd. Die Werte von $R_2$ und $C_1$ beeinflussen die Einschaltzeit von LED2, $R_3$ und $C_2$ jene von LED1.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/zfgdgmjsJlY

### 2.2.14 RS Flipflop

Das **R**eset–**S**et–Flipflop ist die Basisschaltung von Computerspeichern; es kann 1 Bit speichern. Der Ausgang der Schaltung wird mit „Q“ bezeichnet. Zusätzlich gibt es den invertierten Ausgang „$\overline{Q}$“, der immer den gegenteiligen Zusttand von „Q“ annimmt.

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.26 auf. Betätigen Sie die „set“- und „reset“-Taster.

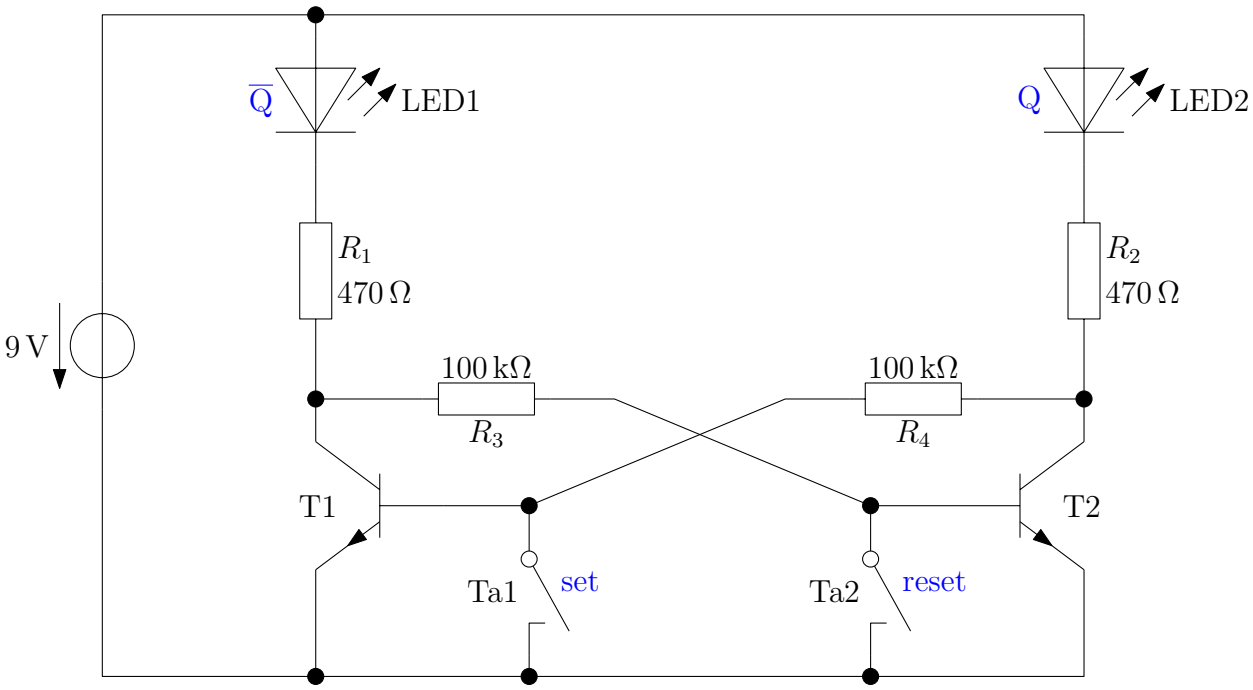



Abbildung 2.26: Experiment – Flipflop

**Beobachtung** Nach dem Betätigen des Tasters Ta1 „set“ leuchtet die LED2 „Q“, die LED1 „$\overline{Q}$“ verlischt. Ein erneutes Betätigen von Ta1 ändert nichts an diesem Zustand. Wird Taster Ta2 „reset“ gedrückt, wird LED1 „$\overline{Q}$“ eingeschaltet, LED2 „Q“ ausgeschaltet. Der Zustand ist stabil, bis wieder Ta1 betätigt wird.

**Erklärung** Gehen wir von dem Zustand aus, dass „Q“ aktiv ist, also LED2 leuchtet. Dies ist der Fall, wenn der Transistor T2 leitet. Ein Leiten von T2 bewirkt auch, dass die Basis von T1 über den Widerstand $R4$ mit dem Minuspol der Batterie verbunden ist. Der Transistor T1 sperrt also, LED1 leuchtet nicht.
Der zum Leiten von T2 benötigte Basisstrom fließt durch LED1 und $R_1$, ist aber zu klein, um LED1 zum Leuchten zu bringen.
Ein Schließen von Taster Ta1 „set“ ändert nichts an diesem Zustand. Die Basis von T1

wird nur noch direkter mit dem Minuspol der Batterie verbunden.

Erst ein Schließen des Tasters Ta2 „reset“ führt eine Veränderung herbei: Die Basis von T2 wird direkt mit dem Minuspol der Batterie verbunden, T2 beginnt also zu sperren, LED2 verlischt. Nun kann ein kleiner Strom über LED2, $R_2$ und $R_4$ in die Basis von Transistor T1 fließen, der dadurch leitend wird. LED1 beginnt zu leuchten. Ein Loslassen von Taster Ta2 ändert nichts mehr an der Situation, denn die Basis von T2 ist nun über $R3$ und den leitenden T1 mit dem Minuspol der Batterie verbunden.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/_2LheDwvzWI

## 2.3 Timer-IC NE555

Für die folgenden Experimente benötigen Sie neben der Bauteilbox von elektronik-kompendium.de zusätzlich

- 1x NE555 Timer IC,
- 2x 10 nF Keramikkondensator.

### 2.3.1 Funktionsweise des NE555 verstehen

Das zentrale Bauteil innerhalb des Timer-ICs NE555 ist ein Flipflop, wie Sie es in Versuch 2.2.14 kennengelernt haben. Dadurch genügt es dem Bauelement, wenn die Bedingung für ein Umschalten des Ausgangszustands auch nur kurzzeitig erfüllt ist. An Abschnitt 1.11 wird der innere Aufbau des NE555 näher betrachtet.

**Versuchsaufbau** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.27 auf. In dieser Schaltung benutzen wir zum ersten mal das Symbol für das Bezugspotential GND (bzw. Masse oder Erde) der Schaltung (unterhalb des GND-Anschlusses des NE555 und links von $C_1$). Dies bedeutet zweierlei:

1. Wenn wir von einem elektrischen *Potential* sprechen, meinen wir damit den Spannungsabfall zwischen einem Punkt der Schaltung und dem Bezugspotential. In unserer Schaltung ist GND mit dem Minuspol der Batterie verbunden. Wenn wir Potentiale in der Schaltung messen möchten, verbinden wir darum den Minuspol des Spannungsmessers mit dem Minuspol der Batterie. Den Pluspol des Spannungsmessers verbinden wir mit dem Punkt, dessen Potential wir messen möchten.
2. Sollten Sie in einem Schaltplan mehrere GND-Symbole finden, bedeutet dies, dass alle diese Punkte in der realen Schaltung miteinander verbunden sind. Man nutzt das Symbol, um Verbindungslinien im Schaltplan zu sparen und diesen nicht unnötig unübersichtlich zu machen.

**Versuchsdurchführung** Betätigen Sie in beliebiger Reihenfolge die Taster Ta1, Ta2 und Ta3.

**Beobachtung** Es leuchtet immer nur eine LED zu Zeit. Nach Betätigen von Ta1 (ein) leuchtet LED2. Das Schließen von Ta2 (aus) oder Ra3 (reset) aktiviert LED1.

**Erklärung** Der Ausgang des internen Flipflops wird auf „high“ gesetzt, wenn das Potential am Trigger-Eingang (TRI) kleiner ist als 1/3 der Versorgungssannung des ICs. In unserer Schaltung muss dieses Potential also kleiner sein als 3 V (weil die Versorgungsspannung 9 V beträgt). Der Eingang TRI ist über $R_1$ mit dem Pluspol der Batterie verbunden. Der Eingang ist hochohmig, das bedeutet, dass über ihn kaum Strom in den

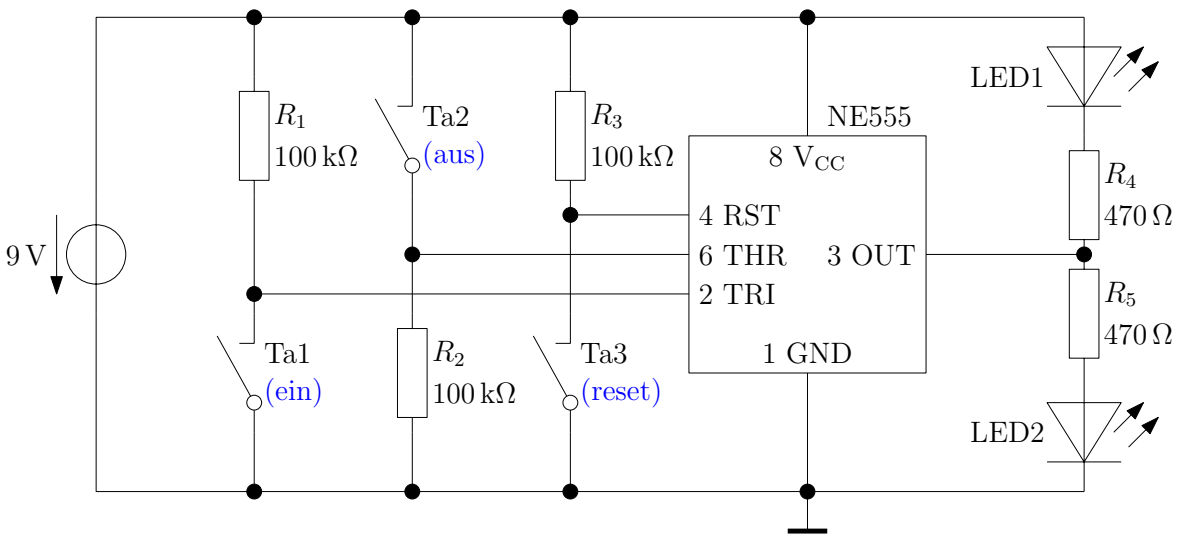



Abbildung 2.27: Experiment – Funktionsweise des NE555

IC fließt. Es fließt also auch kaum Strom durch $R_1$, wodurch auch der Spannungsabfall an $R_1$ vernachlässigt werden kann. TRI hat also das Potential 9 V.
Schließt man nun Ta1, so wird TRI direkt mit GND verbunden. Das Potential an TRI ist also 0 V, was kleiner ist als 1/3 von 9 V.
Das Flipflop schaltet seinen Ausgang auf „high“, der Ausgangs des ICs (Out) wird intern mit $V_{CC}$ (also dem Pluspol der Batterie) verbunden. Darum leuchtet LED2.

Um das interne Flipflop zurückzusetzen, muss das Potential am Threshold-Eingang (THR) größer sein als 2/3 der Versorgungsspannung.
Über $R_2$ ist THR mit GND verbunden. Das Schließen von Ta2 verbindet THR mit $V_{CC}$ (dem Pluspol der Batterie). Nun beträgt das Potential an THR 9 V, was größer ist als 2/3 $V_{CC}$. Das Flipflop schaltet seinen Ausgang auf „low“, der Ausgang OUT des ICs wird intern mit GND (dem Minuspol der Batterie) verbunden. LED1 beginnt zu leuchten.

Wird der Reset-Eingang (RST) mit GND verbunden, wird das Flipflop zurückgesetzt. Im zurückgesetzten Zustand ist der Ausgang auf „low“ gesetzt, OUT ist also mit GND verbunden.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/YA7PjhGkHH0

### 2.3.2 Treppenhauslicht – Monostabile Kippstufe

Hier betrachten wir eine der Grundschaltungen des NE555.

**Versuchsaufbau und -durchführung** Beuen Sie die Schaltung nach Abb. 2.28 auf. Betätigen die den Taster.

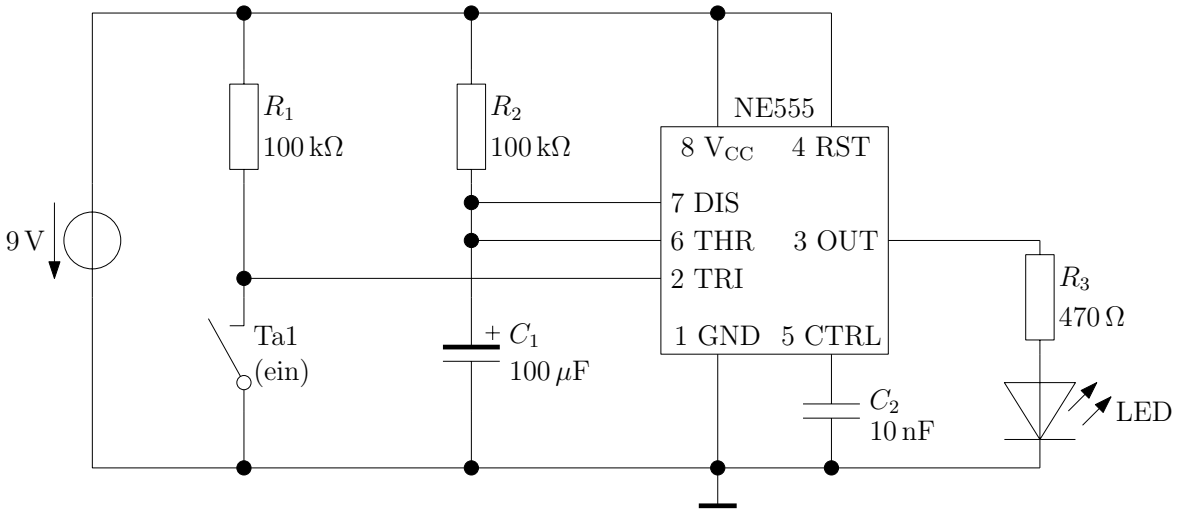



Abbildung 2.28: Experiment – Monostabile Kippstufe mit NE555

**Beobachtung** Nach Schließen und Loslassen des Tasters leuchtet die LED für exakt 11 Sekunden.

**Erklärung** Betrachten wir die Schaltung im Grundzustand. Die LED leuchtet nicht, der Taster ist nicht geschlossen.

- Der Trigger-Eingang TRI ist über $R_1$ mit dem Pluspol der Batterie verbunden. Dadurch liegt TRI auf dem Potential 9 V. Dies ist größer als 1/3 der Versorgungsspannung $V_{CC}$, das Flipflop wird also NICHT eingeschaltet.
- Der Ausgangspin OUT ist mit GND verbunden.
- Der Discharge-Pin DIS ist ebenfalls mit GND verbunden, da der innere Transistor des NE555 leitet.
- Dadurch ist der Threshold-Eingang THR (über DIS) ebenfalls mit GND verbunden. Das Flipflop wird nicht aktiv abgeschaltet, dafür wird das Potential 2/3 $V_{CC}$ an THR benötigt.
- Der Kondensator $C_1$ ist vollständig entladen.

Wird nun der Taster Ta1 geschlossen, verändern sich folgende Zustände in der Schaltung:

- Der Trigger-Eingang TRI wird mit GND verbunden. Dadurch ist sein Potential kleiner als 1/3 $V_{CC}$. Das Flipflop wird eingeschaltet.
- Die LED beginnt zu leuchten.
- Der interne Transistor wird ausgeschaltet, der Discharge-Pin DIS wird hochohmig.
- Nun kann sich der Kondensator $C_1$ über $R_2$ aufladen.
- Die Spannung an $C_1$ steigt kontinuierlich. Währenddessen leuchtet die LED, da das Flipflop eingeschaltet ist.
- Schließlich erreicht die Kondensatorspannung an $C_1$ den Wert 2/3 $V_{CC}$. Da der Threshold-Pin THR mit $C_1$ verbunden ist, wird das Flipflop wieder ausgeschaltet.
- Die LED verlischt.
- Der Kondensator wird schlagartig entladen, da DIS wieder mit GND verbunden ist.
- Die Schaltung befindet sich wieder im Grundzustand.

**Hinweis** Die Leuchtdauer in Sekunden der LED lässt sich mit dieser einfachen Formel berechnen:

$$t_{\text{ein}} = 1{,}1 \cdot R_2 \cdot C_1.$$

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/LiHY6qLSro4

### 2.3.3 Blinklicht – Astabile Kippstufe

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.29 auf. Beobachten Sie die LED.

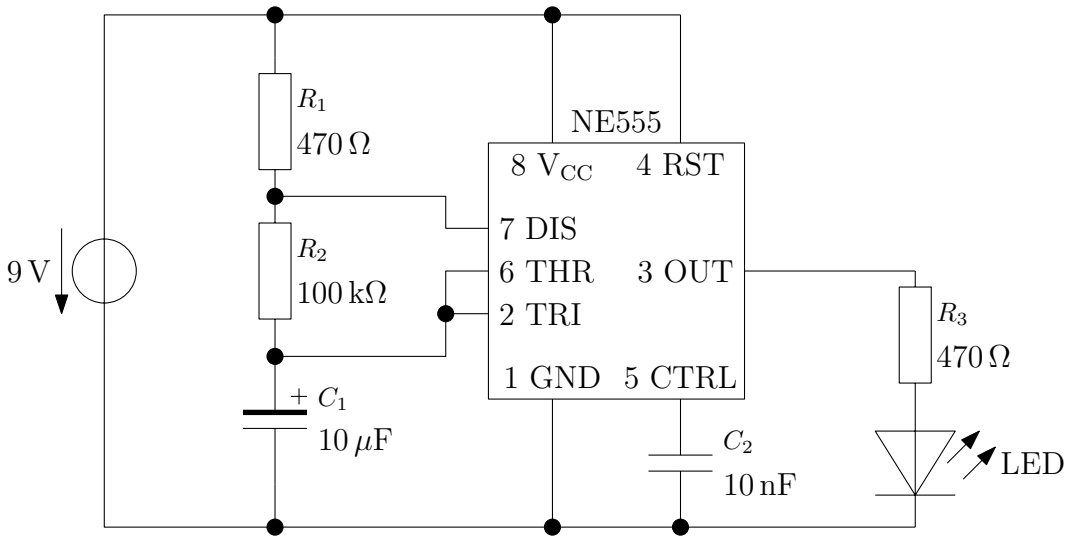



Abbildung 2.29: Experiment – Astabile Kippstufe mit NE555

**Beobachtung** Die LED blinkt.

**Erklärung** Beginnen wir unsere Überlegungen direkt nach dem Einschalten der Schaltung, der Kondensator $C_1$ ist noch ungeladen.

- Sowohl THR als auch TRI liegen auf dem selben Potential wie der Kondensator.
- Damit ist die Bedingung erfüllt dass das Potential an TRI kleiner ist als 1/3 $V_{CC}$, das Flipflop im NE555 schaltet auf „high“. **Die LED leuchtet.**
- Der DIS-Pin wird hochohmig.
- Der Kondensator $C_1$ kann sich über $R_1$ und $R_2$ aufladen.
- Sobald die Spannung an $C_1$ den Wert 2/3 $V_{CC}$ überschreitet, wird das Flipflop auf „low“ geschaltet. **Die LED verlischt.**
- Der DIS-Pin ist nun mit GND verbunden. Der Kondensator $C_1$ entlädt sich über $R_2$.
- Sobald die Kondensatorspannung den Wert 1/3 $V_{CC}$ unterschreitet, schaltet das Flipflop wieder auf „high“. Der Zyklus beginnt von vorne. Allerdings muss sich von nun an der Kondensator nur noch von 1/3 $V_{CC}$ auf 2/3 $V_{CC}$ aufladen.

**Hinweis** Die Einschalt- und Ausschaltzeitdauern der LED lassen sich mit diesen Formeln berechnen:

$$
\begin{aligned}
t_{\text{ein}} &= 0{,}693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 \\
t_{\text{aus}} &= 0{,}693 \cdot R_2 \cdot C_1
\end{aligned}
$$

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/8hU_QPrruas

### 2.3.4 Blinklicht mit frei einstellbarer Ein- und Ausschaltzeit

In dieser Schaltung übernimmt der OUT-Pin die Aufgabe, den Kondensator zu landen und zu entladen.

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.30 auf. Verwenden Sie folgende Bauteilwerte, wobei Sie die Widerstandswerte variieren:

$$\begin{aligned} C_\mathrm{T} &= 100\,\mu\mathrm{F} \\ R_\mathrm{T1} &= 10\,\mathrm{k\Omega};\quad 5{,}1\,\mathrm{k\Omega};\quad 2\,\mathrm{k\Omega} \\ R_\mathrm{T2} &= 10\,\mathrm{k\Omega};\quad 5{,}1\,\mathrm{k\Omega};\quad 2\,\mathrm{k\Omega} \end{aligned}$$

Beobachten Sie die LED.

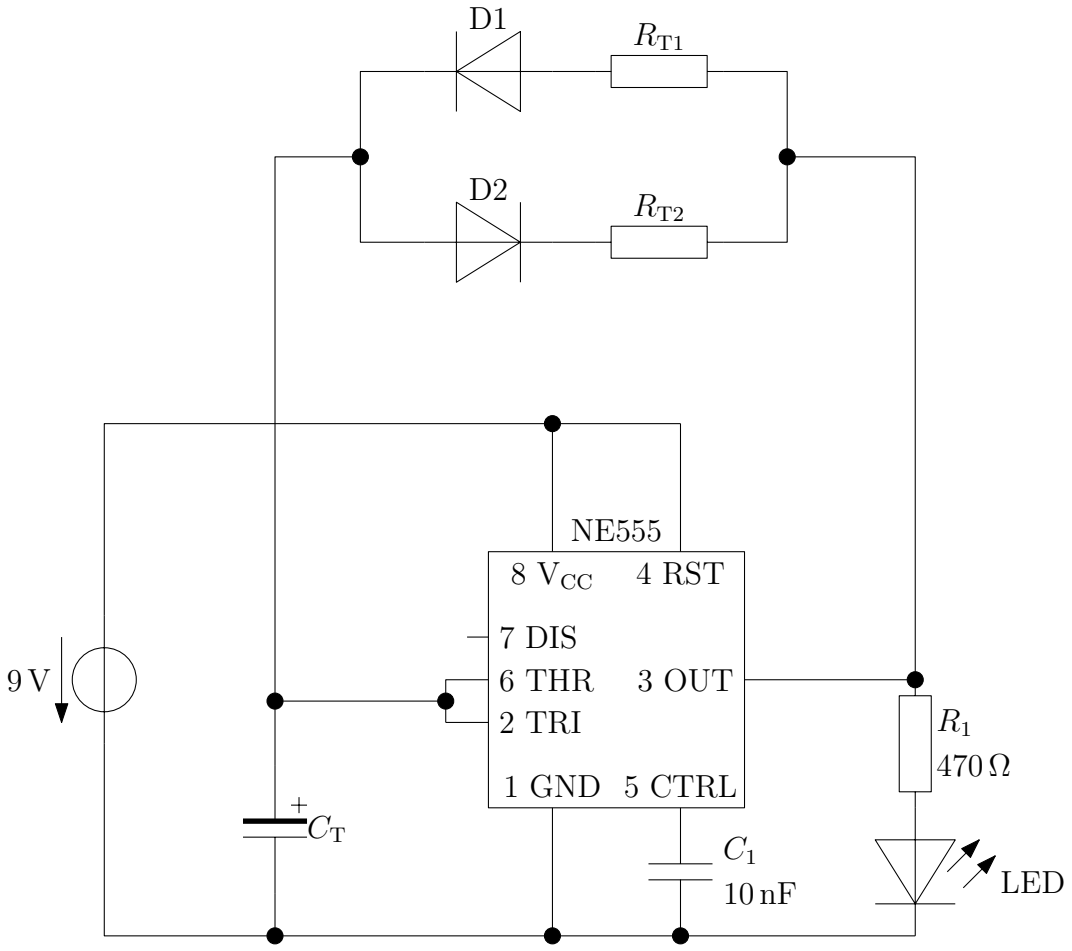



Abbildung 2.30: Experiment – Blinklicht mit frei einstellbarer Ein- und Ausschaltzeit

**Beobachtung** Die LED blinkt. Die Ein- und Ausschaltzeiten berechnen sich wie folgt:

$$\begin{aligned} t_{\text{ein}} &= 0{,}693 \cdot R_{\text{T1}} \cdot C_{\text{T}}, \\ t_{\text{aus}} &= 0{,}693 \cdot R_{\text{T2}} \cdot C_{\text{T}} \end{aligned}$$

**Erklärung** Immer wenn der Ausgang des NE555 auf „high“ geschaltet ist, leuchtet die LED. Außerdem wird der Kondensator $C_{\text{T}}$ über $R_{\text{T1}}$ und D1 geladen. Erreicht die Kondensatorspannung den Wert 2/3 $\text{V}_{\text{CC}}$, schaltet der Ausgang auf „low“, wird also mit GND verbunden. Die LED verlischt, außerdem wird $C_{\text{T}}$ über D2 und $R_{\text{T2}}$ entladen. Sobald die Kondensatorspannung 1/3 $\text{V}_{\text{CC}}$ unterschreitet, wird der Ausgang wieder auf „high“ geschaltet.

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/lsqLZ1QLWt4

### 2.3.5 Pulsweitenmodulation

Hier ersetzen wir die Widerstände $R_{T1}$ und $R_{T2}$ der vorherigen Schaltung durch ein Potentiometer.

**Versuchsaufbau und -durchführung** Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2.31 auf. Verwenden Sie $C_T = 100\,\mu F$. Drehen Sie am Potentiometer und beobachten Sie die LED.

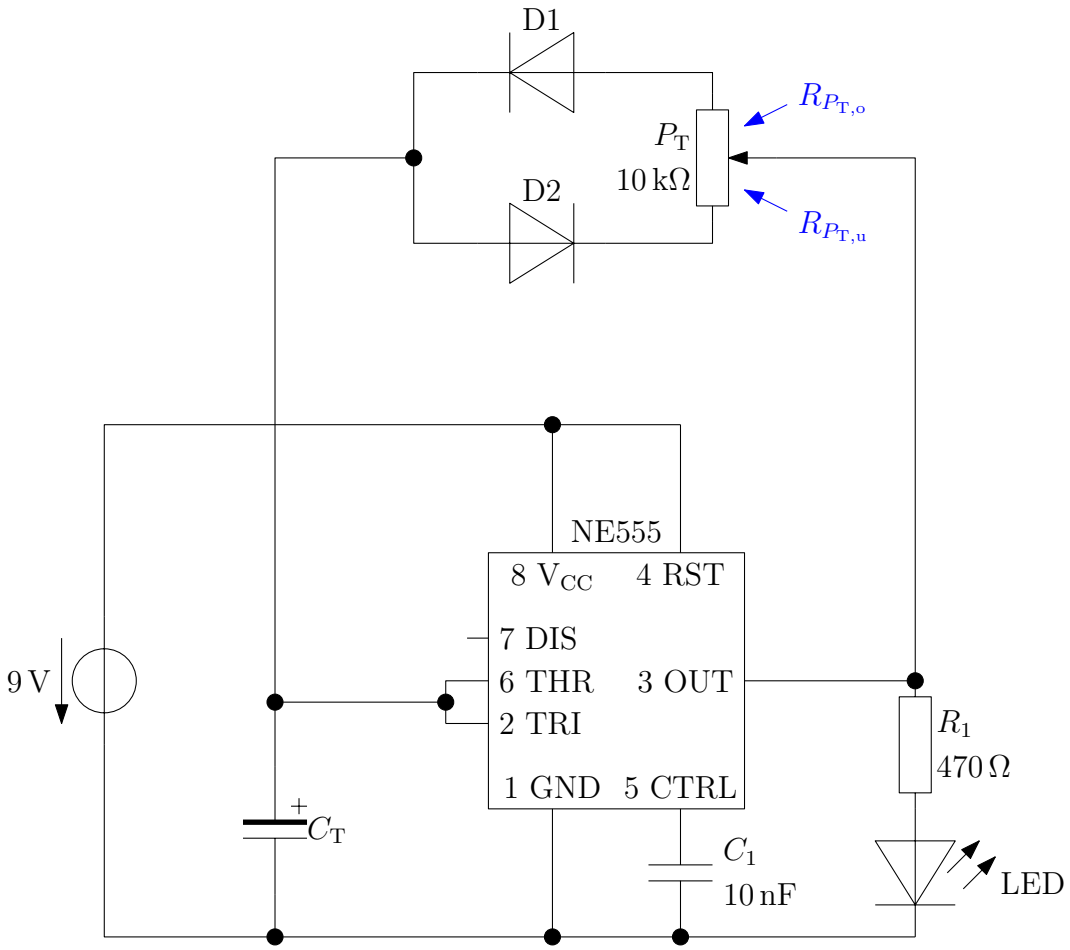



Abbildung 2.31: Experiment – Variable PWM mit dem NE555

**Beobachtung** Die Ein- und Ausschaltzeiten der LED lassen sich durch das Potentiometer einstellen. Die Periodendauer, also die Summe aus Ein- und Ausschaltzeit, bleibt dabei konstant.

**Erklärung** Die Schaltung funktioniert genauso wie die vorherige. Der Winderstand $R_{T1}$ in Abb. 2.30 wird in Abb. 2.31 jedoch durch den oberen Teil des Potentiometers $R_{P_{T,o}}$

repräsentiert und $R_{\mathrm{T2}}$ durch den unteren Teil des Potentiometers $R_{P_{\mathrm{T,u}}}$. Die Zeiten berechnen sich wieder mit

$$\begin{aligned} t_{\mathrm{ein}} &= 0{,}693 \cdot R_{P_{\mathrm{T,o}}} \cdot C_{\mathrm{T}}, \\ t_{\mathrm{aus}} &= 0{,}693 \cdot R_{P_{\mathrm{T,u}}} \cdot C_{\mathrm{T}}. \end{aligned}$$

Da stets gilt $R_{P_{\mathrm{T,o}}} + R_{P_{\mathrm{T,u}}} = 10\,\mathrm{k}\Omega$, ist die Periodendauer $T$ des Blinksignals konstant:

$$\begin{aligned} T &= t_{\mathrm{ein}} + t_{\mathrm{aus}} \\ &= 0{,}693 \cdot R_{P_{\mathrm{T,o}}} \cdot C_{\mathrm{T}} + 0{,}693 \cdot R_{P_{\mathrm{T,u}}} \cdot C_{\mathrm{T}} \\ &= 0{,}693 \cdot (R_{P_{\mathrm{T,o}}} + R_{P_{\mathrm{T,u}}}) \cdot C_{\mathrm{T}} \\ &= 0{,}693 \cdot 10\,\mathrm{k}\Omega \cdot C_{\mathrm{T}} \end{aligned}$$

**Erklärvideo auf YouTube**

https://youtu.be/05S7USnakp4