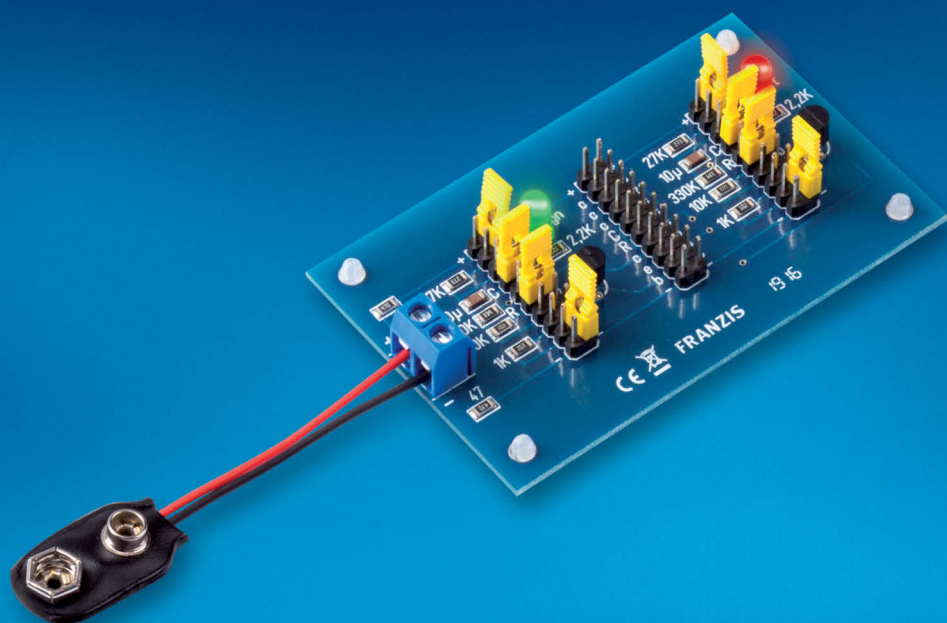


Das Franzis Lernpaket

# Grundsaltungen der Elektronik



FRANZIS

# **Grundsaltungen der Elektronik**



**Das Franzis Handbuch**

# **Grundsaltungen der Elektronik**

## Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch vorgestellten Schaltungen und Programme wurden mit der größtmöglichen Sorgfalt entwickelt, geprüft und getestet. Trotzdem können Fehler im Buch und in der Software nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag und Autor haften in Fällen des Vorsatzes oder der groben Fahrlässigkeit nach den gesetzlichen Bestimmungen. Im Übrigen haften Verlag und Autor nur nach dem Produkthaftungsgesetz wegen der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit oder wegen der schuldhaften Verletzung wesentlicher Vertragspflichten. Der Schadensersatzanspruch für die Verletzung wesentlicher Vertragspflichten ist auf den vertragstypischen, vorhersehbaren Schaden begrenzt, soweit nicht ein Fall der zwingenden Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz gegeben ist.

## Liebe Kunden!

Dieses Produkt wurde in Übereinstimmung mit den geltenden europäischen Richtlinien hergestellt und trägt daher das CE-Zeichen. Der bestimmungsgemäße Gebrauch ist in der beiliegenden Anleitung beschrieben.



Bei jeder anderen Nutzung oder Veränderung des Produktes sind allein Sie für die Einhaltung der geltenden Regeln verantwortlich. Bauen Sie die Schaltungen deshalb genau so auf, wie es in der Anleitung beschrieben wird. Das Produkt darf nur zusammen mit dieser Anleitung weitergegeben werden.

Das Symbol der durchkreuzten Mülltonne bedeutet, dass dieses Produkt getrennt vom Hausmüll als Elektroschrott dem Recycling zugeführt werden muss. Wo Sie die nächstgelegene kostenlose Annahmestelle finden, sagt Ihnen Ihre kommunale Verwaltung.



**Autor: Burkhard Kainka**

**© 2016 Franzis Verlag GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar**

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

# VORWORT

Elektronik kann man lernen wie Rechnen, Schreiben und Lesen, wenn man nur die Gelegenheit bekommt, sich ausführlich damit zu beschäftigen. Am einfachsten geht dies mit einem kleinen Elektronik-Baukasten. Die Bauteile sind auf eine Platine gelötet und können nicht verloren gehen, nur die Verbindungen müssen noch gesteckt werden – und schon hat man eine fertige Schaltung, ein funktionierendes Gerät.

Die Platine hat drei Stiftleisten mit jeweils 2 x 10 Kontaktstiften. Auf die Stifte setzt man kleine Kontaktbrücken, die sich leicht wieder entfernen lassen. Man nennt sie auch „Jumper“, weil sie schnell und einfach hin und her „springen“ können. Nach einigen Versuchen kennt man das System in- und auswendig und kann blitzschnell neue Schaltungen aufbauen und eigene Ideen ausprobieren. Das geht viel schneller als mit dem LötKolben oder mit einer Steckplatine. Und die Bauteile können nicht verloren gehen. Nur ein kleiner Vorrat an Jumpern muss immer in Reichweite liegen.

Die Bauteile wurden so angeordnet, dass allein mit den Steckbrücken mehr als 50 sinnvolle Versuche aufgebaut werden können. Und wahrscheinlich findet man noch viel mehr. Die wichtigsten Bauteile sind vorhanden: Leuchtdioden (LEDs), Widerstände, Kondensatoren und Transistoren. Wer diese Bauteile kennt und genau verstanden hat, kann auch eigene Ideen umsetzen und neue Schaltungen entwickeln. Dabei geht der Aufbau wesentlich schneller als bei anderen Systemen. Und das Wichtigste ist, dass man niemals die Bauteile zusammensuchen muss.

Das Handbuch zeigt jeweils das Schaltbild und ein Aufbaubild mit allen Steckverbindungen. Wer nur mal ganz schnell etwas nachbauen möchte, kann sich an die Aufbaubilder halten, damit hat man den schnellsten Erfolg. Fehler sind fast unmöglich.

Wer tiefer einsteigen will, schaut sich auch die Schaltbilder genau an. Das Handbuch gibt zu jeder Schaltung detaillierte Erklärungen. Und oft kann man auch Variationen ausprobieren, um das Verhalten einer Schaltung zu ändern. Es geht darum, die Bauteile und die Schaltungen immer besser zu verstehen, sodass man das Verhalten einer Schaltung möglichst genau voraussagen kann.

Das Handbuch beschreibt auch die nötige Messtechnik und zeigt Messergebnisse für viele Versuche. Wer ein Multimeter zur Hand hat, sollte die Messungen an der eigenen Schaltung wiederholen. Das schärft den Blick für das Verhalten der Bauteile. Nur so bekommt man ein Gefühl für Bauteiltoleranzen und mögliche Abweichungen in einer Schaltung. Außerdem kann man nur mit Messungen die theoretischen Überlegungen und Berechnungen überprüfen. Mit genügend Übung wird man dann auf einen Blick erkennen, wie eine Schaltung funktioniert.

Nach einigen Versuchen kennt jeder die Platine so genau, dass er sogar ohne eine Zeichnung Schaltungen umsetzen oder neu entwickeln kann. Das eröffnet ganz neue Möglichkeiten für kleine Experimente an beliebigen Orten. Man kann in der Sonne sitzen, sich eine Schaltung ausdenken, und sie mal eben ausprobieren. Ein paar zusätzliche Jumper sollte man dazu immer bereithalten. Sie stecken beispielsweise auf einer Parkposition auf den unteren und oberen Kontakten für die Spannungsversorgung. Oder man kann spielerische Wettkämpfe austragen. Statt Karten oder Würfeln liegt die Platine auf dem Tisch. Dann deckt man sich eine kreative Aufgabe aus. Wer findet am schnellsten die beste Lösung?

Viel Erfolg beim Experimentieren!

Burkhard Kainka

Weiterführende Versuche, Hinweise zu möglichen Problemen und Erfahrungen anderer Leser sowie häufig gestellte Fragen und Antworten zu diesem Experimentierpaket findet man auf meiner Homepage:

[www.b-kainka.de](http://www.b-kainka.de)

# INHALT

1	Vorbereitungen und Zusammenbau.....	10
1.1	Bauteile .....	10
1.2	Lötarbeiten.....	11
1.3	Überblick .....	13
2	Leuchtdioden und Widerstände .....	18
2.1	LED im Stromkreis .....	18
2.2	Rot und Grün.....	22
2.3	Mehr Widerstand .....	24
2.4	Farbumschalter .....	29
3	Transistoren und Verstärker.....	34
3.1	Transistor-Schalter.....	34
3.2	Voll eingeschaltet? .....	36
3.3	Mehr Verstärkung.....	38
3.4	Alarmanlage .....	39
3.5	Gekoppelte Schalter .....	42
3.6	Alarmanlage mit Bereitschaftsanzeige.....	43
4	Kondensatoren und Zeitschalter.....	46
4.1	Laden und entladen .....	46
4.2	Energie sammeln.....	50
4.3	Verstärkter Blitz .....	52
4.4	Der Blitz-Merker.....	54
4.5	Nachlaufsteuerung .....	56
4.6	Langsame Entladung.....	58
5	Verstärker und Sensoren.....	64
5.1	Der Berührungssensor .....	64
5.2	Der Elektrofeldsensor .....	66
5.3	Der Lichtsensor .....	68
5.4	Ausschalten bei Berührung .....	70
6	Arbeitspunkt und Stabilisierung .....	74
6.1	Gegenkopplung .....	74
6.2	Arbeitspunkt-Stabilisierung.....	76
6.3	Arbeitspunkt-Anpassung .....	78
6.4	Temperaturkompensation.....	79
6.5	Konstantstromquelle .....	81



7	Dimmer und Zeitsteuerung .....	84
7.1	Gutenacht-Licht .....	84
7.2	Ende-Abschaltung .....	87
7.3	Kino-Lichtsteuerung .....	88
7.4	Touch-Dimmer .....	90
7.5	Abend-Licht .....	92
7.6	Verzögerter Berührungsschalter .....	94
8	Stromspiegel und Temperatursensoren .....	98
8.1	Einstellung der LED-Helligkeit .....	98
8.2	Temperaturabhängigkeiten .....	100
8.3	Mehr Strom .....	101
8.4	Weniger Strom .....	102
8.5	Temperatur und Verlustleistung .....	103
8.6	Lampenstrom-Überwachung .....	105
9	Dioden und Sperrschichten .....	108
9.1	Die BE-Diode in Durchlassrichtung .....	108
9.2	Die BC-Diode leitet .....	111
9.3	Die BC-Diode in Sperrrichtung .....	112
9.4	Die BE-Diode in Sperrrichtung .....	114
9.5	Batterieprüfer .....	115
9.6	Transistor invertiert .....	118
10	Flipflops und Blinker .....	122
10.1	RS-Flipflop .....	122
10.2	Rot/Grün-Flipflop .....	124
10.3	Langsamer Blinker .....	126
10.4	Schneller Blinker .....	127
10.5	Wechselblinker .....	129
10.6	Start/Stop-Blinker .....	131
10.7	Langsamer Wechselblinker .....	134
10.8	Unsymmetrischer Wechselblinker .....	136
10.9	Der Bye-Bye-Blinker .....	137
	Anhang .....	140





Zusätzlich gibt es ein vierfaches Kabel mit Steckbuchsen an beiden Enden, das auch in Einzelkabel aufgetrennt werden kann. Es dient für weiterführende Experimente, als Übergang zu anderen Elektronik-Baugruppen und zum Anschluss von Messgeräten.

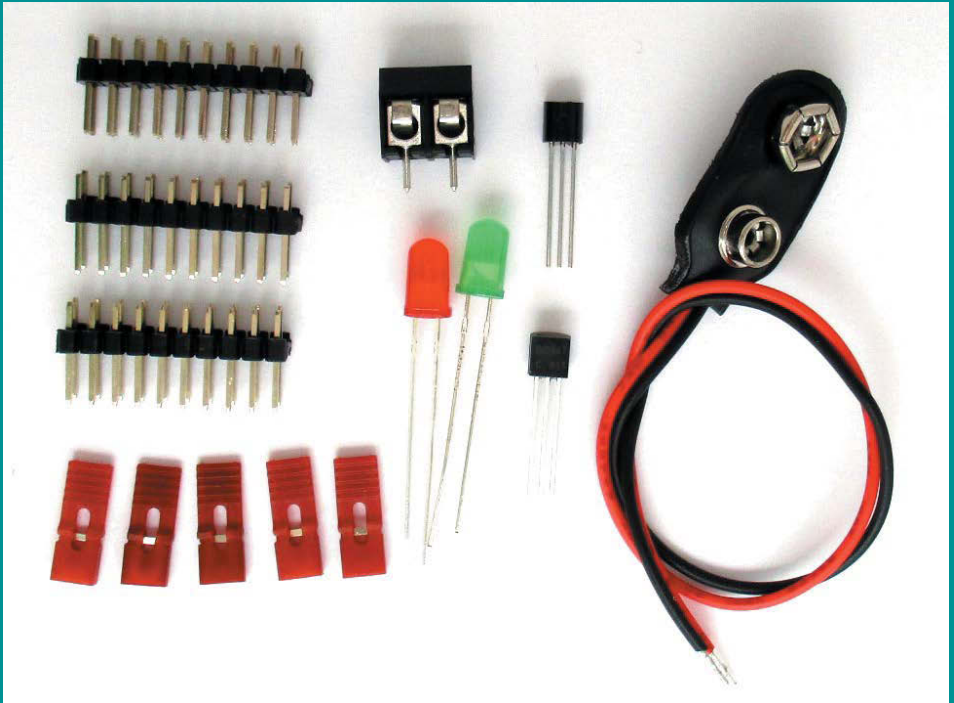


Abb. 1.2: Zusätzliche Bauteile

## 1.2 | Lötarbeiten

Bevor es richtig losgeht mit dem Experimentieren, muss gelötet werden. Man beginnt am besten mit den drei Pfostensteckleisten mit jeweils 2 x 10 Kontakten. Wenn man sie in die Platine einsetzt, kann danach alles umgedreht und auf eine flache Oberfläche gelegt werden, damit nichts mehr verwickelt. Dann können alle 60 Kontakte nacheinander angelötet werden.

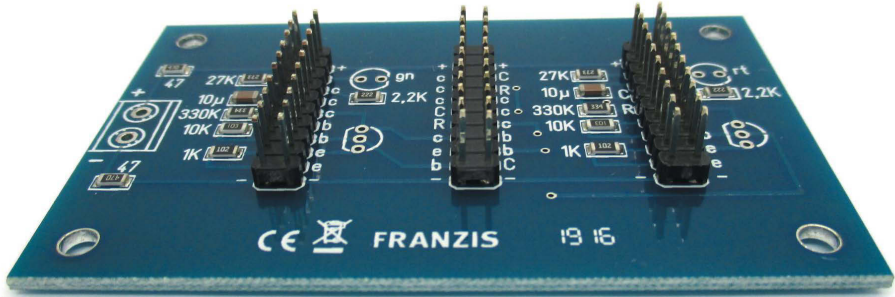


Abb. 1.3: Eingebaute Pfostenstecker

Das ist zugleich eine gute Lötübung, falls man noch nicht so fit im Löten ist. Jede Lötstelle muss richtig heiß werden, damit das Lötzinn tief in die Bohrung fließt und den Kontaktstift völlig umhüllt. Man darf aber auch nicht zu lange löten, damit nicht der letzte Rest des Flussmittels verdampft. Eine gute Lötstelle erkennt man daran, dass sich das Lötzinn rund an die verbunden Bauteile schmiegt und eine glatte Oberfläche hat. Falls es am Anfang noch nicht so gut klappt und immer besser wird, kann man die ersten Lötstellen problemlos noch einmal mit etwas frischem Lötzinn nachlöten.

Nun folgen die beiden Transistoren. Sie sollen so tief in die Lötlöcher gesteckt werden, dass oberhalb der Platine nur noch ein etwa 5 mm langes Drahtstück frei bleibt. Nach dem Löten müssen unten die überstehenden Drahtenden abgeschnitten werden. Achtung: Die Transistoren kann man auch falsch herum einbauen! Wie es richtig ist, zeigt der Bestückungsaufdruck der Platine. Die flache Seite weist zur zugehörigen Kontaktreihe.

Danach kommen die LEDs an die Reihe. Die Anoden sind die längeren Anschlussdrähte und weisen zur Kontaktreihe. Die Kathoden liegen am kürzeren Anschluss und sind zusätzlich durch eine flache Stelle am Gehäuse gekennzeichnet, die man auch auf dem Bestückungsaufdruck sieht. Wichtig sind auch die Farben. Die grüne LED wird links eingebaut, also auf der Seite mit dem Batterieanschluss. Rechts soll die rote LED eingesetzt werden. Beide LEDs sollen direkt auf der Platine sitzen, also vor dem Löten ganz eingesteckt werden, sodass nach dem Anlöten lange Drähte abgeschnitten werden müssen.

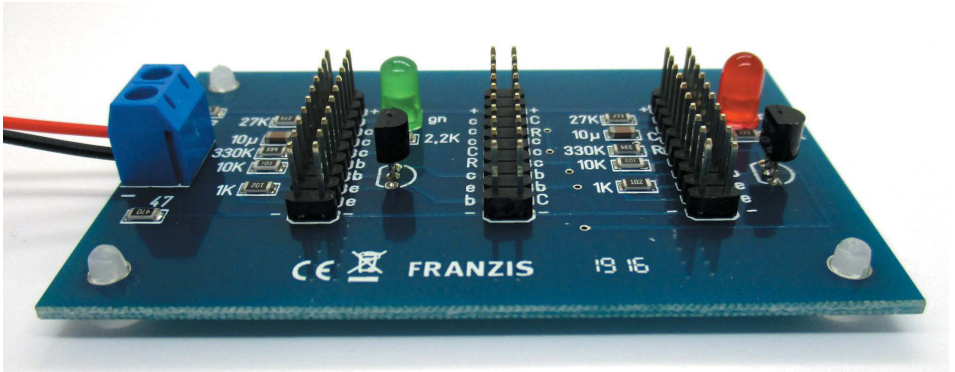


Abb. 1.4: Die fertig aufgebaute Experimentierplatine

Als Letztes kommt die Schraubklemme für den Batterieanschluss. Hier kann der Batterieclip angeschraubt werden. Das rote Kabel ist der Pluspol, das schwarze der Minuspol. Es hat sich bewährt, das abisolierte und verzinnte Kabelende nach hinten umzuknicken und das Kabelende zusammen mit der Isolierung in der Klemme anzuschrauben. Damit erhält man eine langlebige Verbindung und vermeidet einen Kabelbruch, der sonst nach häufigem Biegen des Batteriekabels droht.

Am Ende kann die Platine mit den vier beiliegenden Gummifüßen versehen werden. Dann sollten noch einmal alle Lötunkte sorgfältig überprüft werden. Jetzt darf der LötKolben kalt werden. Alle weiteren Experimente kommen mit Steckverbindungen aus.

## 1.3 | Überblick

Die Anordnung der Bauteile auf der Platine ist bei allen Versuchen gleich. Einige Verbindungen sind schon vorhanden, und die Bauteile sind so platziert, dass man mit möglichst wenigen Brücken sinnvolle Schaltungen bauen kann. Außerdem sind Fehler, bei denen ein Bauteil kaputt gehen könnte, fast völlig unmöglich. Man braucht also keine Angst zu haben beim Ausprobieren. Die LEDs haben bereits einen integrierten Vorwiderstand und können nicht überlastet werden.

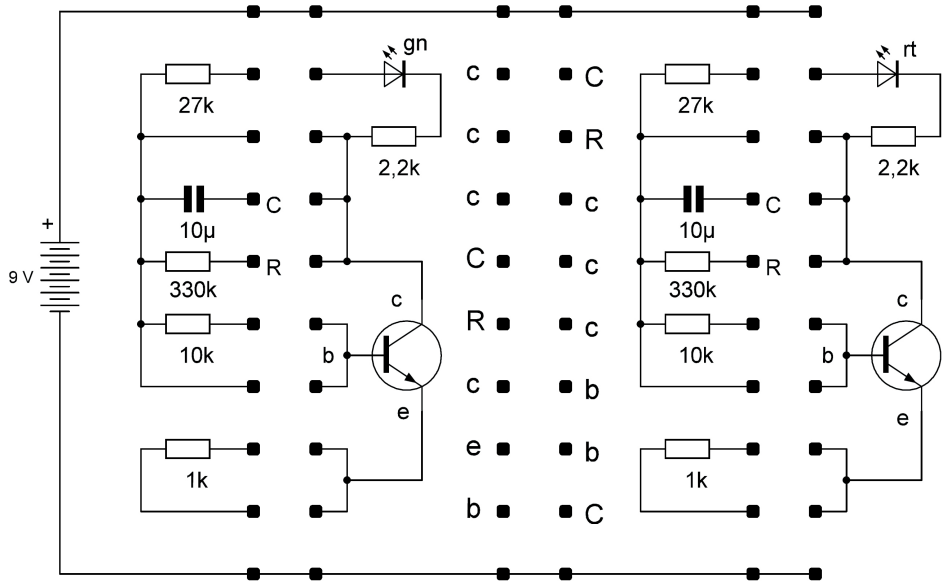


Abb. 1.5:  
Zwei gleiche  
Schaltungsblöcke

Außerdem gibt es zwei zusätzliche Widerstände von 47 Ohm in den beiden Zuleitungen zur Batterie. Falls doch einmal versehentlich ein Kurzschluss erzeugt wird, begrenzen sie den Strom auf 100 mA, sodass nichts Schlimmes passieren kann. Auch die Transistoren überstehen 100 mA ohne Schaden. Bei allen normalen Versuchen stören die Schutzwiderstände nicht. Sie erhöhen nur den Innenwiderstand der Batterie, wie es auch bei schon teilweise verbrauchten Batterien zu beobachten ist. In den Schaltplänen tauchen diese Schutzwiderstände nicht auf, denn sie spielen für die normale Funktion der Schaltungen keine Rolle.

Es gibt zwei gleiche Blöcke von Bauteilen, jeweils mit 20-poliger Stiftleiste, einem Transistor und einer LED. Deshalb kann man den Aufbau schnell durchschauen und hat schon nach kurzer Zeit keine Probleme mehr, eine Schaltung „freihändig“ aufzubauen. Jeder Block könnte eine eigene Schaltung werden, die völlig unabhängig vom anderen Block funktioniert. Aber wenn kompliziertere Schaltungen gebaut werden sollen, müssen Verbindungen zwischen den Blöcken hergestellt werden. Dazu dient die mittlere Stiftleiste. Allen Blöcken gemeinsam ist, dass die unteren beiden Stifte am Minuspol der Batterie liegen, die oberen beiden am Pluspol.

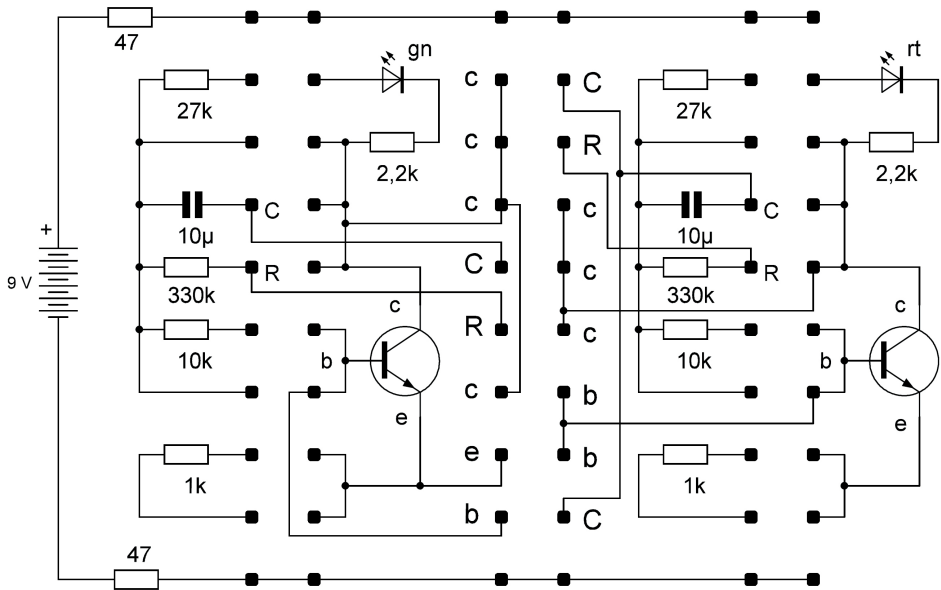


Abbildung 1.6 zeigt den Plan mit allen Verbindungen. Das mag kompliziert aussehen, ist aber nach kurzer Zeit schon leicht durchschaubar. Beim Aufbauen hilft auch die Beschriftung auf der Platine. Und man kann sich den Plan im Anhang dieses Handbuchs ausschneiden oder kopieren und immer zusammen mit den Steckbrücken aufheben. Die zusätzlichen Verbindungsleitungen werden meist nicht benötigt, können aber wertvolle Dienste leisten, wenn man besondere Verbindungen in einer Schaltung testen, Verbindungen zu anderen Experimenten herstellen oder Messgeräte für umfangreiche Messreihen anschließen möchte.

Abb. 1.6: Verbindungen zur mittleren Kontaktleiste



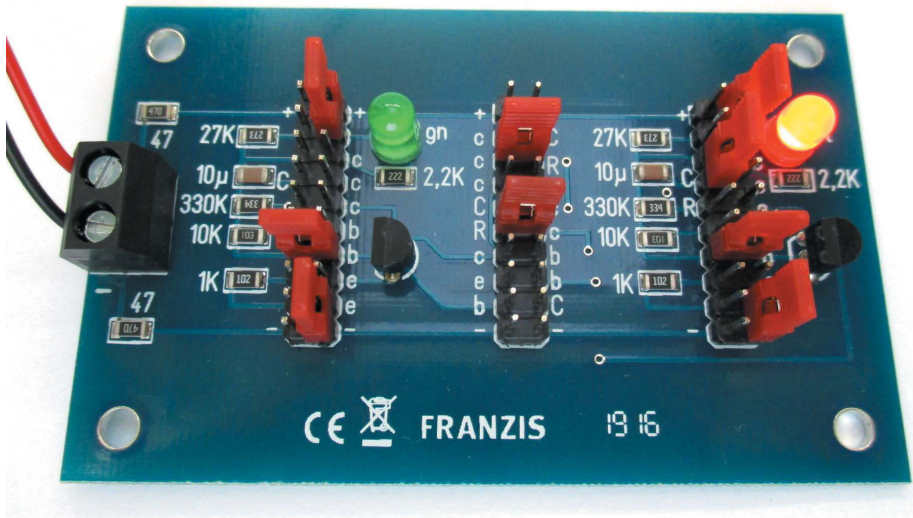


Abb. 1.7: Ein aufgebauter Versuch



# 2 LEUCHTDIODEN UND WIDERSTÄNDE

Der Elektronik-Baukasten enthält eine grüne und eine rote Leuchtdiode (LED). Eine LED sollte nie direkt an eine Batterie angeschlossen werden, denn dann könnte sie überlastet werden und kaputt gehen. Man braucht immer einen Vorwiderstand, der für eine Begrenzung des Stroms sorgt. Hier sind jedoch die passenden Widerstände von  $2,2\text{ k}\Omega$  schon eingebaut, man hat also immer schon eine LED mit einem Vorwiderstand.

## 2.1 | LED im Stromkreis

Also los! Als Erstes soll einmal die grüne LED zum Leuchten gebracht werden. Das Schaltbild zeigt einen geschlossenen Stromkreis mit Batterie, LED und Widerstand. Man nennt diese Schaltung auch Reihenschaltung, weil alle Bauteile in einer Reihe nacheinander angeordnet sind.

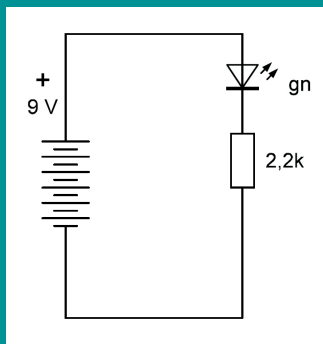
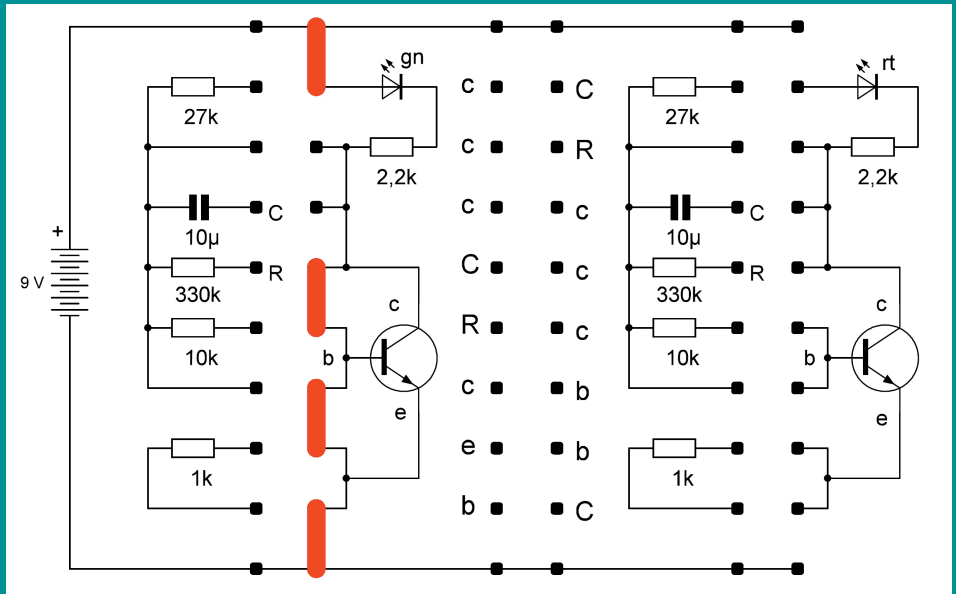


Abb. 2.1:  
Ein Stromkreis  
mit LED

Damit der Stromkreis auch im wirklichen Experiment geschlossen ist, braucht man insgesamt vier Kontaktbrücken (Jumper). Eigentlich versperrt nämlich der Transistor mit seinen drei Anschlüssen den Weg. Er leitet den Strom nicht. Deshalb sorgen erst die zusätzlichen Brücken

dafür, dass wirklich Strom fließen kann. Sie sind hier als dicke rote Verbindungen eingezeichnet.



Mit diesen vier Brücken funktioniert es. Die grüne LED leuchtet. Alle Bauteile, die entweder überhaupt nicht oder nur mit einem Beinchen angeschlossen sind oder durch Jumper kurzgeschlossen werden, sind sozusagen gar nicht da. Das ist so ähnlich wie beim fünften Rad am Wagen: Es fährt zwar mit, hat aber keine Funktion. In diesem Fall ist der Transistor durch zwei Jumper ganz außer Funktion gesetzt.

Abb. 2.2: Die nötigen Kontaktbrücken

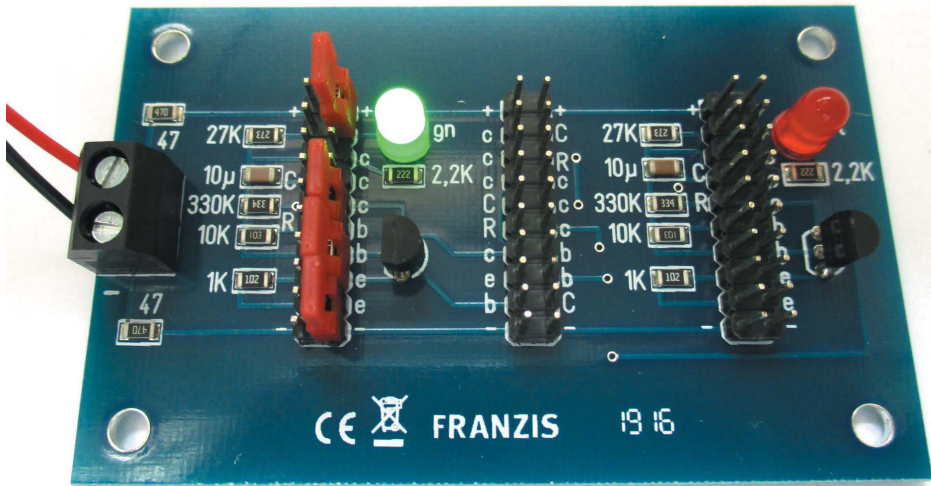


Abb. 2.3: Ein erfolgreich aufgebauter Versuch

Was wird wohl passieren, wenn man einzelne Brücken entfernt? In den meisten Fällen wird der Stromkreis dann unterbrochen und die LED geht aus. Nur bei der zweiten Brücke von unten ist das anders. Wenn man sie entfernt, bleibt die LED an. Das hat etwas mit der Funktion des Transistors zu tun und wird erst später ganz genau untersucht.

Eine Diode leitet den Strom nur in einer Richtung. Strom fließt von der Anode zur Kathode. An der Anode muss also der Pluspol angeschlossen werden. Anders herum funktioniert es nicht. Die Diode verhält sich in „Sperr-Richtung“ wie ein Isolator, sie versperrt dem Strom den Weg. Bei diesem einfachen Versuch kann man das ausprobieren, indem man einfach die Batterie vom Kabel trennt und falsch herum an den Batterieclip hält. Die LED bleibt dann aus. Sobald man die Batterie wieder umdreht, fließt der Strom wieder. Achtung: Das darf man nicht mit jedem Gerät so machen. Viele Schaltungen gehen bei einer Falschpolung der Spannungsquelle kaputt. Für eine LED ist es kein Problem.

### Messungen

Wer ein geeignetes Multimeter besitzt, sollte es möglichst oft einsetzen, um die aufgebauten Schaltungen ganz genau zu untersuchen. Meist werden Spannungen gemessen. Eine Spannung herrscht zwischen zwei Punkten einer Schaltung, also z. B. zwischen den Anschlüssen der Batterie, zwischen beiden Drähten der LED oder zwischen beiden Anschlüssen

des Widerstands. Bei einer Spannungsmessung hält man die Messkabel an die beiden Messpunkte.

Typische Messergebnisse:

Spannung der Batterie: 9,0 V

Spannung an der LED: 2,7 V

Spannung am Vorwiderstand: 6,3 V

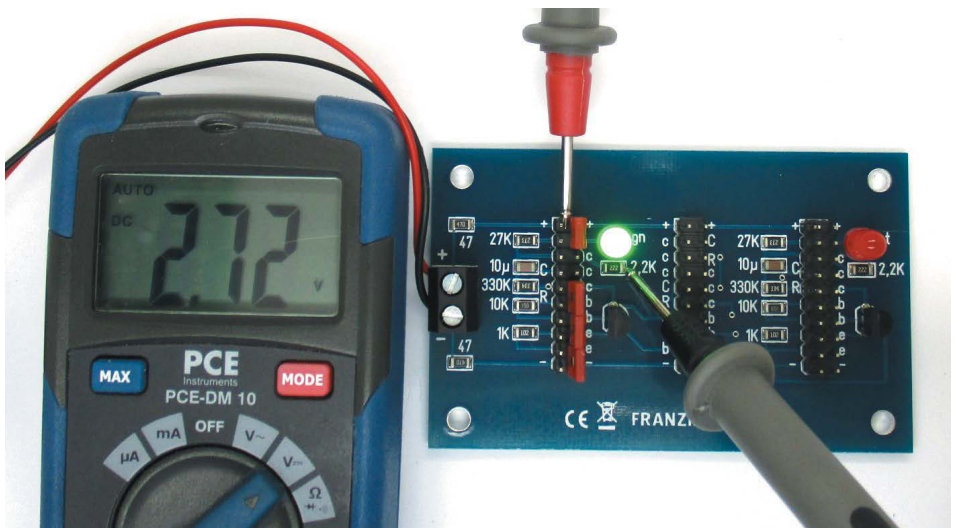


Abb. 2.4:  
Spannungsmessung an der LED

Eine Rechnung ergibt:  $2,7\text{ V} + 6,3\text{ V} = 9\text{ V}$ . Das kann kein Zufall sein, dahinter steckt ein physikalisches Gesetz: In einer Reihenschaltung addieren sich die Spannungsabfälle an den einzelnen Verbrauchern zur Gesamtspannung.

Mit den Messwerten lässt sich der Strom in der Schaltung berechnen:

Stromstärke = Spannung / Widerstand

$$I = U / R$$

$$I = 6,3\text{ V} / 2,2\text{ k}\Omega$$

$$I = 2,9\text{ mA}$$

Die Ergebnisse können je nach Zustand der Batterie etwas abweichen. Eine ganz neue Alkali-Blockbatterie hat mehr als 9 V. Gemessen wurden zum Beispiel 9,4 V. Aber es gibt auch noch Spannungsabfälle an den

## 2

Schutzwiderständen zur Batterie, sodass die Spannung auf der Platine bei rund 9 V liegen kann.

## 2.2 | Rot und Grün

Eine Batterie schafft mehr als nur eine LED. Also kann man einen zweiten Stromkreis schließen und auch die rote LED leuchten lassen. Auch der zweite Stromkreis besteht aus einer Reihenschaltung mit LED und Widerstand. Aber zusammen hat man eine Parallelschaltung. Wenn man eine LED zusammen mit ihrem Widerstand als einen Verbraucher oder eine Lampe betrachtet, liegen beide parallel. Die Parallelschaltung wird auch als „verzweigter Stromkreis“ bezeichnet, denn der Strom der Batterie verzweigt sich auf zwei Verbraucher (in diesem Fall LEDs mit ihren Vorwiderständen).

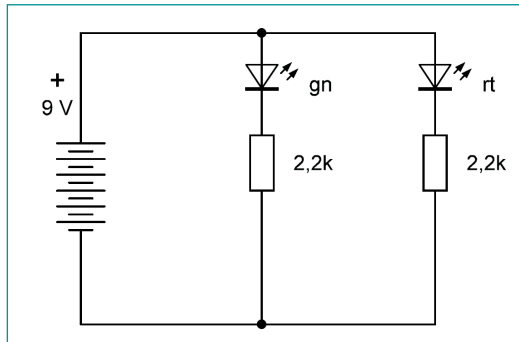


Abb. 2.5: Parallelschaltung

Auch im rechten Teil des Aufbaus werden vier Brücken gebraucht. Da braucht man eigentlich schon keinen Aufbauplan mehr, denn es ist ja klar, dass die Jumper auf der rechten Seite genau so gesteckt werden müssen wie auf der linken.

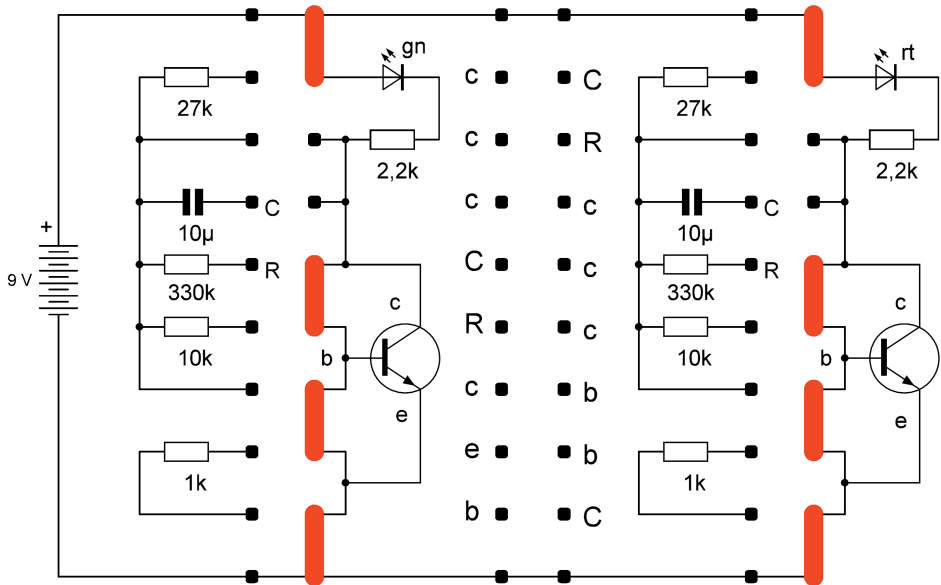


Abb. 2.6: Leuchte mit zwei LEDs

Nun leuchten beide LEDs. Damit hat man eine brauchbare kleine Leuchte gebaut, die man auch einmal im Dunkeln testen sollte. Meist reicht das Licht sogar zum Lesen. Man darf aber nicht vergessen, die Lampe am Ende wieder auszuschalten, denn sonst wird die Batterie unnötig belastet und schneller unbrauchbar. Zum Ausschalten muss man zwei Brücken entfernen. Am besten verwendet man dazu immer die oberen Brücken an der Plus-Leitung. Denn dann sieht man es auf einen Blick: Die Batterie ist abgeschaltet.

An der roten LED findet man eine etwas kleinere Spannung als an der grünen LED, nämlich nur etwa 1,8 V. Am Widerstand liegt dafür eine etwas größere Spannung von 7,2 V, wenn die Versorgungsspannung genau 9 V beträgt. Bei diesem Versuch fließt aber insgesamt ein relativ großer Strom von 6 mA, sodass ein Spannungsabfall von insgesamt 0,6 V an den beiden Schutzwiderständen der Schaltung entsteht. Mit einer ganz neuen Alkali-Batterie mit der Anschlussspannung 9,4 V wurde deshalb eine Betriebsspannung von 8,8 V gemessen.

### Messung



## 2

### 2.3 | Mehr Widerstand

Widerstand ist die Eigenschaft eines elektrischen Verbrauchers, die dafür sorgt, dass der Strom geringer wird. Ein Draht hat fast keinen Widerstand. Wenn man einen Stromkreis nur aus einer Batterie und einem Draht schließt, hat man einen Kurzschluss gebaut. Es fließt dann sehr viel Strom, der Draht könnte heiß werden oder die Batterie explodieren, in jedem Fall aber wird die Batterie sehr schnell unbrauchbar. Mit den Schutzwiderständen auf der Platine wird es nicht ganz so schlimm, aber die Batterie würde immer noch zu schnell verbraucht. Die Widerstände an den LEDs sorgen dagegen bei einer korrekten Schaltung dafür, dass nur wenig Strom fließt, oder gerade so viel, wie man braucht.

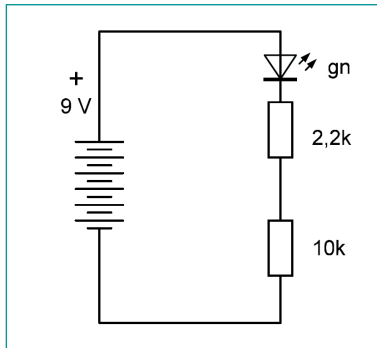


Abb. 2.7: Ein zusätzlicher Vorwiderstand

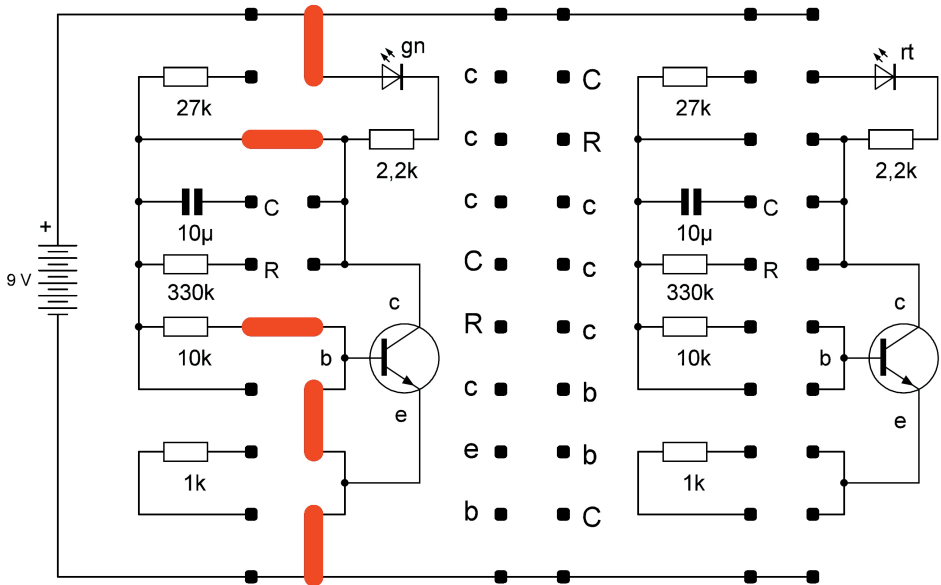


Abb. 2.8: Mehr Widerstand und weniger Helligkeit

Um noch mehr Strom zu sparen, soll nun eine Reihenschaltung mit der LED und ihrem Vorwiderstand von  $2,2\text{ k}\Omega$  und einem zusätzlichen Widerstand von  $10\text{ k}\Omega$  gebaut werden. Insgesamt hat man dann einen Widerstand von  $12,2\text{ k}\Omega$  in der Schaltung, also etwa fünfmal mehr als vorher. Der Strom durch die LED wird also ungefähr fünfmal kleiner, und auch das Licht wird wesentlich schwächer. Aber es ist immer noch gut zu sehen. Der Transistor hat übrigens in dieser Schaltung keinen Einfluss, weil die Verbindung b–e ihn völlig anschaltet. Das wird bei späteren Experimenten mit Transistoren noch eine wichtige Rolle spielen.

Spannung an der LED:  $2,6\text{ V}$

Spannung am Widerstand  $2,2\text{ k}\Omega$ :  $1,2\text{ V}$

Spannung am Widerstand  $10\text{ k}\Omega$ :  $5,2\text{ V}$

Wichtige Erkenntnis: Obwohl der LED-Strom nun wesentlich kleiner ist, hat sich die LED-Spannung nur geringfügig verändert, nämlich von  $2,7\text{ V}$  auf  $2,6\text{ V}$ . Zwischen den grünen LEDs gibt es übrigens erhebliche Unterschiede. Während der hier verwendete Typ mit grün-blauer Farbe

Messung

## 2

eine besonders hohe Spannung zeigt, findet man bei anderen Typen mit grün-gelbem Farbton eine deutlich kleinere Spannung.

Der größte Widerstand auf der Platine hat  $330\text{ k}\Omega$ . Wenn man ihn verwendet, wird der Strom noch viel kleiner. Vielleicht muss man jetzt schon in einem abgedunkelten Raum arbeiten, um das Licht der LED noch klar zu sehen. Andererseits ist erstaunlich, wie viel Licht immer noch erzeugt wird, obwohl nur noch ein Hundertstel des für die LED erlaubten Stroms fließt.

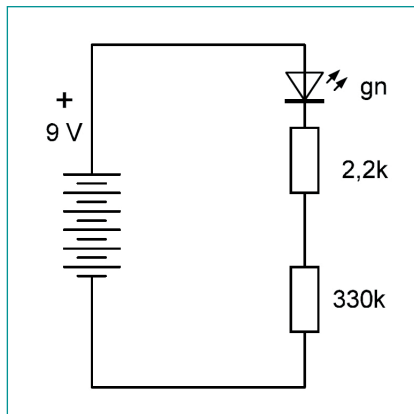
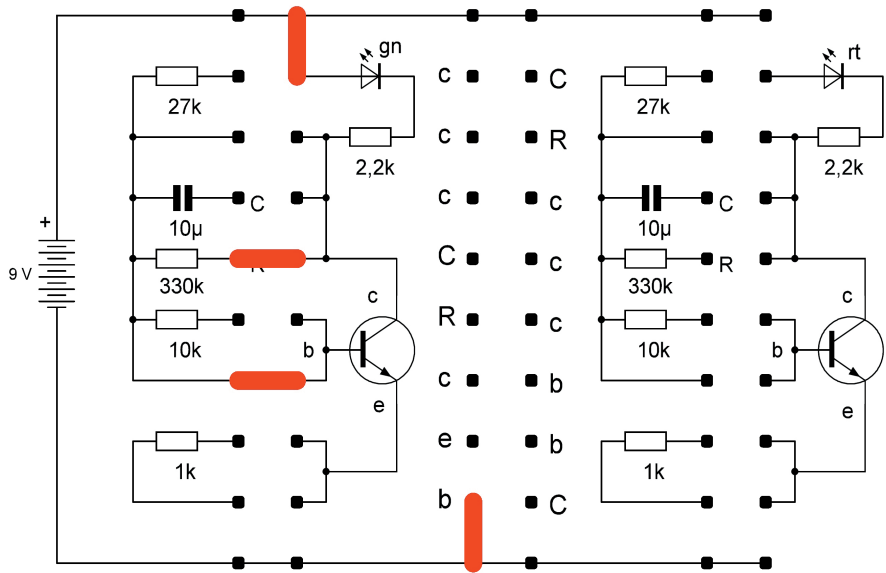


Abb. 2.9: Ein großer Vorwiderstand



Weniger Strom bedeutet auch, dass die Batterie länger durchhält. Die folgende Tabelle zeigt den Widerstand, den Strom und die vermutliche Lebensdauer der Batterie, wenn man mit einer frischen Alkali-Batterie beginnt. Wie man so etwas ausrechnen kann, wird noch besprochen. Man muss dazu auch etwas über die genauen Eigenschaften der LED wissen.

Abb. 2.10: Geringste Helligkeit

Widerstand	Strom	Betriebsdauer
2,2 kΩ	3 mA	Eine Woche
12,2 kΩ	0,5 mA	Zwei Monate
332,2 kΩ	0,02 mA	Drei Jahre

Um den Strom direkt zu messen, lässt man den Jumper zum Pluspol weg und berührt die beiden Kontakte mit den Messkabeln eines Amperemeters. Es kann ein Digitalmultimeter benutzt werden, und es sollte der passende Bereich bis 20 mA gewählt sein. Wenn längere Messungen durchgeführt werden sollen, können zusätzlich Kabel mit Steckbuchsen für die Verbindung zum Messgerät eingesetzt werden.

Messung

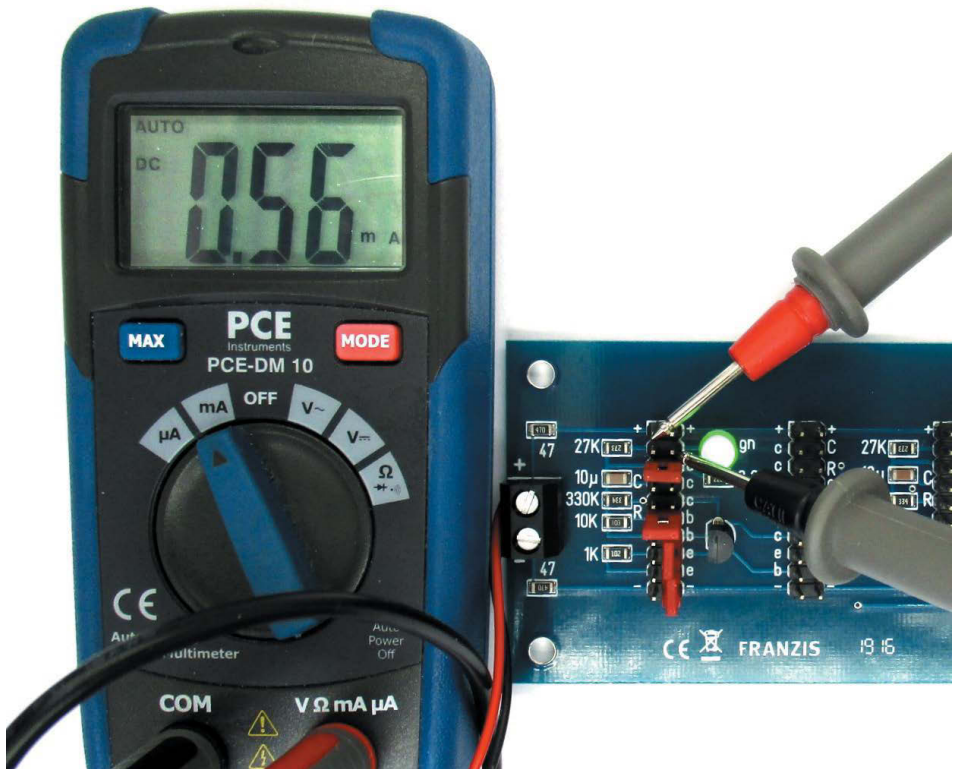


Abb. 2.11: Messung der Stromstärke

Oft ist es unbequem, dass man in einer Schaltung den Stromkreis erst unterbrechen muss, um ein Amperemeter einzufügen. Man kann stattdessen den Spannungsabfall an einem bekannten Widerstand messen und daraus den Strom berechnen. Bei einer Reihenschaltung bietet sich ein 10-k $\Omega$ -Widerstand dafür an, weil man die Aufgabe im Kopf lösen kann. An diesem Widerstand wird beispielsweise eine Spannung von 5,2 V gemessen. Daraus ergibt sich ein Strom von 0,52 mA. Im Rahmen der Messgenauigkeit findet man das gleiche Ergebnis wie bei einer direkten Stromstärkemessung.

$$I = U / R$$

$$I = 5,2 \text{ V} / 10 \text{ k}\Omega$$

$$I = 0,52 \text{ mA}$$

Darf es noch etwas mehr Widerstand sein? Man kann  $2,2\text{ k}\Omega + 330\text{ k}\Omega + 10\text{ k}\Omega = 342,2\text{ k}\Omega$  erreichen. Das macht allerdings keinen merklichen Unterschied mehr. Trotzdem muss es mal probiert werden, am besten gleich für beide LEDs. Der Transistor ist übrigens weiterhin ohne Funktion, weil seine Anschlüsse b und e kurzgeschlossen sind.

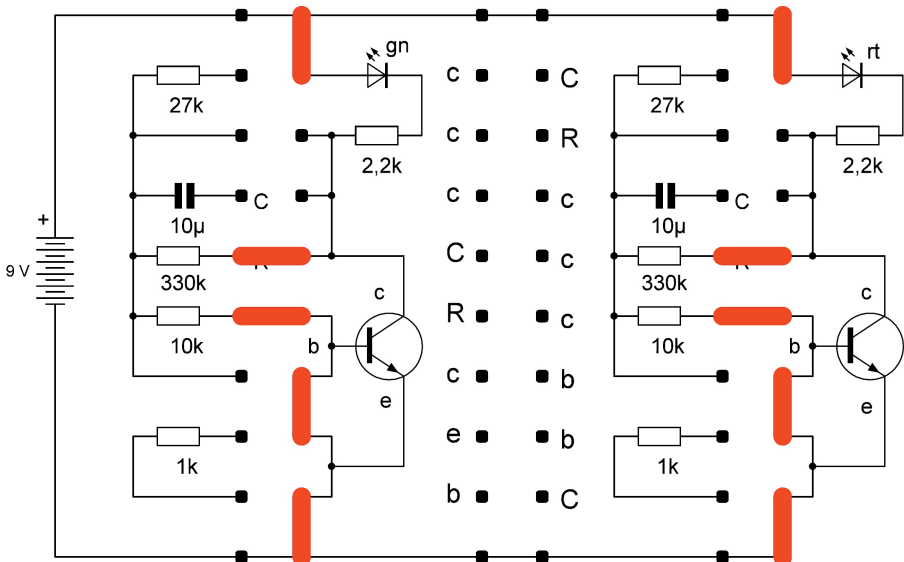


Abb. 2.12: Drei Widerstände in Reihe

Eine interessante Frage ist, wie sich die Helligkeiten beider LEDs bei kleinem Strom verhalten. Die grüne LED ist auch jetzt deutlich heller, aber beide LEDs sind noch gut erkennbar. Bei diesem geringen Strom leuchten die LEDs nur noch so schwach, dass man sich ausnahmsweise den LED-Kristall in Aktion ganz genau ansehen darf, ohne Schaden für die Augen befürchten zu müssen. Die Linsenform der Gehäuse funktioniert wie ein Vergrößerungsglas. Deshalb kann man die rechteckige Form der LED-Kristalle erkennen.

## 2.4 | Farbumschalter

Wenn man zwei LEDs mit ihren Vorwiderständen parallel schaltet und an eine Batterie legt, leuchten beide. Das wurde ja schon im Abschnitt 2.2 ausprobiert. Jetzt kommt noch ein gemeinsamer Widerstand mit  $330\text{ k}\Omega$

2

dazu. Was der bewirkt, wurde ja auch schon ausprobiert. Er verkleinert den Strom und macht das Licht schwächer. Aber nun wird die zweite LED mit angeschlossen.

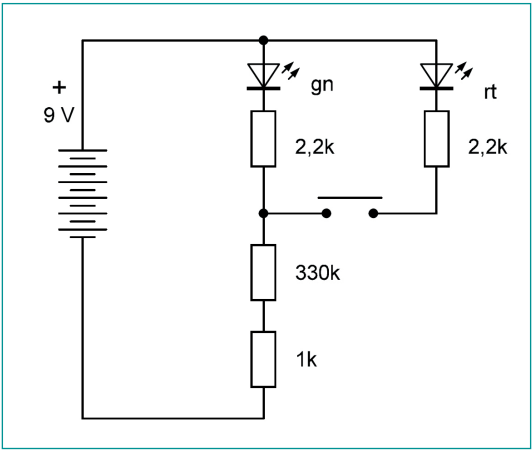


Abb. 2.13: Parallel-schaltung von LEDs

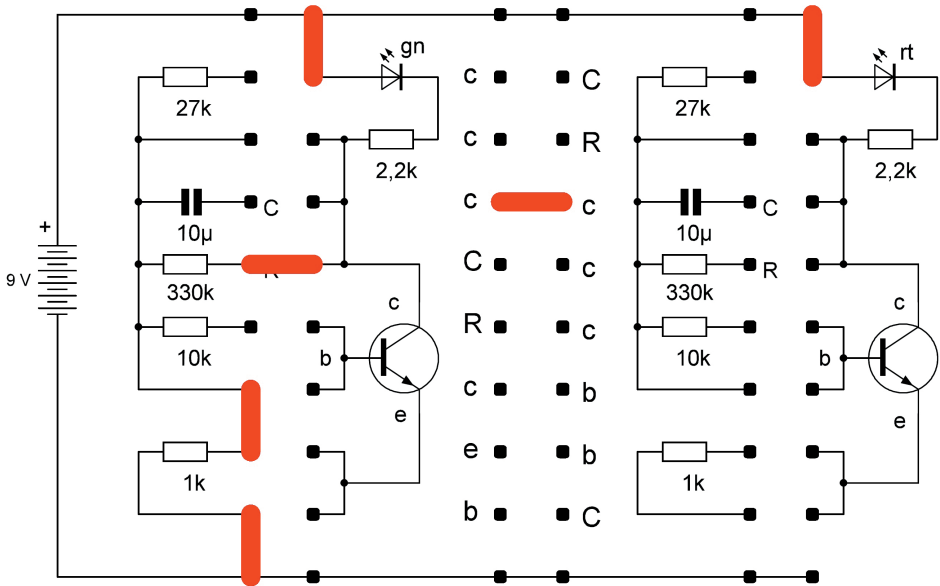


Abb. 2.14: Verbindung zur roten LED

Hier wird zum ersten Mal eine Verbindung zwischen dem linken und dem rechten Teil des Baukastensystems hergestellt. Die Verbindung c-c verbindet die beiden LEDs. Die Bezeichnung c stammt von den Transistoren, die da ebenfalls angeschlossen sind, jetzt aber noch ohne Funktion. An den Anschlüssen liegt nämlich der dritte Anschluss, der „Kollektor“ (engl. collector, abgekürzt c).

Wenn die Brücke c-c gesteckt ist, leuchtet nur die rote LED. Das erscheint zunächst sonderbar, denn die grüne LED ist ja parallel angeschlossen. Zieht man die Brücke ab, dann leuchtet nur die grüne LED. So kann man mit nur einer Verbindung gleich zwei Dinge gleichzeitig erreichen, nämlich die rote LED einschalten und die grüne LED ausschalten. Die Kontaktbrücke c-c wirkt also wie ein Umschalter: rot, grün, rot, grün ...

Dass die Schaltung so funktioniert, hängt mit den ganz besonderen Eigenschaften einer LED zusammen. Die grüne LED braucht mindestens eine Spannung von etwa 2,0 V, damit sie zu leuchten beginnt. Wenn man die Spannung nur wenig erhöht, steigt der Strom stark an. Bei 2,8 V hat man schon den maximal erlaubten Strom von 20 mA erreicht (vgl. die Kennlinien in Abschnitt 7.4). Deshalb ist es auch ganz schlecht, wenn man eine LED ohne Widerstand an eine Batterie mit mehr als der erlaubten Spannung legt. Bei der roten LED ist es ganz ähnlich. Allerdings sind die Spannungen bei gleichem Strom etwas kleiner. Bei 1,5 V fließt gerade ein ganz kleiner Strom, bei 1,8 V ist bereits die volle Helligkeit erreicht. Wenn nur ein kleiner Strom fließt, sorgt die rote LED dafür, dass sich eine geringe Spannung einstellt. Diese reicht aber nicht für die grüne LED. Wenn man aber die Verbindung zur roten LED öffnet, steigt die Spannung so weit an, dass die grüne LED leuchtet. Kurz gesagt, die rote LED kann der grünen LED die Spannung abgraben. Das Verhalten von LEDs wird weiter unten noch viel genauer untersucht.

Die Spannung an der grünen LED zusammen mit dem Vorwiderstand von 2,2 k $\Omega$  beträgt 2,3 V. Sie sinkt bei eingeschalteter roter LED auf nur noch 1,7 V.

*Messung*

Und was passiert, wenn die rote LED ihren eigenen Widerstand bekommt? Bei geöffneter Verbindung leuchten beide LEDs. Aber wenn die Verbindung geschlossen wird, leuchtet die rote LED heller, und die grüne LED geht aus.



2

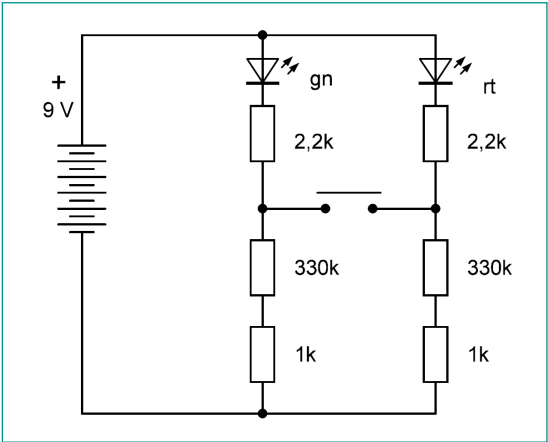


Abb. 2.15: Getrennt oder zusammen

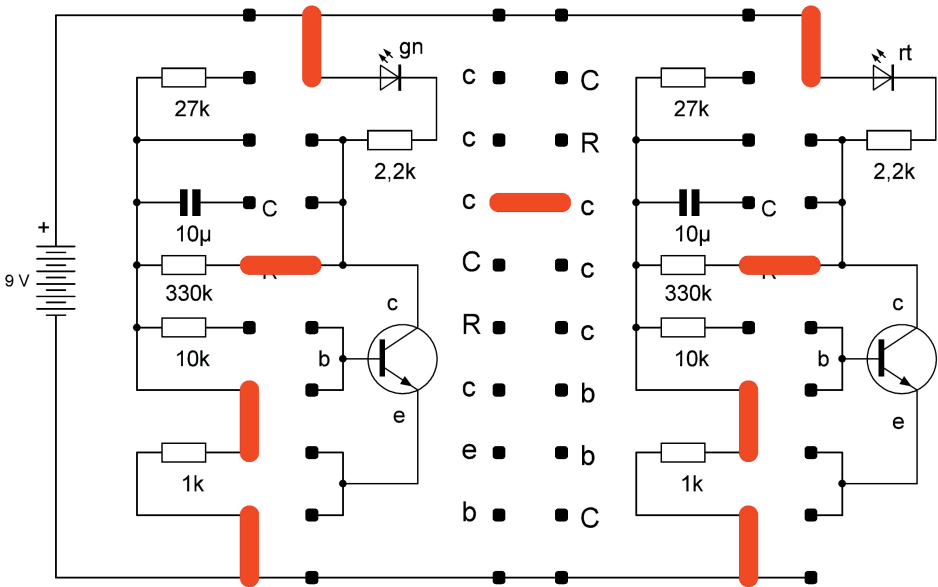


Abb. 2.16: Beide LEDs parallel

Das funktioniert allerdings nur, wenn beide Zusatzwiderstände  $330\text{ k}\Omega$  haben. Versucht man es mit  $10\text{ k}\Omega$ , geht die grüne LED nicht mehr ganz aus. Das liegt an den Vorwiderständen von  $2,2\text{ k}\Omega$  an den LEDs. Je größer der Strom wird, desto größer wird auch der zusätzliche Spannungsabfall an diesen Widerständen, und damit wird der eigentlich sehr deutliche Unterschied zwischen der roten und der grünen LED verwischt.

# 3 TRANSISTOREN UND VERSTÄRKER

Der Transistor ist ein vielseitig einsetzbares Bauteil. Er kann als Verstärker verwendet werden oder auch als Schalter oder für ganz andere Zwecke. Das Experimentiersystem enthält zwei gleiche Transistoren. Es handelt sich um NPN-Transistoren vom Typ BC547C. Es gibt noch viele andere Arten von Transistoren. Wer aber einfache Experimente mit NPN-Transistoren durchführt, erhält bereits einen guten Überblick über die Anwendung von Halbleiter-Bauelementen.

## 3.1 | Transistor-Schalter

Die Grundfunktion des Transistors ist nicht schwer zu verstehen. Der Emitter (e) soll an den Minuspol der Batterie angeschlossen werden, der Kollektor (c) mit einem Verbraucher in Reihe an den Pluspol. Der Verbraucher besteht in diesem Fall aus der LED mit ihrem Vorwiderstand. Im Grundzustand ist der Transistor ein Nichtleiter, es fließt also kein Strom. Wenn man aber einen kleinen Strom durch den Basisanschluss (b) leitet, fließt ein sehr viel größerer Strom durch den Kollektor und den Emitter. Ein kleiner Basisstrom wird also zu einem großen Kollektorstrom verstärkt. Der Kollektorstrom kann 500 Mal größer sein als der Basisstrom. Man spricht dann davon, dass der Transistor eine 500-fache Stromverstärkung hat.

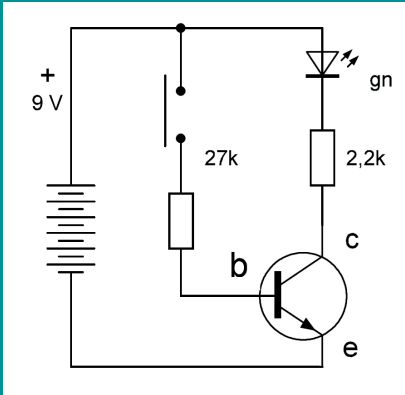


Abb. 3.1: Den Basisstrom einschalten

Im ersten Versuch soll ein kleiner Basisstrom über den Widerstand von  $27\text{ k}\Omega$  fließen. Wenn man zuerst nur den Jumper an der LED und den am Emitter aufsteckt, ist der Stromkreis scheinbar schon geschlossen und besteht aus Batterie, LED, dem Widerstand mit  $2,2\text{ k}\Omega$  und dem Transistor mit seinen beiden Anschlüssen Kollektor und Emitter. Aber der Transistor leitet nicht und verhält sich wie ein geöffneter Schalter.

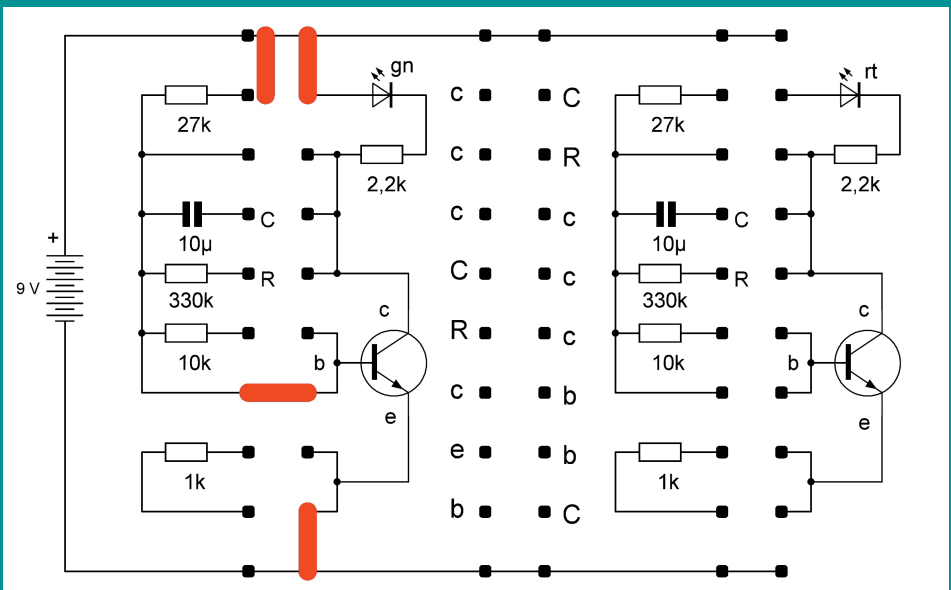


Abb. 3.2: Grundversuch zur Funktion des Transistors

## 3

Nun soll auch noch der Basis-Stromkreis geschlossen werden. Dazu braucht man einen Jumper, der den 27-k $\Omega$ -Widerstand an Plus legt und einen zweiten, der die Basis damit verbindet. Sobald beide Jumper gesteckt sind, leuchtet die LED. Der Basiswiderstand ist viel größer als der Widerstand an der LED. Daher weiß man, dass nur ein kleiner Basisstrom fließt. Trotzdem zeigt die LED die volle Helligkeit. Der kleine Basisstrom wurde also zu einem großen Kollektorstrom verstärkt. Man kann es auch so sagen: Der kleine Basisstrom hat den Transistor dazu gebracht, dass er den größeren Kollektorstrom einschaltet. Und wenn man den Basisstrom abschaltet, schaltet der Transistor die LED aus.

## Messung

Die Spannung zwischen Basis und Emitter beträgt im eingeschalteten Zustand ungefähr 0,6 V bis 0,7 V, in diesem Fall wurden 0,69 V gemessen. Am Basiswiderstand von 27 k $\Omega$  liegt eine Spannung von 8,3 V. Daraus kann man den Basisstrom von 0,31 mA berechnen. Der Kollektorstrom ist mit etwa 3 mA wesentlich größer.

## 3.2 | Voll eingeschaltet?

Eine wichtige Frage ist nun, ob der Transistor den Strom genauso gut einschaltet wie ein Schalter oder ein Jumper. Es könnte ja sein, dass der Transistor immer noch einen gewissen Widerstand hat, sodass ein echter Schalter die LED noch heller schalten könnte. Um das zu testen, soll eine zusätzliche Verbindung zwischen Emitter und Kollektor gesteckt werden.

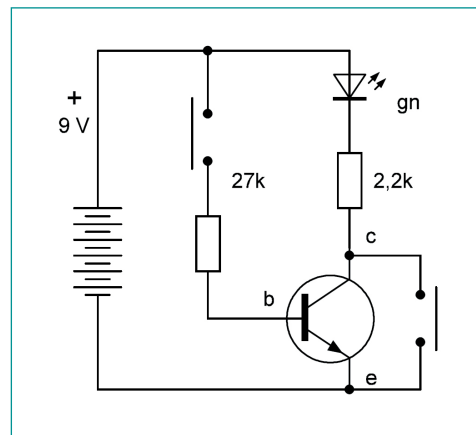


Abb. 3.3: Überbrücken des Transistors

Damit diese Verbindung mit Jumpern möglich ist, muss man einen Umweg über den rechten Transistor nehmen. Dessen Basis und Emmitter werden nach Minus verbunden. Dann kann ein Jumper zwischen c [links] und b [rechts] auf der mittleren Kontaktleiste die Verbindung schließen. Der Kollektor des linken Transistors wird also mit dem Minuspol verbunden. Aber wird die LED dadurch noch heller? Nein! Das Ergebnis lautet also, dass der Transistor allein schon ein sehr guter Schalter ist.

Nun kann man noch mehr ausprobieren. Die LED soll einmal vom Transistor und einmal vom Schalter eingeschaltet werden. Dazu öffnet man den Basisstromkreis, indem man einen der linken Jumper abzieht. Die LED geht aus. Mit dem Jumper in der Mitte kann sie aber wieder eingeschaltet werden. Egal, ob der Transistor den Strom einschaltet oder der Jumper, das Ergebnis ist gleich.

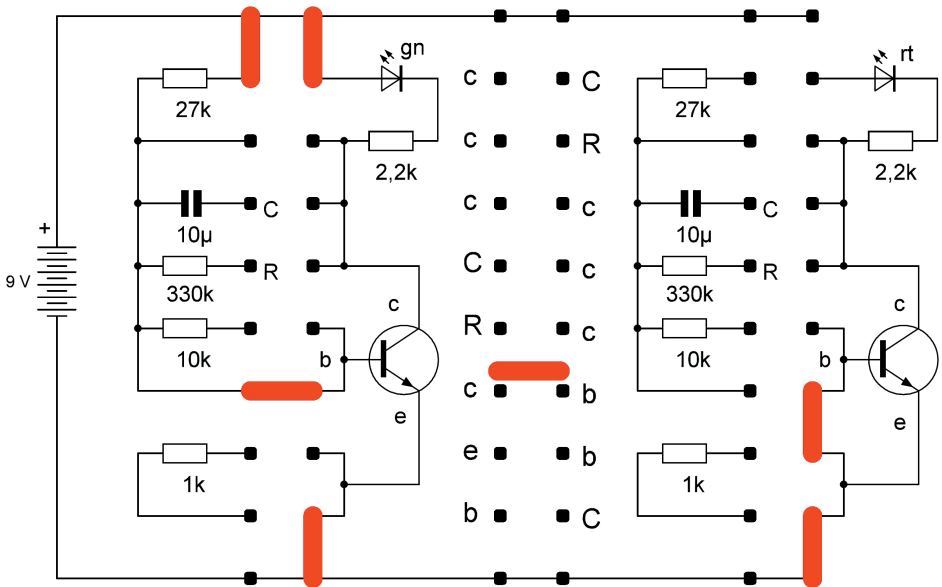


Abb. 3.4: Test mit direkter Verbindung

Jetzt könnte jemand natürlich den Nutzen des Transistors anzweifeln, weil ja ein Schalter gebraucht wird, um den Transistor einzuschalten. Aber das ist nur ein erstes Beispiel. Später kommen Schaltungen hinzu, bei denen sich die Transistoren gegenseitig ein- und ausschalten. Dann zeigt der Transistor, was er kann.

## 3

**Messung**

Die Kollektor-Emitter-Restspannung beträgt im eingeschalteten Zustand nur etwa 0,03 V [30 mV] und ist damit nur unwesentlich größer als der Spannungsabfall an einem geschlossenen Jumperkontakt, der so klein ist, dass man ihn mit einem einfachen Digitalmultimeter nicht mehr sicher feststellen kann.

**3.3 | Mehr Verstärkung**

Jetzt wird der Basiswiderstand auf 330 k $\Omega$  vergrößert. Damit man sehen kann, wie klein der Basisstrom ist, soll die rote LED ihn anzeigen. Und tatsächlich, die grüne LED leuchtet sehr hell, die rote nur ganz schwach.

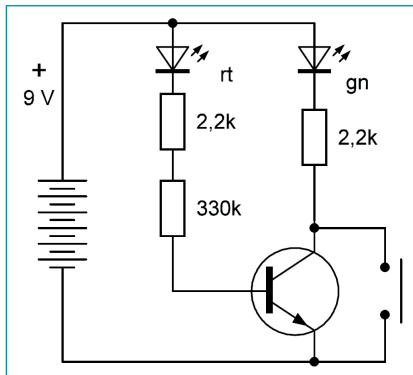


Abb. 3.5: Geringer Basisstrom

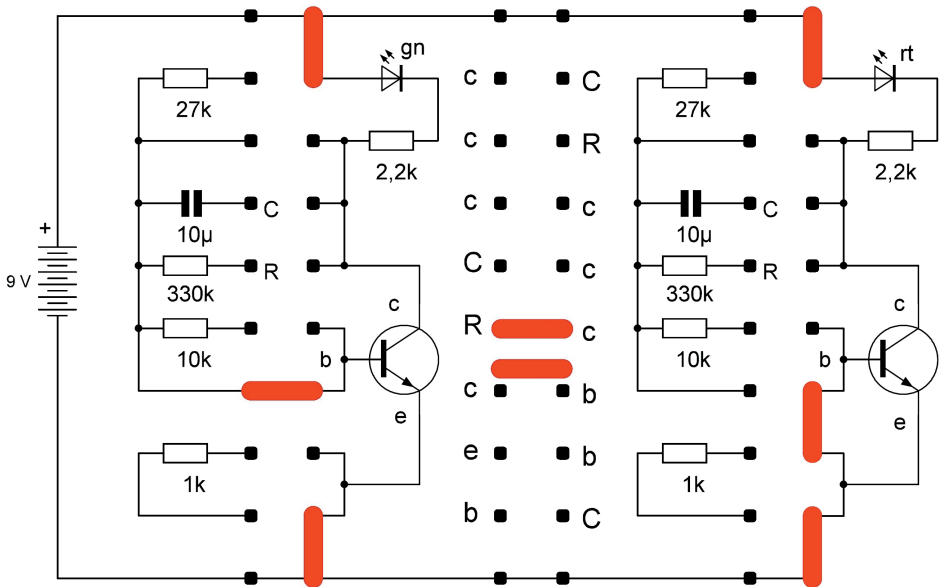


Abb. 3.6: Anzeige des Basisstroms

Der Basiswiderstand ist 150 Mal größer als der Kollektorwiderstand. Deshalb ist auch der Basisstrom ungefähr 150 Mal kleiner als der Kollektorstrom. Da muss der Transistor den Basisstrom mindestens 150-fach verstärken können. Aber ist er dann noch in der Lage, so gut wie ein Draht oder ein Schalter zu leiten? Das verrät ein Test mit der zusätzlichen Verbindung zum Minuspol. Tatsächlich wird die grüne LED nicht merklich heller.

Eine Messung zeigt eine Kollektor-Emitter-Spannung von 0,11 V. Das bedeutet, dass der Transistor auch bei diesem sehr geringen Basisstrom noch fast perfekt einschaltet.

### 3.4 | Alarmanlage

Eine Alarmanlage kann einen Kontakt oder einen dünnen Draht verwenden, den ein Einbrecher versehentlich durchtrennt. Dadurch wird der Alarm ausgelöst. Wenn der Einbrecher den Draht entdecken sollte und ihn durchschneidet, um die Anlage außer Betrieb zu setzen, dann passiert das Gleiche: Es gibt einen Alarm. In diesem Fall geht die grüne LED an.



## 3

Normalerweise würde man erwarten, dass die LED an ist, solange der Kontakt geschlossen ist. Hier ist es genau umgekehrt. Das ist möglich, weil der Kontakt zwischen Basis und Emittor des Transistors liegt und die Basisspannung kurzschließt. Deshalb fließt kein Basisstrom, und der Transistor bleibt gesperrt.

„Kurzschluss“ hört sich gefährlich an, aber in diesem Fall besteht keine Gefahr, weil der Strom durch den Basiswiderstand begrenzt wird. Man sieht auch ein schwaches Leuchten der roten LED. Wenn der Kontakt geöffnet und geschlossen wird, ist kaum ein Unterschied zu bemerken. Nur die grüne LED reagiert. Bei offenem Kontakt leuchtet sie mit voller Helligkeit und zeigt den Alarm an.

Man kann den Jumper als Kontaktbrücke verwenden und mit einem Faden versehen. Der Faden wird an einer Tür oder an einem Fenster befestigt. Beim Öffnen soll der Faden den Jumper abziehen, sodass der Alarm losgeht.

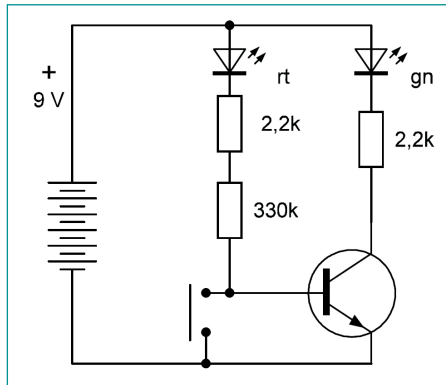


Abb. 3.7: Kurzschluss der Basisspannung

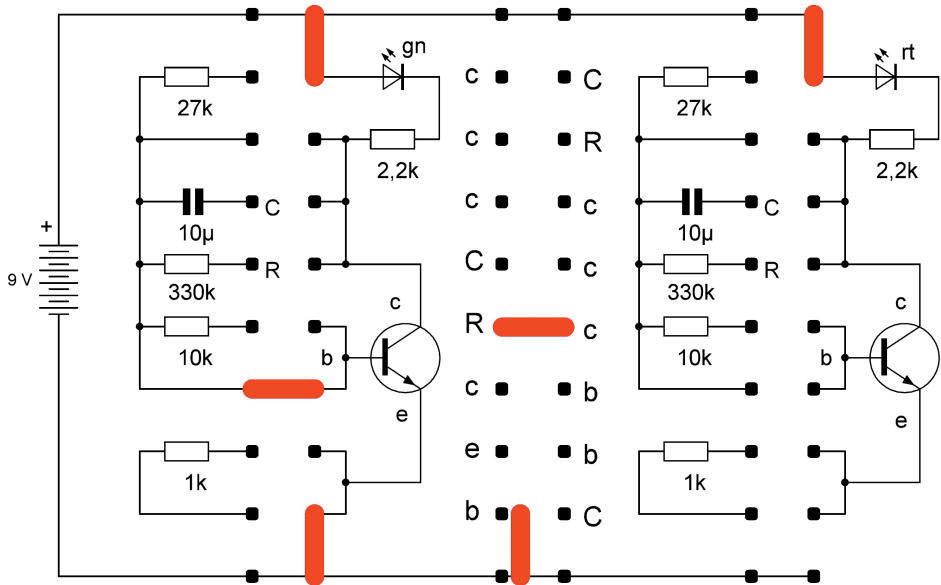


Abb. 3.8: Geöffnete Stromschleife

Wie groß ist der Basisstrom im geschlossenen und im geöffneten Zustand? Man kann schon vermuten, dass der Unterschied gering ist, weil der Spannungsabfall am  $330\text{-k}\Omega$ -Widerstand bei geöffnetem Kontakt nur um die Basis-Emitter-Spannung von  $0,6\text{ V}$  kleiner wird. Eine Messung der Spannung an diesem Widerstand zeigt  $7,7\text{ V}$  [geschlossen] und  $6,8\text{ V}$  [geöffnet]. Die gemessene Differenz ist mit  $0,9\text{ V}$  größer als erwartet, weil sich durch die Belastung mit dem LED-Strom auch die Betriebsspannung etwas ändert. Das zeigt auch eine direkte Messung zwischen Plus und Minus.

### Messung

Aus den gemessenen Spannungen errechnet man einen Strom von  $23\text{ }\mu\text{A}$  oder  $21\text{ }\mu\text{A}$ . Um den Strom direkt zu messen, kann man den Jumper der roten LED nach Plus öffnen und dort das Strommessgerät einfügen.

## 3

## 3.5 | Gekoppelte Schalter

Mit einem Kontakt kann man gleich zwei Transistoren einschalten. Am Emittterwiderstand des ersten Transistors entsteht im eingeschalteten Zustand ein Spannungsabfall, der den zweiten Transistor einschaltet. Und es gibt in dieser Schaltung einen zweiten Kontakt, der das Gegenteil bewirkt: Er schaltet beide Transistoren ab. Das Ganze kann als Alarmanlage verwendet werden, wobei der obere Kontakt die Anlage scharf schaltet und der untere den Alarmkontakt bildet.

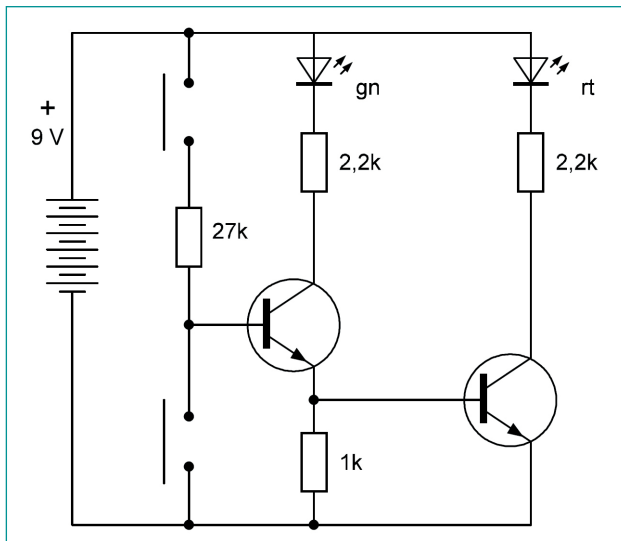


Abb. 3.9:  
Direkt gekoppelte  
Transistoren

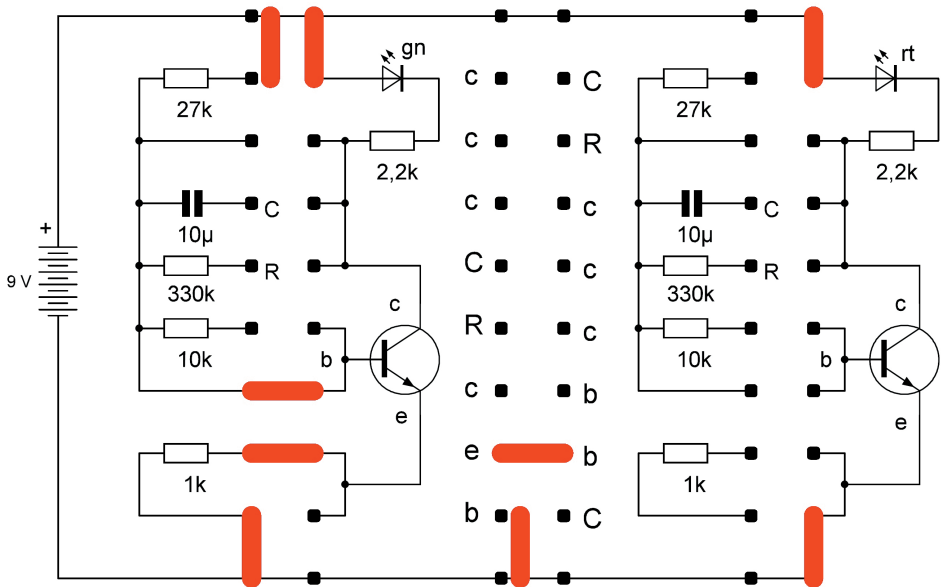


Abb. 3.10: Ein- und Ausschalten beider LEDs

Eine Messung zeigt 0,7 V an der Basis des rechten Transistors und 1,4 V an der Basis des linken Transistors, jeweils gemessen gegen den Minuspol. Beide Transistoren sind voll durchgesteuert und haben eine Kollektor-Emitter-Spannung von 0,03 V (links) und 0,02 V (rechts). Der rechte Transistor ist also etwas stärker durchgesteuert, weil er wesentlich mehr Basisstrom erhält.

### 3.6 | Alarmanlage mit Bereitschaftsanzeige

Bei einer Alarmanlage kommt es darauf an, dass sie den Alarm sehr deutlich anzeigt und dass die Batterie möglichst lange hält. Diese Schaltung leistet beides. Durch den großen Basiswiderstand von 330 kΩ wird nur ein sehr kleiner Ruhestrom von rund 20 μA gebraucht. Und dieser kleine Strom fließt auch durch die grüne LED, die dauernd schwach leuchtet. Damit hat man zusätzlich eine Bereitschaftsanzeige. Aber wenn die Drahtbrücke entfernt wird, reicht der Strom für eine große Aussteuerung des linken Transistors aus, der dann gleichzeitig auch den rechten Transistor einschaltet. Im Alarmfall leuchten also beide LEDs hell auf.

3

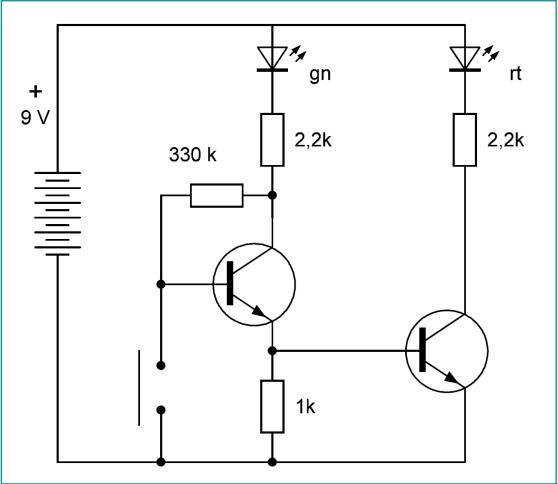


Abb. 3.11:  
Die verbesserte  
Alarmanlage

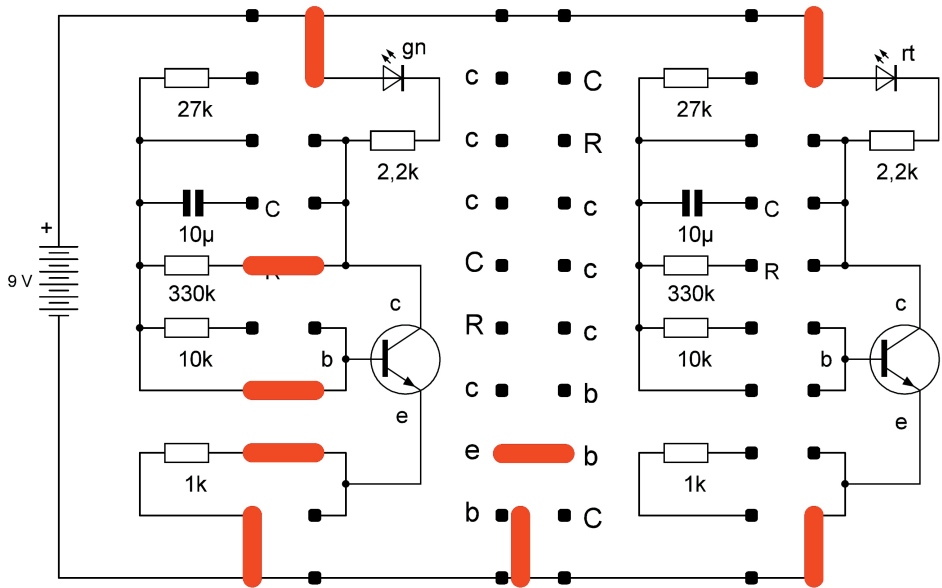


Abb. 3.12: Aufbau  
mit Basiswiderstand  
330 kΩ

Das Franzis Lernpaket

# Grundsaltungen der Elektronik

Mit diesem Franzis-Lernpaket bauen Sie ein voll ausgestattetes Experimentiersystem, mit dem Sie sich Ihr Wissen in der Halbleiter-Schaltungstechnik aneignen oder vertiefen können. Die Bauteile sind fertig aufgelötet, nur die Verbindungen müssen noch gesteckt werden, und schon hat man eine voll funktionsfähige Schaltung.

## Schnelle Experimente

Die Verbindungstechnik mit Jumpers garantiert die schnellste und sicherste Art, eine Schaltung zu bauen. Schaltungsvarianten und neue Ideen sind damit blitzschnell getestet. Nach wenigen Experimenten kennt jeder die Platine so genau, dass er eigene Schaltungen entwickeln kann.

## Sichere Versuche

Alle vorgestellten Schaltungen lassen sich blitzschnell und fehlerfrei nachbauen. Auch wenn bei eigenen Versuchen doch einmal ein Fehler passieren sollte, ist dank der eingebauten Strombegrenzung eine Beschädigung von Bauteilen ausgeschlossen.

## Ein leicht verständliches Handbuch

Das umfangreiche illustrierte Handbuch bietet Unterstützung für den Einstieg in die Elektronik und erläutert Schritt für Schritt den Aufbau der Schaltungen. So gelingt die praktische Umsetzung, und schon bald können Sie mit dem System auch eigene anspruchsvolle Projekte entwickeln.

## Projekte, die wirklich funktionieren!

Dieses Franzis Lernpaket zeichnet sich durch hohe Qualität und leichte Umsetzbarkeit auch für Einsteiger aus. Alle Experimente wurden sorgfältig überprüft und auf ihre Praxistauglichkeit getestet. Sie können also sicher sein, dass auch bei Ihnen zu Hause alles klappt. Franzis-Lernpakete halten, was sie versprechen: Projekte, die wirklich funktionieren!

**Zusätzlich erforderlich: LötKolben, Lötzinn, 9-V-Blockbatterie**

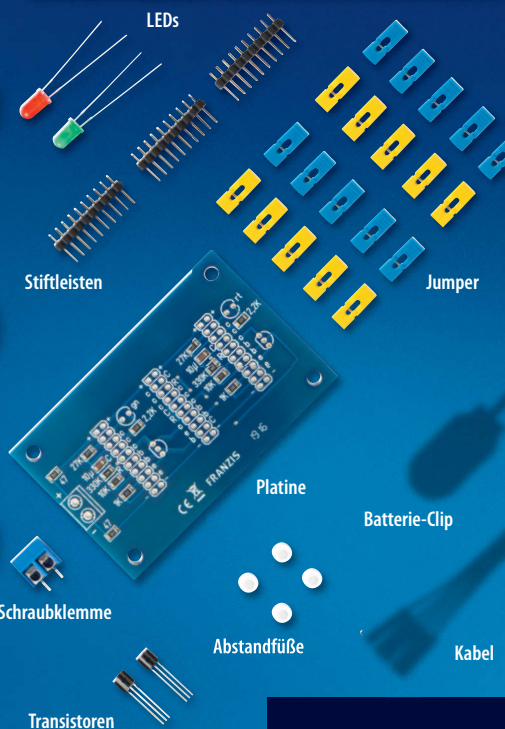
Mehr Bücher, Elektronik und Software unter [www.elo-web.de](http://www.elo-web.de)

© 2016 Franzis Verlag GmbH  
Richard-Reitzner-Allee 2, D-85540 Haar b. München 2016/01

## Das bauen Sie selbst:

- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| • Alarmanlage         | • Gute-Nacht-Licht |
| • Blitzlicht          | • Berührungssensor |
| • Nachlaufsteuerung   | • Touch-Dimmer     |
| • Elektrofahrsensor   | • Abend-Licht      |
| • Lichtsensor         | • RS-Flipflop      |
| • Konstantstromquelle | • Wechselblinker   |

## Die Bauteile im Überblick



Für Kinder unter  
14 Jahren  
nicht geeignet!



ISBN 978-3-645-65361-9



9 783645 653619

**FRANZIS**