

Das Franzis Handbuch

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.

Achtung! Augenschutz und LEDs:

Blicken Sie nicht aus geringer Entfernung direkt in eine LED, denn ein direkter Blick kann Netzhautschäden verursachen! Dies gilt besonders für helle LEDs im klaren Gehäuse sowie in besonderem Maße für Power-LEDs. Bei weißen, blauen, violetten und ultravioletten LEDs gibt die scheinbare Helligkeit einen falschen Eindruck von der tatsächlichen Gefahr für Ihre Augen. Besondere Vorsicht ist bei der Verwendung von Sammellinsen geboten. Betreiben Sie die LEDs so wie in der Anleitung vorgesehen, nicht aber mit größeren Strömen.

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

© 2014 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.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Versuche mit LEDs	17
2.1	Gebremster Strom	17
2.2	Farbwechsel	19
2.3	Strom gesperrt	20
2.4	Alles parallel	21
2.5	Die Kurven einer LED	22
2.6	Alle in einer Reihe	24
3	Kondensatoren	27
3.1	Energiespeicher	27
3.2	Lange und kurze Zeiten	29
3.3	Die Richtung wechseln	30
4	Transistor-Grundsaltungen	33
4.1	Mehr Strom!	33
4.2	Anders gepolt	36
4.3	Elektronische Einbahnstraßen	37
4.4	Umgekehrt	39
4.5	Licht für eine Minute	40
4.6	Wenn es dämmt	42
4.7	Stromverstärkung hoch zwei	43
4.8	Ein ungleiches Paar	45
4.9	Die LED lernt sehen	48
4.10	Konstante Helligkeit	49
4.11	Gespiegelter Strom	51
5	NF-Verstärker	55
5.1	Knacken aus dem Lautsprecher	55
5.2	Verstärkte Töne	57
5.3	Zwei Stufen lauter	59
5.4	Radioklänge	62
5.5	Emitter folgt Basis	64
5.6	Im Gegentakt	65

6	Kippschaltungen	67
6.1	Flip und Flop.....	67
6.2	Zünden und löschen.....	68
6.3	Getriggerte Helligkeit	71
6.4	Zurückgekoppelt	72
7	Blinkerschaltungen und Oszillatoren	75
7.1	Streng im Wechsel	75
7.2	An und Aus.....	76
7.3	Je heller desto höher	79
7.4	Spannung steuert Töne	81
7.5	Sägezähne	82
8	Operationsverstärker.....	85
8.1	Den kleinen Unterschied verstärken	85
8.2	Operation Vergleich	87
8.3	Verstärkung Eins	88
8.4	Spannung mal zwei	89
8.5	Verstärkte Töne	90
8.6	Dreieck und Rechteck.....	93
9	Der Timer NE555	97
9.1	Töne erzeugen.....	97
9.2	Präzise getaktet	100
9.3	Schwelle erreicht	101
9.4	Schneller Puls	102
9.5	Lügendetektor.....	104
10	Spezialanwendungen	107
10.1	Gepumpte Ladung.....	107
10.2	Kurzwellenklänge.....	108
10.3	Meeresrauschen.....	110
10.4	Weicher Blinker	111
A	Anhang.....	115

1 Einleitung

Dieses Lernpaket wurde zusammengestellt, um Ihnen die wichtigsten Grundlagen der Elektronik vorzustellen. Was nützt alle graue Theorie ohne die Praxis! Deshalb wurde ein Experimentierpaket mit den wichtigsten Bauteilen gepackt. Schnell werden Sie den Überblick gewinnen und über die vorgestellten Schaltungen hinaus eigene Ideen entwickeln und erproben. Zur Durchführung der Experimente benötigen Sie eine 9-V-Blockbatterie, die aus Gründen der unbestimmten Lagerungszeit nicht im Lernpaket enthalten ist.

Das Steckfeld

Alle Versuche werden auf der beiliegenden Labor-Experimentierplatine aufgebaut. Das Steckfeld mit insgesamt 270 Kontakten im 2,54-mm-Raster sorgt für sichere Verbindungen der integrierten Schaltungen (ICs) und der Einzelbauteile.

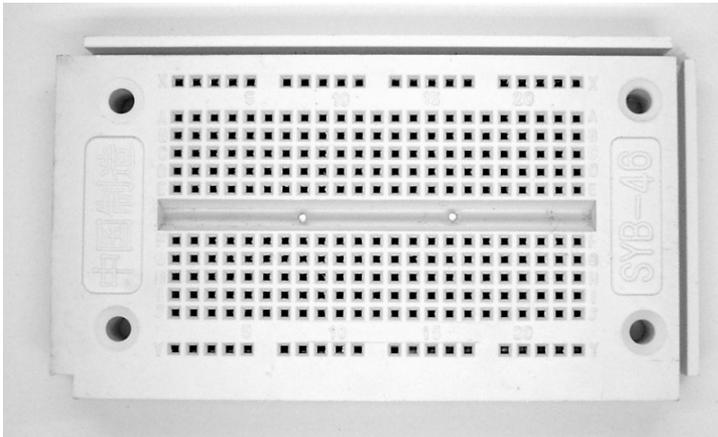


Abb. 1.1: Das Experimentierfeld

Das Steckfeld hat im mittleren Bereich 230 Kontakte, die jeweils durch vertikale Streifen mit 5 Kontakten leitend verbunden sind. Zusätzlich gibt es am Rand 40 Kontakte für die Stromversorgung, die aus zwei horizontalen Kontaktfederstreifen mit 20 Kontakten bestehen. Das Steckfeld verfügt damit über zwei unabhängige Versorgungsschienen. Abb. 1.2 zeigt alle internen Verbindungen. Man erkennt die kurzen Kontaktreihen im Mittelfeld und die langen Versorgungsschienen am Rand.

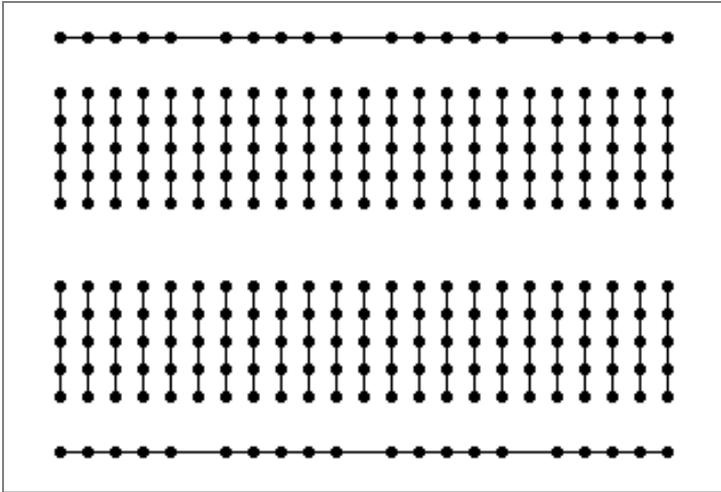


Abb. 1.2: Die internen Kontaktreihen

Das Einsetzen von Bauteilen benötigt relativ viel Kraft. Die Anschlussdrähte knicken daher leicht um. Wichtig ist, dass die Drähte exakt von oben eingeführt werden. Dabei hilft eine Pinzette oder eine kleine Zange. Ein Draht wird möglichst kurz über dem Steckbrett gepackt und senkrecht nach unten gedrückt. So lassen sich auch empfindliche Anschlussdrähte wie die verzinnenden Enden des Batterieclips und des Piezo-Schallwandlers ohne Knicken einsetzen.

Für die Versuche benötigen Sie kurze und längere Drahtstücke, die Sie passend von dem beiliegenden Schaltdraht abschneiden müssen. Zum Abisolieren der Drahtenden hat es sich als praktisch erwiesen, die Isolierung mit einem scharfen Messer rundherum einzuschneiden.

Die folgende Übersicht zeigt Ihnen alle vorhandenen Bauteile mit ihren Schaltsymbolen, wie sie in den Schaltplänen verwendet werden. Statt einer Batterie könnte z. B. auch ein Labornetzteil verwendet werden.

Die Batterie

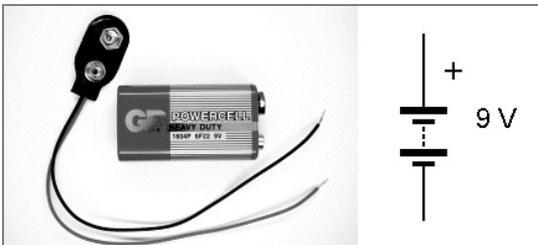


Abb. 1.3: Die Batterie und der Batterieclip

Verwenden Sie keine Alkali-Batterie und keinen Akku, sondern nur einfache Zink-Kohle-Batterien. Zwar weist die Alkali-Batterie eine größere Lebensdauer auf, sie liefert jedoch im Fehlerfall, z. B. bei einem Kurzschluss, ebenso wie ein Akku sehr große Ströme bis über 5 A, die dünne Drähte oder die Batterie selbst stark erhitzen können. Der Kurzschlussstrom einer Zink-Kohle-Blockbatterie ist dagegen meist kleiner als 1 A. Damit können zwar bereits empfindliche Bauteile zerstört werden, eine Verbrennungsgefahr besteht aber nicht.

Der beiliegende Batterieclip besitzt ein Anschlusskabel mit biegsamer Litze. Die Kabelenden sind abisoliert und verzinnt. Sie sind damit steif genug, um sie in die Kontakte des Steckbretts einzuführen. Allerdings können sie durch häufiges Stecken ihre Form verlieren und aufspießen. Es wird daher empfohlen, die Batterieanschlüsse immer angeschlossen zu lassen und nur den Clip von der Batterie abzuziehen.

Leuchtdioden

Das Lernpaket enthält eine rote und eine grüne LED. Hier muss grundsätzlich die Polung beachtet werden. Der Minus-Anschluss heißt Kathode und liegt am kürzeren Anschlussdraht. Der Plus-Anschluss ist die Anode. Im Inneren der LED erkennt man einen kelchartigen Halter für den LED-Kristall, der an der Kathode liegt. Der Anodenanschluss ist mit einem extrem dünnen Drähtchen mit einem Kontakt auf der Oberseite des Kristalls verbunden. Achtung, anders als Glühlämpchen dürfen LEDs niemals direkt mit einer Batterie verbunden werden. Es ist immer ein Vorwiderstand nötig.

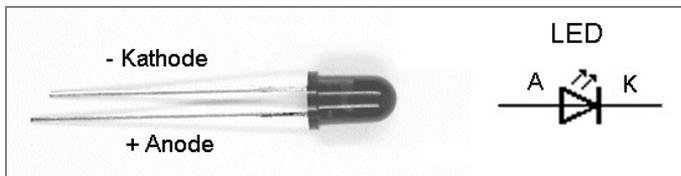


Abb. 1.4: Die Leuchtdiode

Widerstände

Die Widerstände im Lernpaket sind Metallschichtwiderstände mit Toleranzen von 1%. Die Widerstandsschicht ist auf einen Keramikstab aufgebracht und mit einer Schutzschicht überzogen. Die Beschriftung erfolgt in Form von Farbringen. Neben dem Widerstandswert ist auch die Genauigkeitsklasse angegeben.

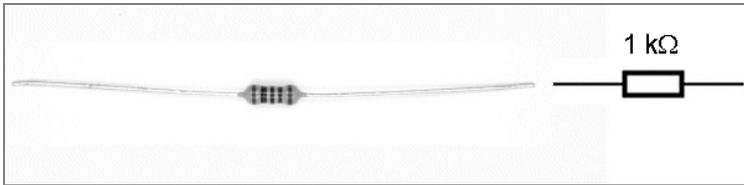


Abb. 1.5: Ein Widerstand

Widerstände gibt es üblicherweise in den Werten der E24-Reihe, wobei jede Dekade 24 Werte mit etwa gleichmäßigem Abstand zum Nachbarwert enthält.

Tabelle 1.1: Widerstandswerte nach der Normreihe E24

1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6
1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1
5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Der Farbcode verwendet vier Ringe für den Widerstand und einen Ring für die Toleranz. Die ersten drei Ringe stehen für drei Ziffern, der vierte für einen Multiplikator des Widerstandswerts in Ohm. Ein vierter Ring gibt die Toleranz an.

Tabelle 1.2: Der Widerstands-Farbcode

Farbe	Ring 1 1. Ziffer	Ring 2 2. Ziffer	Ring 3 2. Ziffer	Ring 4 Multiplikator	Ring 5 Toleranz
Schwarz		0	0	1	
Braun	1	1	1	10	1%
Rot	2	2	2	100	2%
Orange	3	3	3	1000	
Gelb	4	4	4	10000	
Grün	5	5	5	100000	0,5%
Blau	6	6	6	1000000	
Violett	7	7	7	10000000	
Grau	8	8	8		
Weiß	9	9	9		
Gold				0,1	
Silber				0,01	

Ein Widerstand mit den Farbringen Gelb, Violett, Schwarz, Schwarz und Braun hat den Wert 470 Ohm bei einer Toleranz von 1%. Im Lernpaket befinden sich jeweils zwei Widerstände der folgenden Werte:

470 Ω	Gelb, Violett, Schwarz, Schwarz, Braun
1 k Ω	Braun, Schwarz, Schwarz, Braun, Braun
10 k Ω	Braun, Schwarz, Schwarz, Rot, Braun
100 k Ω	Braun, Schwarz, Schwarz, Orange, Braun
1 M Ω	Braun, Schwarz, Schwarz, Gelb, Braun

Metallschichtwiderstände mit insgesamt fünf Ringen sind oft weniger leicht zu lesen als die älteren Kohleschichtwiderstände mit nur vier Ringen. Die Farben Rot, Orange und Braun sind teilweise nur schwer zu unterscheiden. Da hilft es bei der Orientierung, dass der letzte Ring grundsätzlich braun ist.

Kondensatoren

Ein Kondensator besteht aus zwei Metallflächen und einer Isolierschicht. Legt man eine elektrische Spannung an, bildet sich zwischen den Kondensatorplatten ein elektrisches Kraftfeld, in dem Energie gespeichert ist. Ein Kondensator mit großer Plattenfläche und kleinem Plattenabstand hat eine große Kapazität, speichert also bei einer gegebenen Spannung viel Ladung. Die Kapazität eines Kondensators wird in Farad (F) gemessen. Die hier verwendeten Kondensatoren haben Kapazitäten zwischen 10 nF (0,00000001 F) und 100 μ F (0,0001 F).

Das Isoliermaterial (Dielektrikum) vergrößert die Kapazität gegenüber Luftisolation. Die keramischen Scheibenkondensatoren verwenden ein spezielles Keramikmaterial, mit dem man große Kapazitäten bei kleiner Bauform erreicht. Das Lernpaket enthält je einen keramischen Scheibenkondensator mit 10 nF (Beschriftung 103, 10000 pF) und mit 100 nF (Beschriftung 104, 100000 pF).

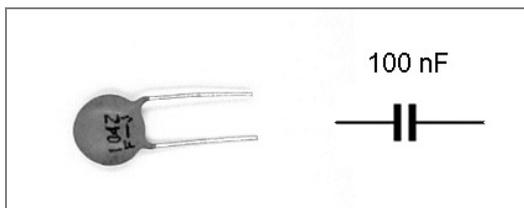


Abb. 1.6: Ein keramischer Kondensator

Größere Kapazitäten erreicht man mit Elektrolytkondensatoren (Elkos). Das Dielektrikum besteht hier aus einer sehr dünnen Schicht Aluminiumoxid. Der Elko enthält einen flüssigen Elektrolyten und aufgewickelte Aluminiumfolien mit großer Oberfläche. Die Spannung darf nur in einer Richtung angelegt werden. In

der falschen Richtung fließt ein Leckstrom und baut die Isolationsschicht allmählich ab, was zur Zerstörung des Bauteils führt. Der Minuspol ist durch einen weißen Streifen gekennzeichnet und hat einen kürzeren Anschlussdraht. Das Lernpaket enthält zwei Elkos mit $100\ \mu\text{F}$ und einen mit $22\ \mu\text{F}$.

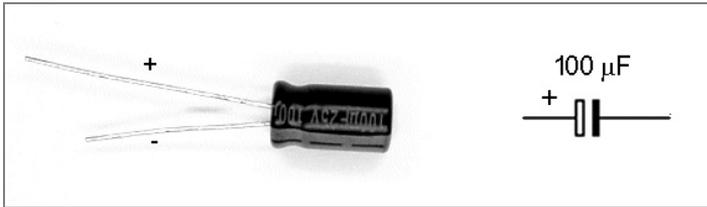


Abb. 1.7: Der Elektrolytkondensator

Transistoren

Transistoren sind Bauelemente zur Verstärkung kleiner Ströme. Die verwendeten bipolaren Transistoren unterscheiden sich in der Polarität. Das Lernpaket enthält drei NPN-Transistoren BC547 und einen PNP-Transistor BC557.

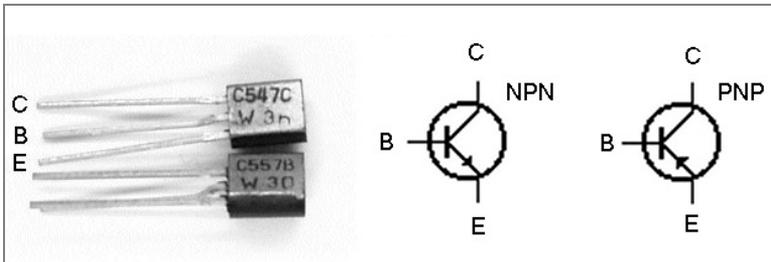


Abb. 1.8: Transistoren

Die Anschlüsse des Transistors heißen Emittter (E), Basis (B) und Kollektor (C). Bei beiden Transistoren liegt der Basisanschluss in der Mitte. Der Emittter liegt rechts, wenn Sie auf die Beschriftung schauen und die Anschlüsse nach unten zeigen.

Die Si-Dioden

Eine Diode ist ein elektrisches Ventil und lässt Strom nur in einer Richtung hindurch. Man unterscheidet Dioden nach ihrem Ausgangsmaterial Germanium (Ge) oder Silizium (Si). Die Dioden im Lernpaket sind Si-Dioden vom Typ 1N4148. Es handelt sich um Universaldioden für Ströme bis $100\ \text{mA}$. Beim Einbau muss grundsätzlich die Richtung beachtet werden. Die Kathode ist mit einem schwarzen Ring gekennzeichnet.

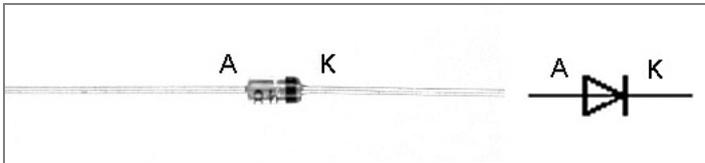


Abb. 1.9: Die Diode 1N4148

Der Fototransistor

Der Fototransistor ist ein Lichtsensor, mit dem prinzipiellen Aufbau eines Siliziumtransistors. Die Basis-Kollektor-Diode dient als großflächige Fotodiode, deren Strom durch den Transistor verstärkt wird. Der Kollektorstrom ist von der Helligkeit abhängig und kann bei sehr hellem Licht bis 20 mA erreichen.

Der Basisanschluss ist von außen nicht zugänglich, sodass das Bauteil mit zwei Anschlüssen auskommt und in ein klares LED-Gehäuse eingebaut wird. Der Kollektor ist der Pluspol und liegt am kurzen Anschluss, der Emitter liegt am langen Anschluss und dient als Minuspol. Der Fototransistor wird daher scheinbar anders herum eingebaut als eine LED. Der Kollektoranschluss ist der größere Halter im Inneren des Gehäuses.

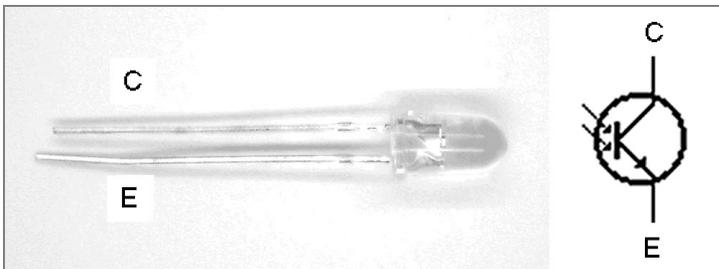


Abb. 1.10: Der Fototransistor

Der Tastschalter

Der Tastschalter im Lernpaket besitzt einen Schließkontakt mit zwei Anschlüssen, die doppelt herausgeführt sind.

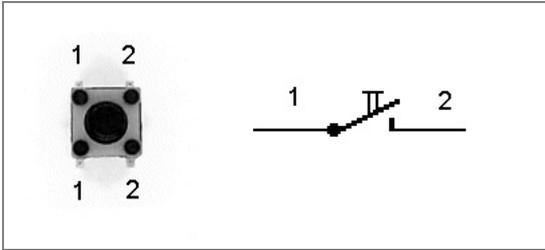


Abb. 1.11: Der Tastschalter

Der Piezo-Schallwandler

Der Schallwandler dient als einfacher Lautsprecher und als Mikrofon oder Schwingungssensor. Der Aufbau ähnelt dem eines keramischen Scheibenkondensators, wobei allerdings das Dielektrikum zusätzlich elektrisch vorgespannt ist. Dadurch entsteht eine Kopplung zwischen mechanischer Spannung und elektrischer Spannung. Der piezoelektrische Effekt tritt in ähnlicher Weise auch bei natürlichen Quarzkristallen auf.

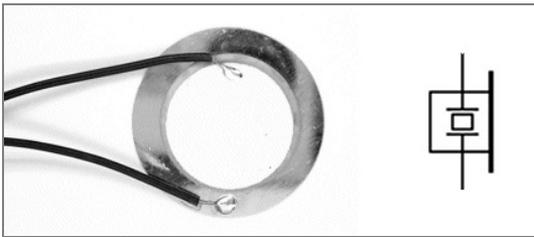


Abb. 1.12: Der Schallwandler

Die integrierten Schaltkreise

Das Lernpaket enthält zwei integrierte Schaltungen (Integrated Circuits, ICs) im achtpoligen DIP-Gehäuse. Der LM358 ist ein zweifacher Operationsverstärker. Der NE555 ist ein Präzisions-Timerbaustein. Beim Einsetzen der ICs muss die korrekte Richtung beachtet werden. Der Pin1 ist jeweils durch einen Punkt markiert.

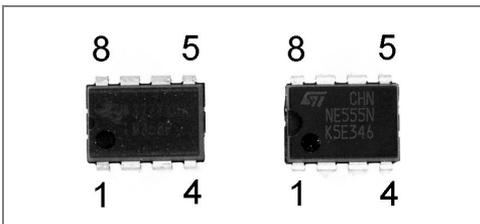


Abb. 1.13: Die beiden ICs

Abb. 1.13 zeigt beide ICs mit ihrer Pin-Nummerierung. Achten Sie beim Einsetzen der ICs auf die Beschriftung. Vermeiden Sie eine Verpolung, die zur Zerstörung des Bauteils führen könnte.

Vor dem ersten Einsatz der ICs müssen die Anschlussbeinchen sorgfältig parallel ausgerichtet werden. Durch den Herstellungsprozess sind sie etwas gespreizt und können daher beim Einsetzen in das Steckbrett leicht umbiegen. Wenn beide Anschlussreihen parallel stehen, lassen sie sich leicht aufstecken. Wenn sie wieder aus dem Steckbrett entfernt werden sollen, müssen sie z. B. mit einem feinen Schraubendreher vorsichtig ausgehebelt werden, um die Anschlüsse nicht zu verbiegen.

2 Versuche mit LEDs

Während in Glühlampen ein heißer Metalldraht Licht aussendet, bleiben Leuchtdioden (LEDs) im normalen Betrieb kalt. Die Lichterzeugung beruht hier auf komplexen Vorgängen in Halbleiter-Sperrschichten. Die elektrischen Eigenschaften einer LED unterscheiden sich daher grundlegend von denen einer Glühlampe. Entsprechend muss auch die Schaltungstechnik angepasst werden. Während man eine Glühlampe einfach an eine passende Spannungsquelle legen kann, muss bei einer LED die Polung beachtet werden. Außerdem muss immer ein Vorwiderstand eingesetzt werden, um eine Überlastung zu verhindern.

Dieses Kapitel vermittelt zugleich einige Grundlagen im Umgang mit Widerständen. Jeder elektrische Verbraucher hat elektrischen Widerstand. Das Bauteil »Widerstand« besteht aus schwach leitfähigem Material und wird eingesetzt, um definierte Ströme in einer Schaltung zu erhalten.

2.1 Gebremster Strom

Eine LED darf niemals direkt an die Batterie angeschlossen werden, weil dann ein zu großer Strom fließen würde. Für eine Reduzierung der Stromstärke sorgt ein Widerstand. Die Grundsaltung einer LED-Lampe mit Vorwiderstand zeigt Abb. 2.1. Man erkennt einen geschlossenen Stromkreis. Strom fließt durch die Batterie, den Widerstand und die LED. Ohne den Widerstand geht es nicht, denn er schützt die LED vor einem zu hohen Strom.

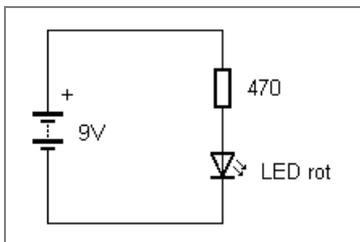


Abb. 2.1: Die Schaltung der LED-Lampe

Der Aufbau nach Abb. 2.2 ist sehr einfach und besteht nur aus dem Widerstand, der LED und dem Batterieclip.

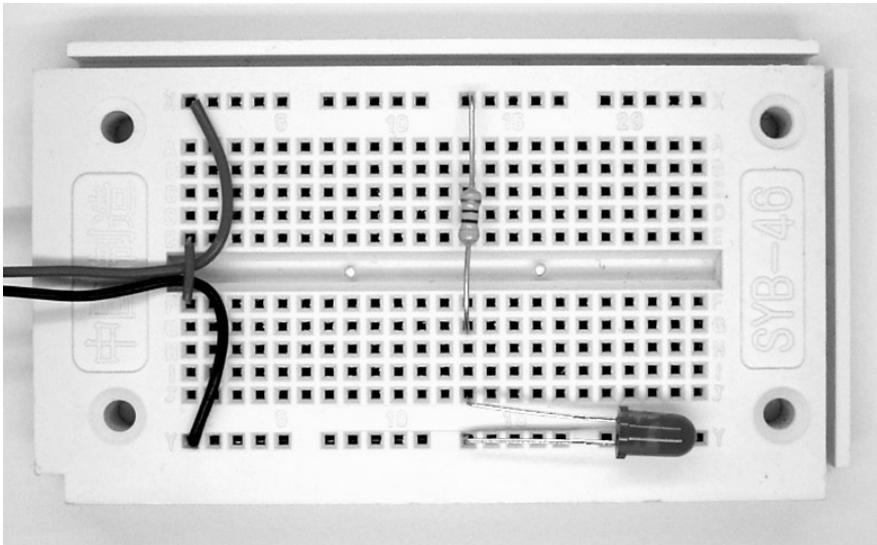


Abb. 2.2: Aufbau mit der roten LED

Beim Aufbau einer Schaltung werden grundsätzlich die horizontalen Versorgungsleitungen am Rand der Experimentierplatte mit der Batterie verbunden. Beim Einstecken ist die Polung der LED und der Batterie zu beachten. Der rote Anschlussdraht des Batterieclips ist der Pluspol. Ein zusätzlicher kurzer Draht wurde als Zugentlastung eingebaut, um die weichen Anschlussdrähte zu schonen. Der Batterieclip sollte immer verbunden bleiben, damit die Anschlüsse nicht übermäßig abnutzen.

Wenn alles korrekt verbunden wurde, leuchtet nun die rote LED. Falls nicht, überprüfen Sie bitte die Polung der LED und der Batterie. Die LED muss bei noch frischer Batterie hell leuchten. Aber auch eine weitgehend entladene Batterie liefert meist noch genügend Strom für ein sichtbares Leuchten.

Warum man unbedingt einen Vorwiderstand braucht, verdeutlicht eine Messung der Stromstärke und der Spannung an der LED. Bei einem Strom von 15 mA misst man an der LED eine Spannung von etwa 1,8 V. Der Widerstand bewirkt also einen Spannungsabfall von $9\text{ V} - 1,8\text{ V} = 7,2\text{ V}$. Nun kann man nach dem ohmschen Gesetz leicht ausrechnen, dass sich ein Strom von 15 mA einstellt.

$$I = U / R$$

$$I = 7,2\text{ V} / 470\ \Omega$$

$$I = 0,0153\text{ A} = 15,3\text{ mA}$$

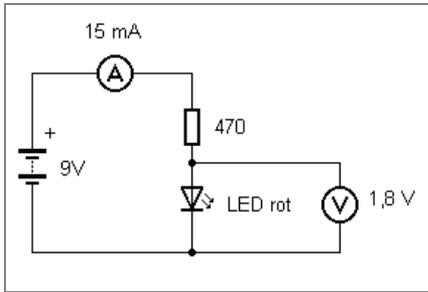


Abb. 2.3: Messungen in der Schaltung

Der Vorwiderstand sorgt also für einen Spannungsabfall und lässt nur einen Strom von etwa 15 mA fließen. Der maximal erlaubte Strom durch die LED ist 20 mA. Bei einem direkten Anschluss ohne Widerstand würde ein zu großer Strom fließen und die LED zerstören.

Das Schaltbild zeigt, wie die Messgeräte angeschlossen werden. Das Amperemeter liegt immer in Reihe zum Verbraucher, so dass der Strom durch das Messgerät fließt. Das Voltmeter liegt parallel zum Messobjekt und zeigt die Spannung zwischen seinen Anschlussklemmen.

2.2 Farbwechsel

Wechseln Sie nun die rote LED gegen die grüne aus. An der grünen LED findet man eine geringfügig höhere Spannung von 2,2 V. Daher ist der Spannungsabfall am Widerstand und damit die Stromstärke im Stromkreis etwas geringer. Im praktischen Versuch zeigt die grüne LED dennoch etwa die gleiche Helligkeit wie die rote LED.

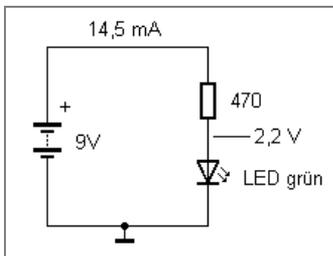


Abb. 2.4: Die grüne LED im Stromkreis

Das Schaltbild in Abb. 2.4 zeigt eine etwas andere Art, Messwerte darzustellen. Die Spannung ist an der Verbindung zwischen LED und Widerstand eingetragen und bezieht sich auf eine Messung gegenüber dem Minuspol der Batterie. Dieser gemeinsame Bezugspunkt ist durch das Massezeichen dargestellt. Bei einer realen Messung muss also der negative Anschluss des Voltmeters an Masse liegen.

Den jeweils passenden Vorwiderstand kann man leicht berechnen, wie hier an einem Beispiel gezeigt werden soll. Gegeben sei eine Batteriespannung von 6 V. Für eine LED findet man im Datenblatt des Herstellers z. B. eine Durchlassspannung von 2,0 V bei einem Strom von 20 mA. Daraus ergibt sich ein geforderter Spannungsabfall von 4 V am Vorwiderstand ($6\text{ V} - 2\text{ V} = 4\text{ V}$). Der richtige Widerstand lässt sich nun nach dem ohmschen Gesetz bestimmen:

$$R = U / I$$

$$R = 4\text{ V} / 0,02\text{ A}$$

$$R = 200\ \Omega$$

In vielen Fällen ist ein genau berechneter Widerstandswert nicht erhältlich. Dann sollte man den nächst höheren Wert wählen, was keine sichtbare Einbuße an Helligkeit mit sich bringt. Oft verwendet man bewusst einen geringeren als den maximal erlaubten Strom. Experimentieren Sie auch einmal mit größeren Widerständen und geringerer Stromstärke.

2.3 Strom gesperrt

Setzen Sie eine LED falsch herum in den Stromkreis ein. Es fließt kein Strom, die LED leuchtet nicht. Der Spannungsabfall am Reihenwiderstand ist Null. Die gesamte Batteriespannung liegt daher an der LED. In der Praxis sollte man die höchste zulässige Sperrspannung nicht überschreiten. Oft wird eine Grenze von 5 V angegeben. Bei den verwendeten LEDs ist jedoch die Batteriespannung von 9 V noch problemlos möglich.

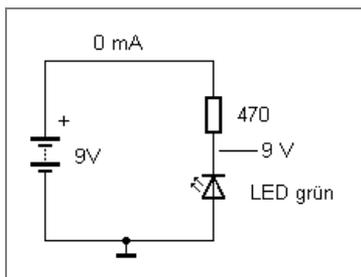


Abb. 2.5: Die invertierte LED

Der Versuch zeigt, dass die LED wie andere Dioden ein elektrisches Ventil darstellt. Sie leitet in Durchlassrichtung und isoliert in Sperrrichtung.

2.4 Alles parallel

Es wurde schon festgestellt, dass rote und grüne LEDs sich in ihren elektrischen Daten unterscheiden. Das Schaltbild in Abb. 2.6 zeigt, wie sich beide in einer Parallelschaltung verhalten. Der Gesamtstrom fließt nicht zu gleichen Teilen durch beide LEDs, sondern der größere Strom fließt durch die rote LED.

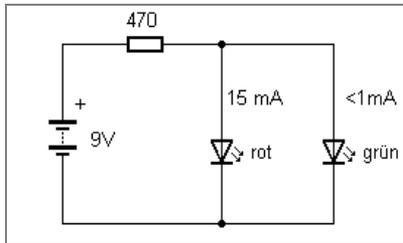


Abb. 2.6: Parallelschaltung unterschiedlicher LEDs

Der Versuch zeigt die ungleiche Stromverteilung deutlich, die grüne LED leuchtet kaum noch. Zieht man jedoch die rote LED heraus, leuchtet die grüne LED mit voller Helligkeit. Man kann diesen Effekt ausnutzen, um eine Art Umschalter mit einem einfachen Tastschalter zu realisieren, der in Reihe zur roten LED liegt.

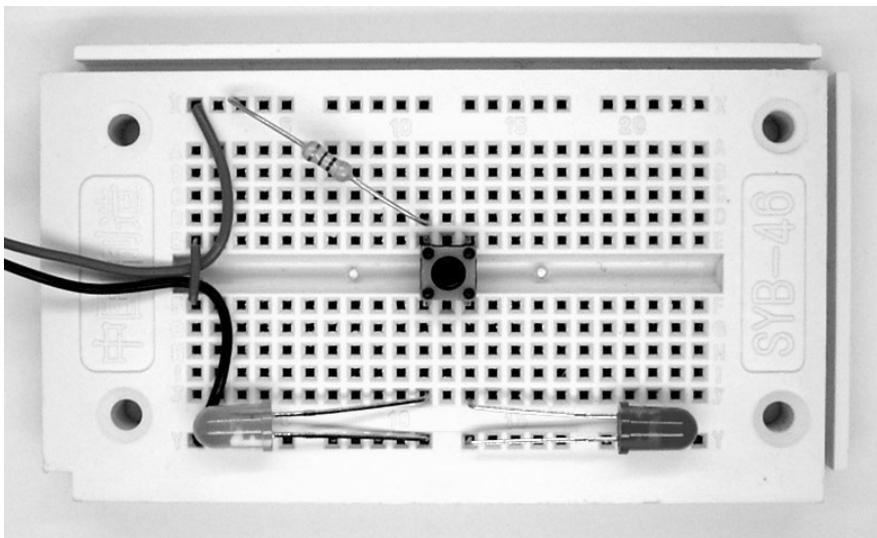


Abb. 2.7: Die Parallelschaltung mit einem zusätzlichen Tastschalter

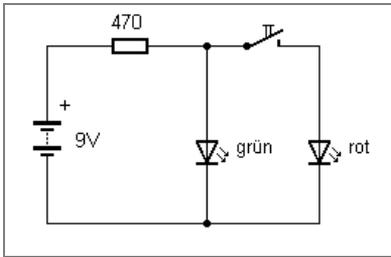


Abb. 2.8: Farbumschaltung

Die Parallelschaltung von LEDs ist übrigens auch bei gleichen Farben problematisch. Schon geringe Unterschiede in den elektrischen Kenndaten können zu ungleichen Strömen und damit zu unterschiedlicher Helligkeit führen.

2.5 Die Kurven einer LED

Als Kennlinie bezeichnet man ein Diagramm, das zwei Kenngrößen eines Bauteils in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit zeigt. In der Elektronik werden oft Strom-Spannungskennlinien verwendet, die z. B. das Verhalten einer Diode gut beschreiben. Man benötigt geeignete Wertepaare für Strom und Spannung, die dann im Diagramm eingetragen werden. Abb. 2.9 zeigt eine typische Schaltung zum Messen einer Kennlinie.

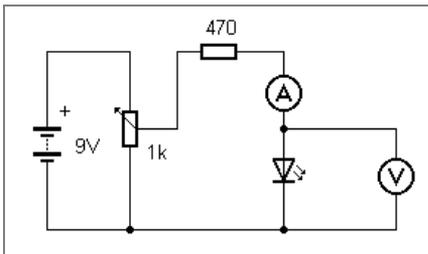


Abb. 2.9: Prinzip der Messung einer LED-Kennlinie

Abb. 2.10 zeigt die real gemessenen Kennlinien der im Lernpaket verwendeten LEDs. Unterhalb 1,5 V (rot) bzw. 1,75 V (grün) fließt kein messbarer Strom. Tatsächlich können sich die Kennlinien je nach Fabrikat stark unterscheiden. Einige superhelle LEDs sowie blaue und weiße LEDs weisen noch erheblich größere Durchlassspannungen auf.

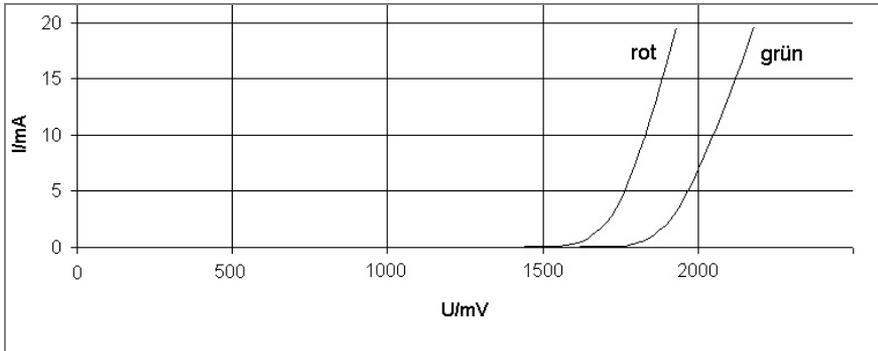


Abb. 2.10: Die Kennlinien der verwendeten LEDs

Falls Sie ein einstellbares Netzgerät und zwei geeignete Messgeräte zur Verfügung haben, können Sie die Kennlinien selbst aufnehmen. Der grundsätzliche Aufbau kann mit einem Fototransistor erprobt werden. Die Umgebungshelligkeit bestimmt den Strom und damit die Helligkeit der LED. Der Strom durch den Fototransistor ändert sich in weiten Grenzen 0 mA bei Dunkelheit und ca. 20 mA bei einer direkten Bestrahlung mit einer hellen Taschenlampe. Er kann also in vielen Versuchen statt eines einstellbaren Widerstands verwendet werden. Beachten Sie die Polung, der kurze Anschluss ist der Kollektor, der lange Anschluss ist der Emitter und damit der Minuspol.

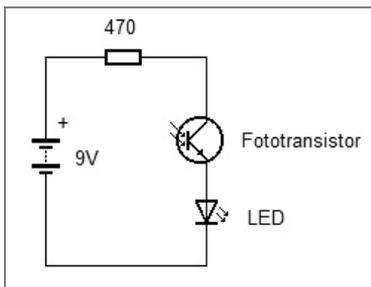


Abb. 2.11: Stromkreis mit Fototransistor

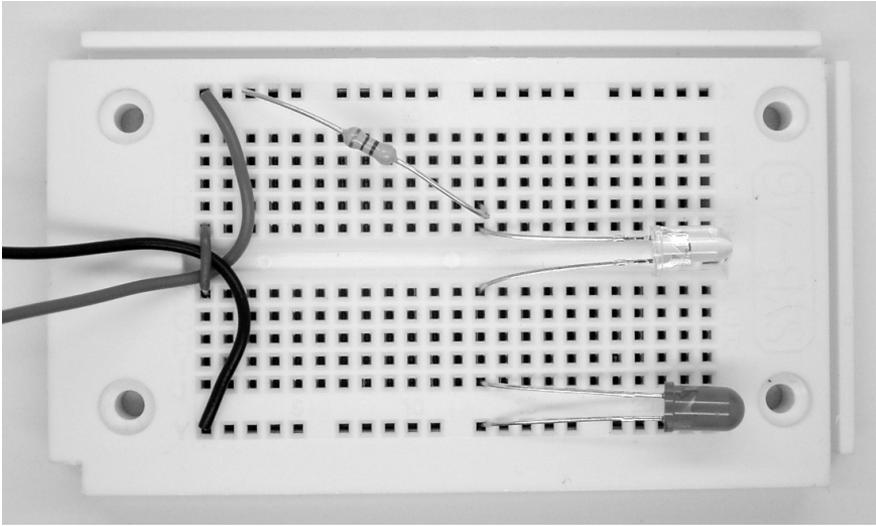


Abb. 2.12: Steuerung des LED-Stroms über den Fototransistor

2.6 Alle in einer Reihe

Oft ist es günstig, zwei oder mehr LEDs wie in Abb. 2.13 mit einem gemeinsamen Vorwiderstand in Reihe zu schalten. Da sich nun beide Diodenspannungen addieren, wird der Spannungsabfall am Vorwiderstand entsprechend kleiner. Um dennoch den erlaubten Strom von 20 mA zu erreichen, muss der Vorwiderstand verkleinert werden. Allerdings hat der kleinste Widerstand im Lernpaket 470 Ω . Hier wird deshalb durch Parallelschaltung von zwei gleichen Widerständen ein neuer Widerstand mit 235 Ω gebildet. Bei einer Batteriespannung von 9 V liegt eine Spannung von 5 V an den Widerständen. Daraus ergibt sich ein Strom von 21 mA.

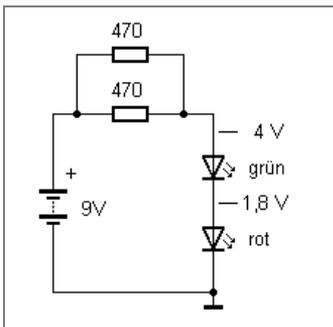


Abb. 2.13: Reihenschaltung von LEDs

Die Berechnung zeigt einen Strom, der den Grenzwert von 20 mA geringfügig überschreitet. Die Batterie hat jedoch meist eine geringere Spannung als 9 V. Man kann daher eine LED-Anwendung so dimensionieren, dass am Anfang der Batterielebensdauer eine geringe Überschreitung der Stromstärke vorliegt. Tatsächlich zerstört z. B. ein Strom von 30 mA die LED nicht unmittelbar, sondern führt nur zu einer geringfügig schnelleren Alterung und damit zu einer Abnahme der Helligkeit.

Mit dieser Schaltung erhalten Sie einen besseren Wirkungsgrad als mit nur einer LED. Bei etwa gleichem Strom ist die Gesamthelligkeit größer als mit nur einer LED.

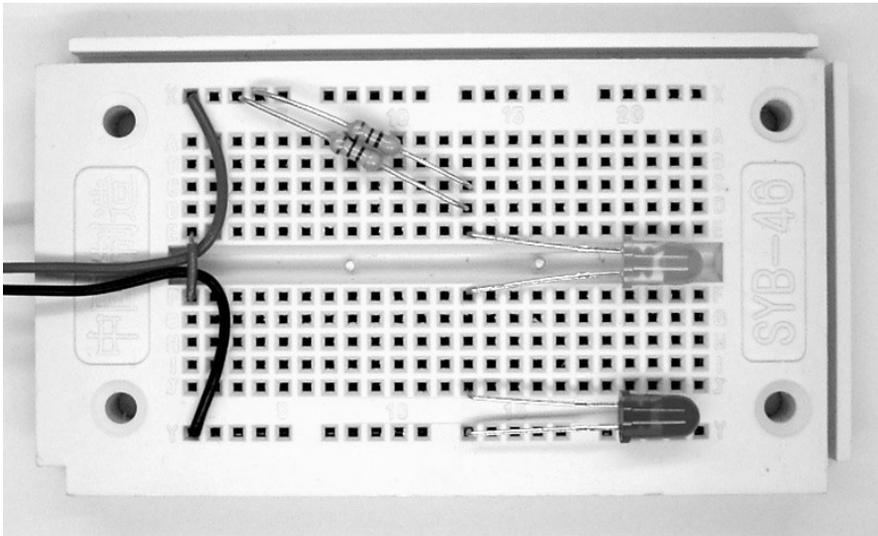


Abb. 2.14: Der Versuch zur Reihenschaltung

Die Reihenschaltung mehrerer LEDs führt zu einem besseren Gesamtwirkungsgrad, weil weniger Energie im Vorwiderstand verloren geht. In LED-Lampen sollte man also entsprechend der eingesetzten Batteriespannung so viele LEDs wie möglich in Reihe schalten und den Vorwiderstand so wählen, dass gerade der richtige Strom fließt. Bei roten und grünen LEDs kann man in erster Näherung 2 V Durchlassspannung ansetzen. Bei einer Batteriespannung von 12 V könnte man z. B. 5 LEDs in Reihe schalten und einen Spannungsabfall von 2 V am Vorwiderstand vorsehen. Je nach den verwendeten LEDs werden sich etwas andere Spannungen ergeben, die mit einem geänderten Vorwiderstand angepasst werden sollten. Bei Batterielampen sollte aber auch bedacht werden, wie die Helligkeit sich bei einer Abnahme der Spannung ändert. Wenn es auf eine gleichmäßige Helligkeit ankommt, sollte man weniger LEDs in Reihe schalten und eine größere Spannung am Vorwiderstand vorsehen. Weiße und blaue LEDs

haben übrigens eine Durchlassspannung von 3,5 V bis 4 V. Daher lassen sich bei einer Versorgungsspannung von z. B. 12 V nur zwei oder drei LEDs in Reihe schalten.

3 Kondensatoren

Jeder kennt die Folgen einer elektrischen Aufladung von einem Teppich oder Kunststoff-Bodenbelag. Ein Mensch kann sich auf eine Spannung von einigen tausend Volt aufladen. Bei einer Berührung mit einem leitenden Gegenstand kommt es dann zu einer schmerzhaften Entladung, die aber ungefährlich ist, weil eine relativ geringe Ladung gespeichert wurde, die nur für einen sehr kurzen Stromstoß reicht.

Kondensatoren speichern größere Ladungen schon bei geringen Spannungen. Ein Kondensator enthält zwei voneinander isolierte Metallfolien, auf denen sich elektrische Ladungen sammeln können. Die Folien haben nur einen geringen Abstand und verwenden als Isoliermaterial ein Dielektrikum, also einen Stoff, der das elektrische Feld verstärkt.

Die Kapazität eines Kondensators wird in Farad (F) gemessen. Übliche Kondensatoren haben z. B. einige Nanofarad ($\text{nF} = 0,000000001 \text{ F}$) oder Mikrofarad ($\mu\text{F} = 0,000001 \text{ F}$). Die Scheibenkondensatoren im Lernpaket verwenden einen keramischen Werkstoff. Sie vertragen hohe Spannungen bis 100 V, haben aber relativ geringe Kapazitäten von 10 nF und 100 nF. Eintausendfach größere Kapazitäten bei geringeren Spannungsgrenzen bieten Elektrolytkondensatoren. Sie enthalten eine leitende Flüssigkeit. Die eigentliche Isolierschicht besteht aus Aluminiumoxid an der Folienoberfläche. Elektrolytkondensatoren dürfen nur in einer Richtung an eine Spannung gelegt werden, da sich ihre Isolierschicht sonst zersetzt.

3.1 Energiespeicher

Das Prinzip der Ladung und Entladung eines Kondensators wird in Abb. 3.1 vorgestellt. Ein Umschalter legt den Kondensator abwechselnd an die Batterie und an den Verbraucher aus Vorwiderstand und LED. Ähnlich wie ein Akku nimmt der Kondensator jedesmal einen gewissen Energiebetrag auf und gibt ihn dann an den Verbraucher wieder ab. Der Vergleich hinkt allerdings in Bezug auf die Anschlussspannung. Ein guter Akku behält während der Entladungszeit relativ lange eine stabile Spannung. Ein Kondensator dagegen gibt nur Ladung ab, wenn sich gleichzeitig seine Spannung verringert.

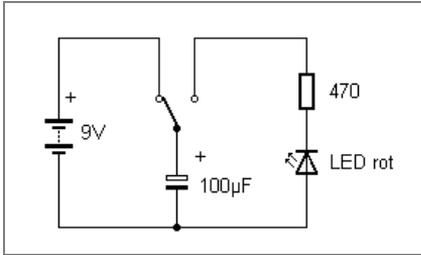


Abb. 3.1: Laden und Entladen eines Kondensators

Der Umschalter bewirkt je nach Stellung ein Aufladen oder eine Entladung des Kondensators. Der Tastschalter im Lernpaket ist kein Umschalter, sondern hat einen einzelnen Schließkontakt. Für den praktischen Aufbau muss daher der Umschalter durch eine Drahtbrücke ersetzt werden. Bei jeder Entladung des Kondensators sieht man einen deutlichen Lichtblitz an der LED.

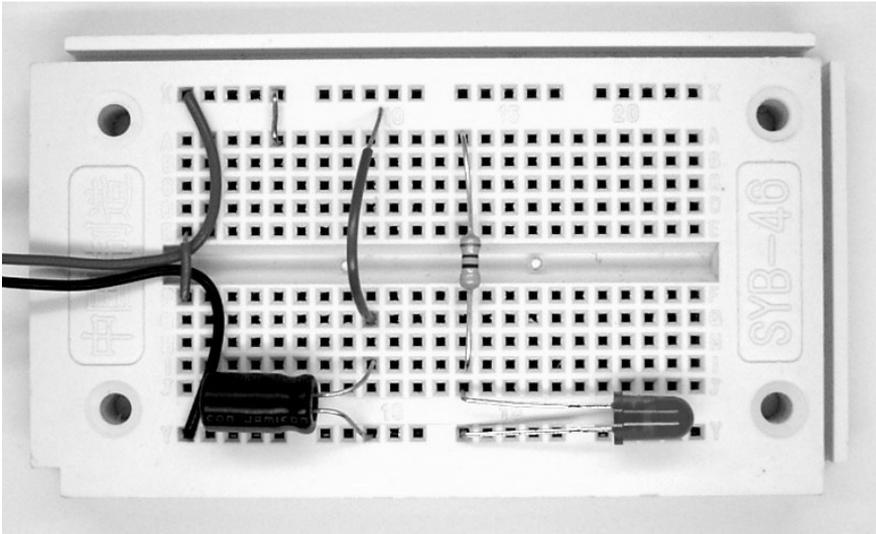


Abb. 3.2: Laden und Entladen über eine Drahtbrücke

Der Versuch erlaubt auch eine längere Pause zwischen dem Aufladen und Entladen des Elkos. Die Ladung bleibt einige Stunden lang erhalten. Ein Elko hat eine geringe Selbstentladung, die sich nach längerem Gebrauch im geladenen Zustand noch verringert.

3.2 Lange und kurze Zeiten

Die Schaltung in Abb. 3.3 hilft bei der Untersuchung der Vorgänge beim Entladen. Über den großen Widerstand von 100 k Ω lädt sich der Elko nur langsam auf.

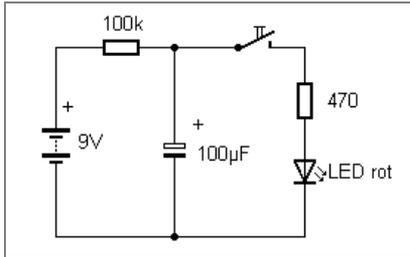


Abb. 3.3: Laden über einen großen Widerstand

Für die Entladung und das Aufladen eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand kann man eine Zeitkonstante $T = R * C$ berechnen. In dieser Zeit erreicht der Kondensator bei Aufladen 63 % der Endspannung.

$$T = R * C$$

$$T = 100 \text{ k}\Omega * 100 \mu\text{F}$$

$$T = 10 \text{ s}$$

Die Zeitkonstante von 10 s bedeutet in diesem Fall, dass man immer etwa 10 Sekunden warten sollte, bevor man den Taster betätigt. Die gespeicherte Energie entlädt sich dann in einem LED-Lichtblitz. Drückt man in schnellerer Folge auf den Taster, sind die Blitze entsprechend schwächer, weil der Kondensator nur zu einem geringen Teil geladen wurde.

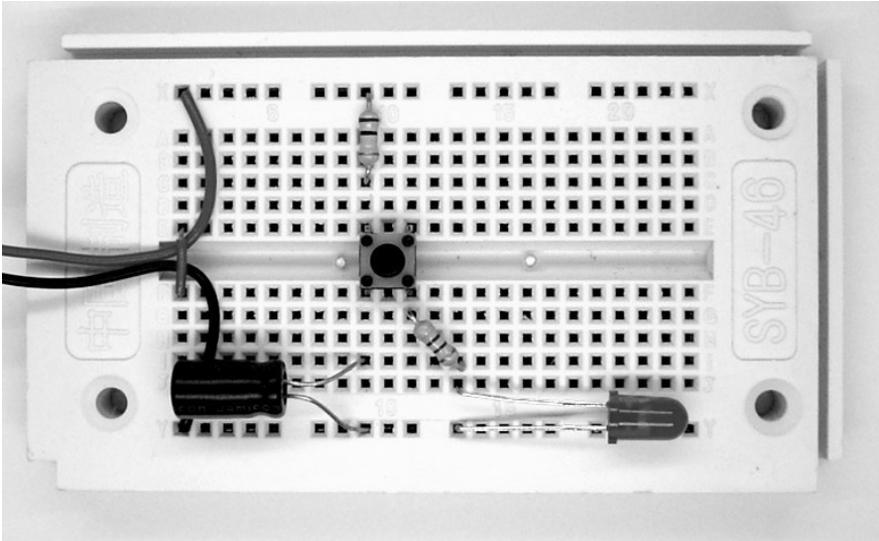


Abb. 3.4: Versuchsaufbau mit Entladetaster

3.3 Die Richtung wechseln

Beim Laden und Entladen ändert sich die Stromrichtung. Mit der Schaltung aus Abb. 3.5 kann daher ein Wechselstrom erzeugt werden. Ein zusätzlicher Widerstand erlaubt es, die Spannung über den Schalter kurzzuschließen. Bei geöffnetem Schalter lädt sich der Elko auf, bei geschlossenem Schalter entlädt er sich. Lade- und Entladestrom fließen über die beiden antiparallel geschalteten LEDs und den gemeinsamen Vorwiderstand. Betätigt man den Schalter, treten nacheinander positive und negative Spannungen am Verbraucher auf. Es entsteht also eine Wechselspannung.

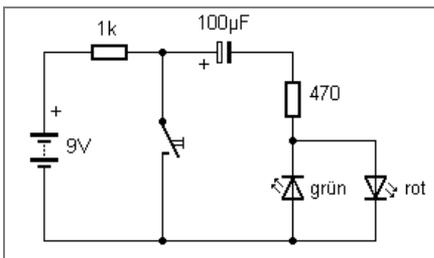


Abb. 3.5: Laden und Entladen über zwei LEDs

Im praktischen Versuch sieht man nun bei jedem Drücken und Loslassen des Schalters abwechselnd rote und grüne Lichtblitze. Die Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom ist damit gelungen.

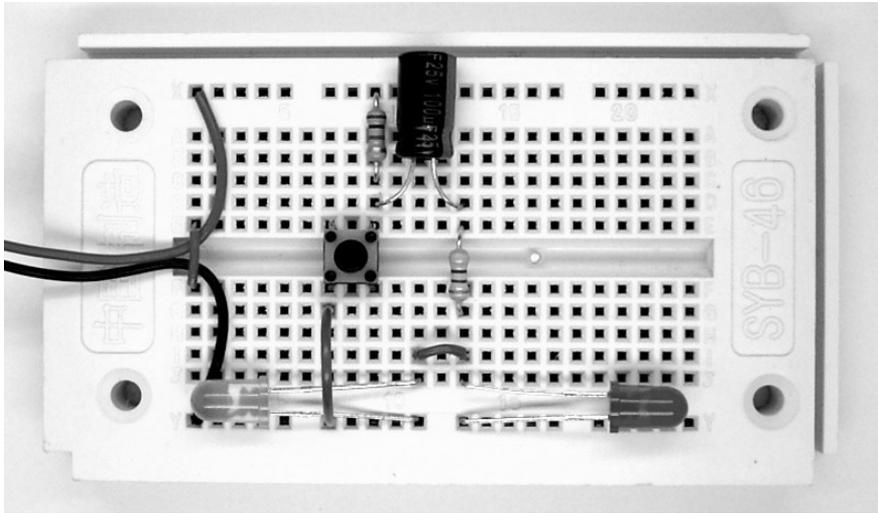


Abb. 3.6: Abwechselnde Lichtblitze

4 Transistor-Grundsaltungen

Der Transistor ist das wichtigste aktive, d. h. verstärkende Bauelement der Elektronik. Im Lernpaket sind drei NPN-Transistoren BC547 und ein PNP-Transistor BC557 enthalten. Der Umgang mit Transistoren erfordert einige Grundkenntnisse, die hier in praktischen Versuchen vermittelt werden sollen.

4.1 Mehr Strom!

Die Schaltung in Abb. 4.1 zeigt die Grundfunktion des NPN-Transistors. Es gibt zwei Stromkreise. Im Steuerstromkreis fließt ein kleiner Basisstrom, im Laststromkreis ein größerer Kollektorstrom. Beide Ströme gemeinsam fließen durch den Emitter. Da der Emitter hier am gemeinsamen Bezugspunkt der Schaltung liegt, nennt man diese Schaltung auch Emitterschaltung. Sobald der Basisstromkreis geöffnet wird, fließt auch kein Laststrom mehr. Der entscheidende Punkt ist, dass der Basisstrom sehr viel kleiner ist als der Kollektorstrom. Der kleine Basisstrom wird also zu einem größeren Kollektorstrom verstärkt. Im vorliegenden Fall ist der Stromverstärkungsfaktor etwa 100. Der Basiswiderstand ist mit $100\text{ k}\Omega$ einhundertfach größer als der Vorwiderstand im Laststromkreis.

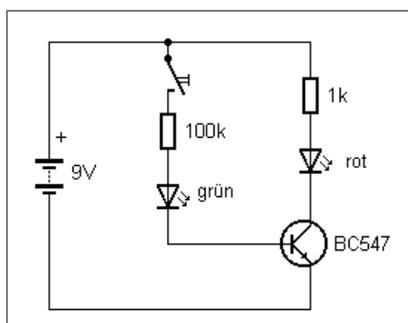


Abb. 4.1: Ein NPN-Transistor in Emitterschaltung

Der Transistor arbeitet in dieser Schaltung wie ein Schalter. Zwischen Kollektor und Emitter liegt nur noch ein sehr kleiner Spannungsabfall. Der Kollektorstrom ist bereits durch den Verbraucher begrenzt und kann nicht weiter steigen. Man

spricht hier von »Sättigung«, d. h. der Kollektorstrom ist »gesättigt«, der Transistor ist voll durchgesteuert.

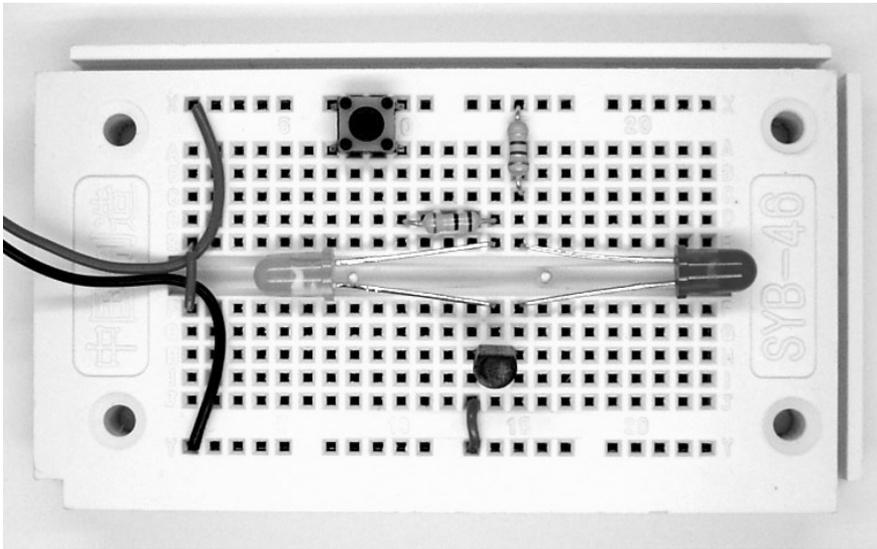


Abb. 4.2: Der Transistor in Emitterschaltung

Bauen Sie den Versuch entsprechend Abb. 4.2 auf. Die LEDs dienen zum Anzeigen der Ströme. Die rote LED leuchtet hell, die grüne kaum. Nur in einem völlig abgedunkelten Raum ist der Basisstrom als schwaches Leuchten der grünen LED zu erkennen. Der Unterschied ist ein Hinweis auf die große Stromverstärkung.

Um den maximalen Stromverstärkungsfaktor des realen Transistors zu ermitteln, können Sie den Basiswiderstand vergrößern. Bei $1\text{ M}\Omega$ werden Sie immer noch ein Leuchten der roten LED sehen, wenn auch etwas schwächer. Wenn Sie zwei Widerstände mit je $100\text{ k}\Omega$ in Reihe schalten, erhalten Sie einen Basiswiderstand von $200\text{ k}\Omega$, der den Transistor schon voll durchsteuert. Daraus ergibt sich ein Stromverstärkungsfaktor von etwa 200.

Tatsächlich kann der Stromverstärkungsfaktor trotz aller Präzision bei der Herstellung von Transistoren nicht genau geplant werden. Sie können also davon ausgehen, dass die Transistoren BC547 in Ihrem Lernpaket bei einer genaueren Messung unterschiedliche Stromverstärkungen zeigen. Die Transistoren werden bei der Herstellung getestet und in die Verstärkungsgruppen A ($110 - 220$), B ($200 - 450$) und C ($420 - 800$) eingeteilt. Die vorhandenen Transistoren sind B-Typen und haben damit mindestens eine Verstärkung von 200.

Bei der Dimensionierung von Schaltungen muss der ungewisse Stromverstärkungsfaktor immer beachtet werden, damit eine zuverlässige Funktion in einem

weiten Bereich gesichert ist. Im vorliegenden Fall wird der Transistor nur wie ein Schalter eingesetzt. Hier reicht es, den Basiswiderstand für den ungünstigsten Fall zu wählen, d. h. besser einen etwas größeren Basisstrom zu verwenden.

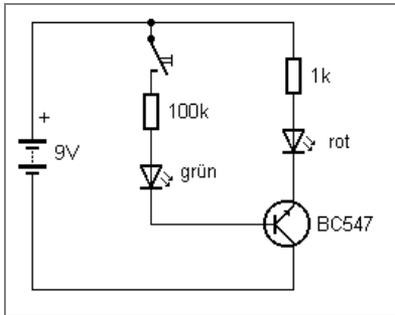


Abb. 4.3: Der NPN-Transistor mit vertauschten Anschlüssen

Vertauschen Sie einmal die Anschlüsse Emitter und Kollektor. Der Transistor arbeitet dennoch, wenn auch mit einem wesentlich geringeren Kollektorstrom. Dass der Transistor auch »falsch herum« noch arbeitet, liegt an seinem symmetrischen Aufbau aus drei Schichten N, P und N (siehe Kap. 4.3). Tatsächlich unterscheiden sich jedoch u. a. die Schichtdicken, sodass es nicht gleichgültig ist, welchen N-Anschluss man an den Minuspol legt.

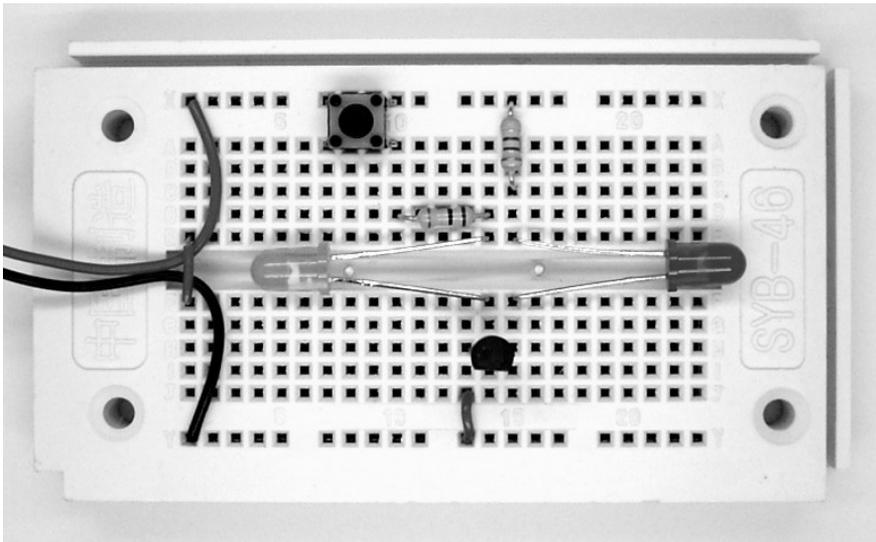


Abb. 4.4: Vertauschen von Emitter und Kollektor

In der Praxis liegt der Verstärkungsfaktor für vertauschte Anschlüsse im Bereich 5 bis 20. Sie sehen nur noch ein schwaches Leuchten der roten LED. Tauschen Sie nun den 100-k Ω -Widerstand gegen einen 10-k Ω -Widerstand aus. Der Kollektorstrom steigt entsprechend an, und das Leuchten der LED im Kollektorstromkreis wird stärker. Man kann deutlich erkennen, dass die rote LED heller leuchtet als die grüne, dass also noch eine Verstärkung vorliegt. Trotzdem ist dies nicht der übliche Einsatz des Transistors. Es handelt sich im Normalfall um einen Fehler. Wenn also eine Schaltung schlechter funktioniert als geplant, kann es daran liegen, dass die Anschlüsse versehentlich vertauscht wurden.

4.2 Anders gepolt

Ein PNP-Transistor hat exakt die gleiche Funktion wie ein NPN-Transistor, aber mit umgekehrter Polarität. In der Schaltung müssen also die Batterie und beide LEDs umgepolt werden.

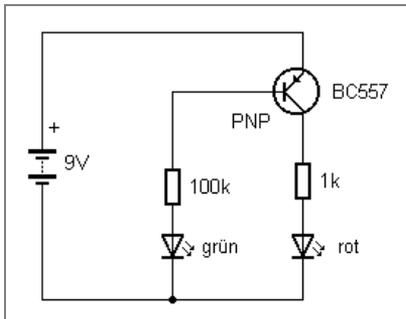


Abb. 4.5: Ein PNP-Transistor in Emitterschaltung

Bauen Sie die Schaltung mit dem PNP-Transistor BC557 auf und untersuchen Sie auch hier wieder den maximalen Stromverstärkungsfaktor.

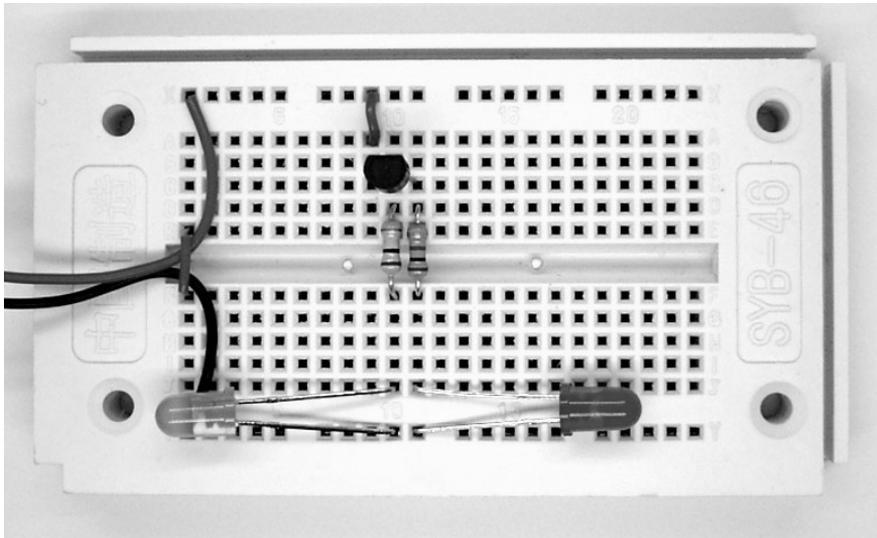


Abb. 4.6: Untersuchung der Stromverstärkung des BC557

4.3 Elektronische Einbahnstraßen

Der innere Aufbau eines Transistors ist durch drei Schichten aus unterschiedlich dotiertem Silizium gekennzeichnet. An den Grenzflächen bilden sich Sperrschichten wie in einer Diode. Auch die Si-Diode oder die Leuchtdiode enthält eine ähnliche Sperrschicht, die den Strom nur in einer Richtung leitet. In einem Transistor befinden sich praktisch zwei Dioden, die man auch als solche verwenden kann. Das ermöglicht besondere Schaltungsvarianten und auch einen einfachen Transistortest. Man kann z. B. bei einem unbekanntem Transistor leicht feststellen, ob es sich um einen NPN- oder einen PNP-Typ handelt.

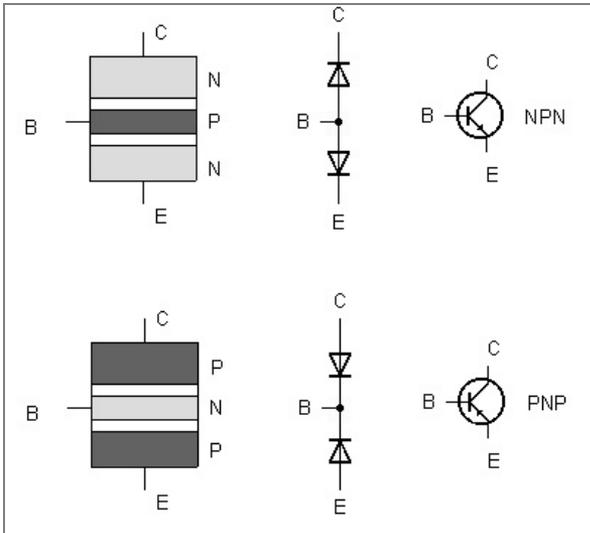


Abb. 4.7: Sperschichten und Ersatzschaltbilder

Die Sperschichten lassen sich mit einer einfachen Prüfschaltung mit LED und Vorwiderstand ausmessen. Die LED zeigt an, wann Strom fließt. Zwei Prüfkabel können nun an Anschlüsse des Transistors gelegt werden. Je nach Richtung fließt ein Strom oder nicht. So lassen sich nacheinander alle internen Sperschichten und ihre Richtung untersuchen.

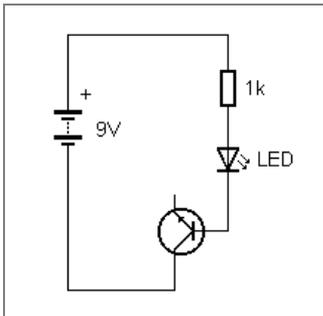


Abb. 4.8: Untersuchung von Sperschichten

Bauen Sie die Schaltung auf und untersuchen Sie beide Transistortypen. Nach kurzer Orientierung werden Sie in der Lage sein, einen unbekanntem Transistor als NPN- oder PNP-Typ zu identifizieren. Außerdem können Sie den Basisanschluss lokalisieren. Nicht möglich ist allerdings die Unterscheidung des Emitters vom Kollektor, weil der Transistor symmetrisch aufgebaut ist. Als weiterer Test eignet sich daher eine einfache Emitterschaltung.

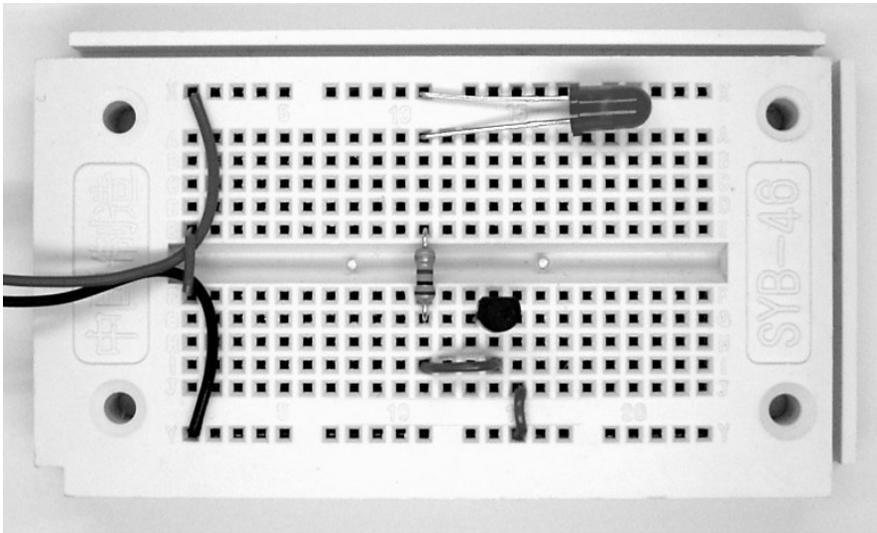


Abb. 4.9: Der Sperrschicht-Tester

4.4 Umgekehrt

In Kapitel 4.1 wurde der Transistor wie ein gesteuerter Schalter verwendet. Das Einschalten des Basisstroms bewirkt auch ein Einschalten des Laststroms. Mit einem Tastschalter wurde eine LED also nur dann eingeschaltet, wenn man gerade auf die Taste drückte. Mit einem Transistor kann eine Schaltfunktion jedoch auch umgekehrt (invertiert) werden. Die Schaltung in Abb. 4.10 zeigt einen einfachen elektronischen Umschalter. Bei geschlossenem Schalter leuchtet die grüne LED, bei geöffnetem Schalter die rote.

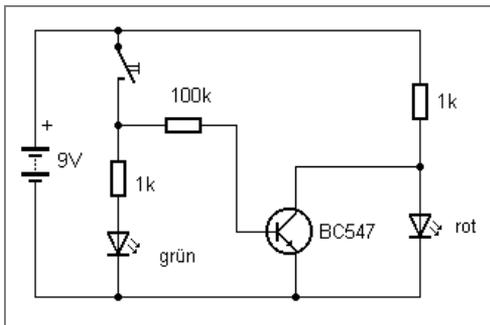


Abb. 4.10: Ein Transistor als Invertierer

Bei geschlossenem Schalter wird zugleich der Stromkreis durch die grüne LED geschlossen und der Basisstrom eingeschaltet. Der Transistor leitet und schaltet die Spannung an der roten LED ab. Tatsächlich findet man eine Restspannung von ca. 80 mV zwischen Emitter und Kollektor. Bei dieser kleinen Spannung fließt praktisch kein Strom durch die LED, sie ist also abgeschaltet. Die Schaltung bildet mit einem einfachen Einschaltkontakt die Funktion eines Umschalters nach.

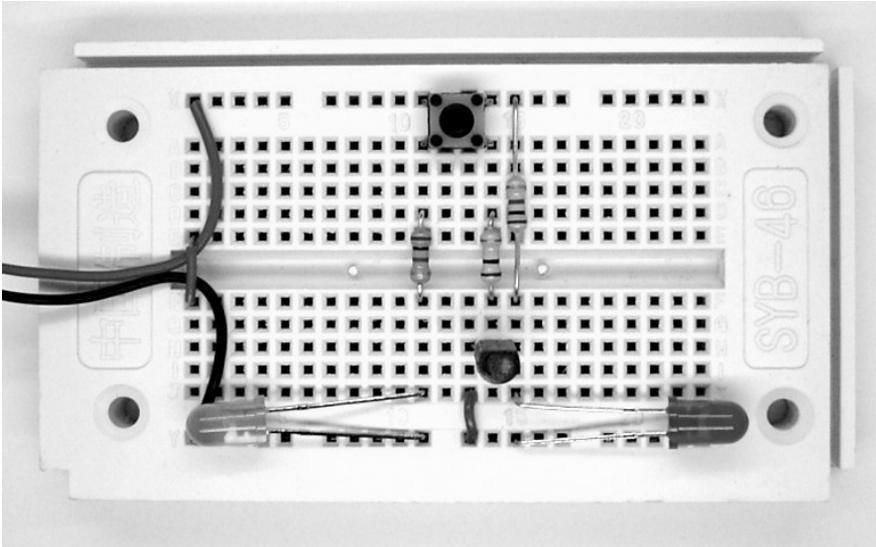


Abb. 4.11: Der LED-Umschalter

4.5 Licht für eine Minute

Die Stromverstärkung eines Transistors kann verwendet werden, um die Entladezeit eines Kondensators zu verlängern. Die Schaltung in Abb. 4.12 verwendet einen Elko mit 100 μF als Ladekondensator. Nach einem kurzen Druck auf den Tastschalter ist er geladen und liefert nun für längere Zeit den Basisstrom der Emitterschaltung.

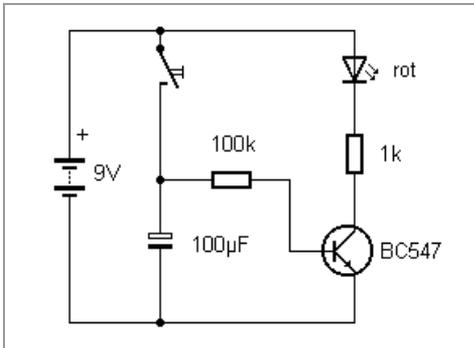


Abb. 4.12: Verzögerte Ausschaltung

Die Entladezeit wird durch den großen Basiswiderstand erheblich verlängert. Die Zeitkonstante beträgt hier etwa 10 Sekunden. Nach dieser Zeit reicht der Basisstrom aber immer noch für eine Vollaussteuerung des Transistors.

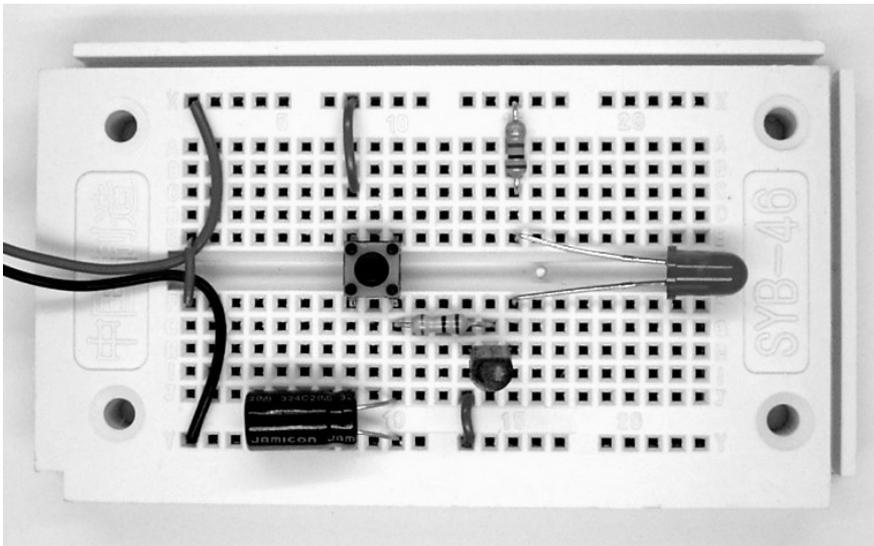


Abb. 4.13: Das Minutenlicht

In der praktischen Ausführung der Schaltung genügt ein kurzer Tastendruck zum Einschalten der LED. Danach bleibt sie etwa 10 Sekunden lang voll eingeschaltet und leuchtet dann immer schwächer. Nach etwa einer Minute ist immer noch ein schwaches Leuchten zu erkennen. Tatsächlich geht die LED auch nach langer Zeit nicht ganz aus. Der Strom sinkt aber auf so kleine Werte, dass er keine sichtbare Wirkung mehr hat.

4.6 Wenn es dämmert

Hier wird ein Fototransistor als Lichtsensor verwendet. Er bildet zusammen mit dem Festwiderstand von 100 k Ω einen Spannungsteiler. Je größer die Helligkeit, desto stärker leitet der Fototransistor und desto kleiner wird die Spannung an seinem Kollektor.

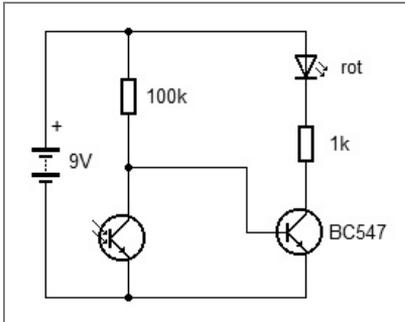


Abb. 4.14: Der Dämmerungsschalter

Wenn die Teilspannung zu klein wird, sperrt der NPN-Transistor. Vereinfachend kann man von einer »Schaltschwelle« bei ca. 0,6 V sprechen. Dieser Wert gilt für alle Siliziumtransistoren. Hier findet man wieder die bekannte Diodenkennlinie (vgl. Kap. 2.5), wobei die Schwelle für LEDs höher liegt. Eine Siliziumdiode wie die 1N4148 im Lernpaket dagegen leitet ebenfalls erst merklich ab einer Durchlassspannung von 0,6 V.

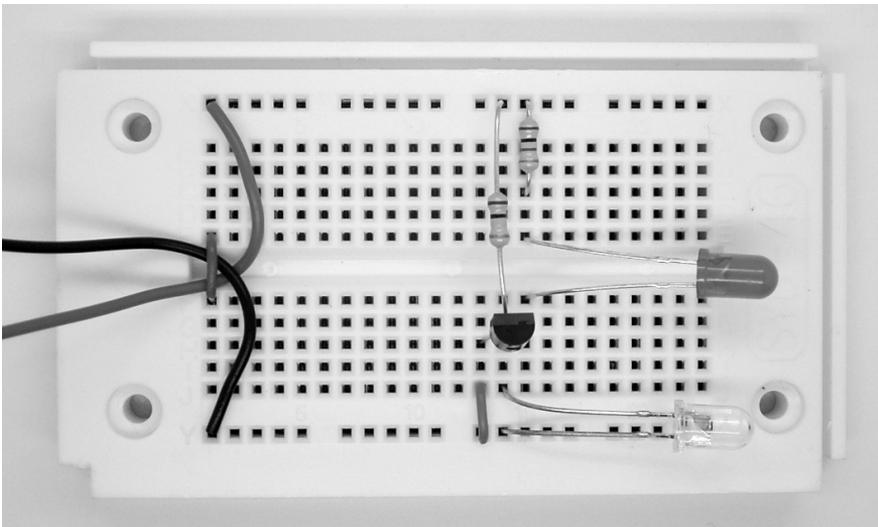


Abb. 4.15: Der lichtgesteuerte Stromkreis

Testen Sie das Verhalten der Schaltung bei unterschiedlicher Beleuchtung. Bei großer Helligkeit ist die LED ausgeschaltet, bei abgedunkeltem Lichtsensor leuchtet sie. Man findet ein relativ abruptes Umschalten bei einer gewissen Helligkeitsschwelle. Nur ein kleiner Helligkeitsbereich liefert eine Teilaussteuerung des Transistors.

4.7 Stromverstärkung hoch zwei

Die Stromverstärkungsfaktoren zweier Transistoren lassen sich multiplizieren, wenn man den verstärkten Strom des ersten Transistors als Basisstrom des zweiten Transistors noch einmal verstärkt. Die Darlington-Schaltung aus Abb. 4.16 verbindet beide Kollektoren, sodass nach außen ein Bauelement mit drei Anschlüssen erscheint, das man auch als Darlington-Transistor bezeichnet.

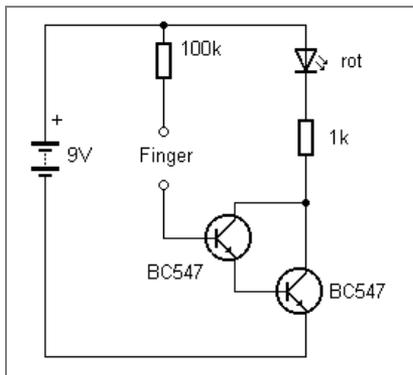


Abb. 4.16: Die Darlington-Schaltung

Wenn man von einem Verstärkungsfaktor 300 für jeden der Transistoren ausgeht, hat die Darlington-Schaltung eine Verstärkung von 90000. Für die volle Aussteuerung reicht ein Basiswiderstand von 10 M Ω . Damit erhält man einen wirksamen Berührungsschalter. Zwei blanke Drähte werden mit zwei Fingern berührt. Ein Befeuchten der Finger ist nicht erforderlich, da sogar die trockene Haut noch genügend Strom leitet, um die Schaltung durchzusteuern. Ein zusätzlicher Widerstand mit 100 k Ω schützt die Transistoren vor zu viel Basisstrom, wenn beide Drähte direkt verbunden werden.

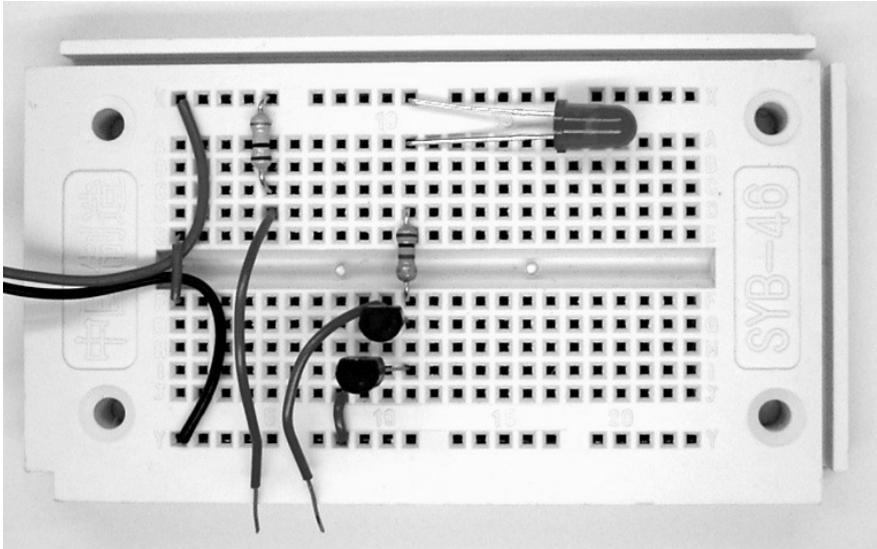


Abb. 4.17: Der Berührungssensor mit Schutzwiderstand

Eine Darlington-Schaltung ermöglicht auch einen interessanten Versuch zum Nachweis statischer Ladungen. Dazu berührt man nur mit einem Finger die Basis der Darlington-Schaltung und bewegt die Füße auf dem Boden. Je nach Bodenbeschaffenheit und Material der Schuhsohlen kommt es dann zu mehr oder weniger starken Aufladungen, die durch ein Flackern der LED sichtbar werden.

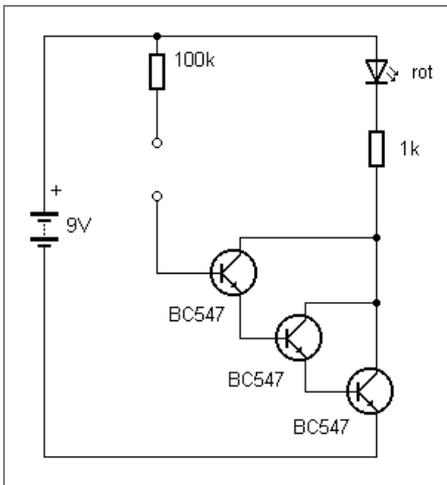


Abb. 4.18: Darlington-Schaltung mit drei Transistoren

Erweitern Sie die Darlington-Schaltung auf drei Transistoren. Die gesamte Stromverstärkung steigt damit noch einmal erheblich an. Nun reicht bereits eine Annäherung ohne direkte Berührung des Eingangs, um die LED einzuschalten.

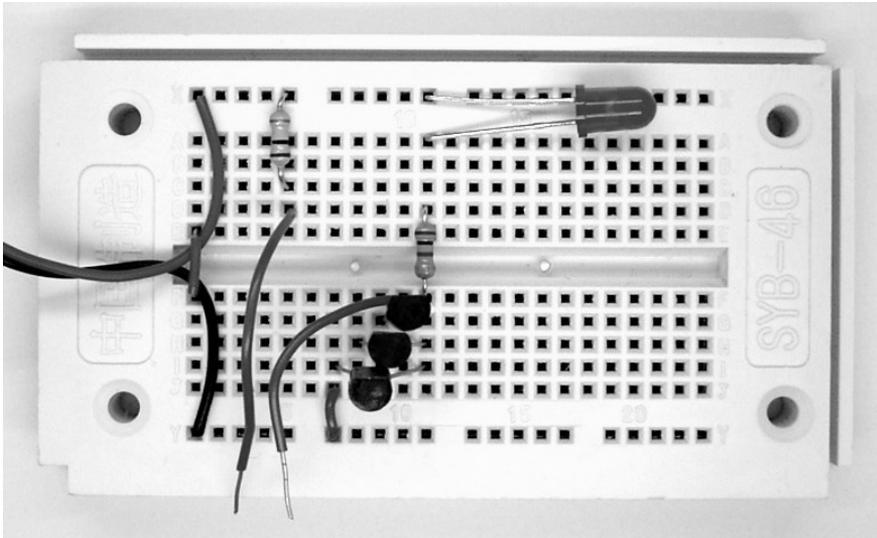


Abb. 4.19: Die dreifache Darlington-Schaltung

4.8 Ein ungleiches Paar

Die normale Darlington-Schaltung verhält sich wie ein einzelner Transistor mit dem Unterschied einer etwa doppelten Basis-Emitterspannung. In manchen Anwendungen kann dies ein Nachteil sein. Hier hilft eine modifizierte Darlington-Schaltung aus zwei komplementären Transistoren. Am Eingang reicht nun eine Spannung von weniger als 0,6 V, um die LED einzuschalten.

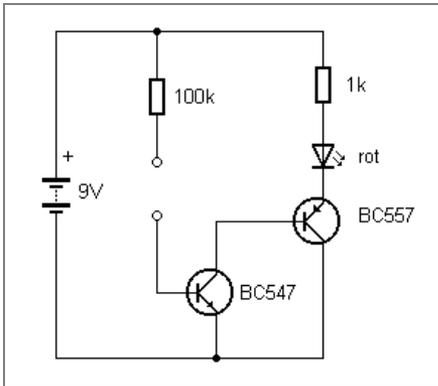


Abb. 4.20: Die NPN-PNP-Darlington-Schaltung

Im realen Versuch unterscheidet sich die Schaltung kaum von einer normalen Darlington-Schaltung mit zwei NPN-Transistoren. Die LED kann durch eine leichte Berührung eingeschaltet werden.

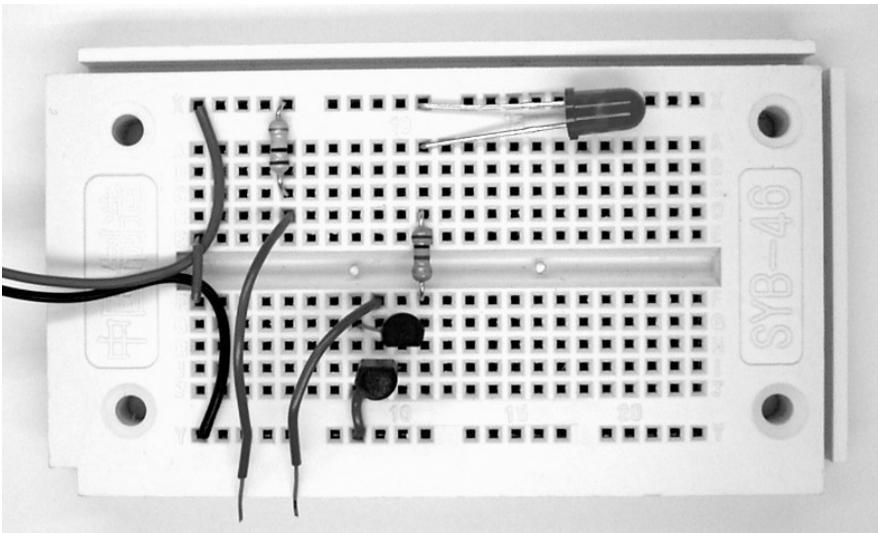


Abb. 4.21: Berührungssensor mit BC547 und BC557

Abb. 4.22 zeigt eine weitere Schaltungsvariante mit zwei NPN-Transistoren und einem PNP-Transistor. Im Unterschied zu den bisherigen Schaltungen wird nun ein negativer Steuerstrom benötigt, weil der PNP-Transistor am Eingang liegt. Die Sensorkontakte liegen also an Masse.

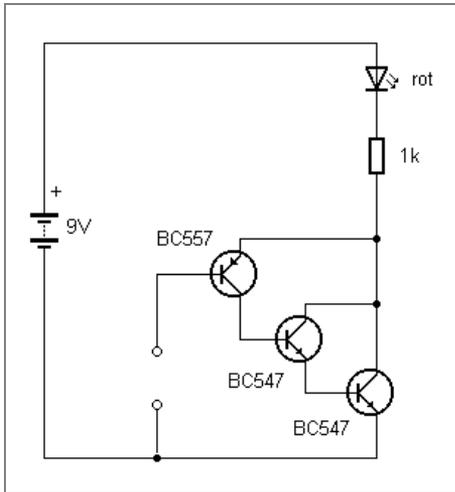


Abb. 4.22: Eine dreifache komplementäre Darlington-Schaltung

Die Schaltung eignet sich als Sensor für negative Luft-Ionen. Spezielle Ionen-Generatoren zur Verbesserung der Luftqualität in geschlossenen Räumen verwenden hohe Spannungen, um Luftmoleküle negativ aufzuladen. In der Nähe eines solchen Geräts lädt sich der Eingang der modifizierten Darlington-Schaltung negativ auf und schaltet die LED ein.

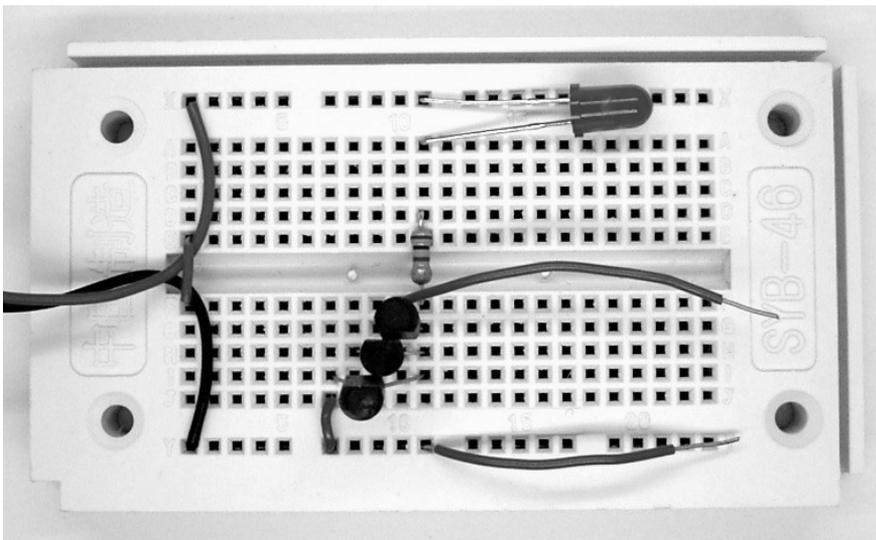


Abb. 4.23: Sensor für negative Ladungen

4.9 Die LED lernt sehen

Eine LED kann nicht nur Licht erzeugen, sondern auch als Sensor für das Umgebungslicht dienen. In erster Näherung fließt durch eine Diode kein Strom, wenn sie in Sperrrichtung an eine Spannung gelegt wird. Tatsächlich findet man jedoch einen sehr kleinen Sperrstrom z. B. im Bereich weniger Nanoampere, der im Normalfall zu vernachlässigen ist. Die hohe Verstärkung der Darlington-Schaltung erlaubt jedoch Experimente mit extrem kleinen Strömen. So ist z. B. der Sperrstrom einer Leuchtdiode selbst von der Beleuchtung abhängig. Eine LED ist damit zugleich eine Fotodiode. Der äußerst kleine Fotostrom wird mit zwei Transistoren so weit verstärkt, dass die zweite LED leuchtet.

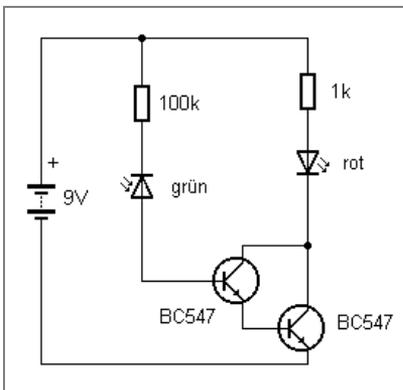


Abb. 4.24: Verstärkung des LED-Sperrstroms

Hier wird die grüne LED als Fotodiode verwendet, die rote als Anzeige. Bei normalem Umgebungslicht leuchtet die rote LED bereits deutlich. Eine Abschattung der grünen LED mit der Hand wird an der geringeren Helligkeit der roten LED sichtbar. Tauschen Sie beide LEDs aus, um auch die Eignung der roten LED als Fotodiode zu testen.

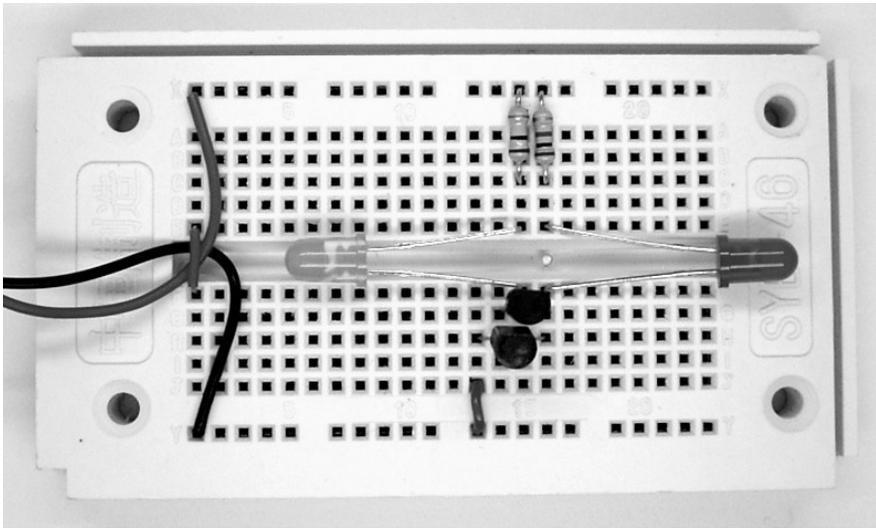


Abb. 4.25: Die LED als Lichtsensor

4.10 Konstante Helligkeit

Manchmal benötigt man einen konstanten Strom, der möglichst unabhängig von Spannungsschwankungen ist. Eine LED würde also mit gleicher Helligkeit leuchten, auch wenn die Batterie bereits eine kleinere Spannung hat. Die Schaltung in Abb. 4.26 zeigt eine einfache Stabilisierungsschaltung. Eine rote LED am Eingang stabilisiert die Basisspannung auf etwa 1,6 V. Da die Basis-Emitterspannung immer rund 0,6 V beträgt, liegt am Emitterwiderstand eine Spannung von etwa 1 V. Der Widerstand bestimmt also den Emitterstrom. Der Kollektorstrom entspricht fast vollständig dem Emitterstrom, der nur um den sehr viel kleineren Basisstrom größer ist. Die LED im Kollektorkreis braucht keinen Vorwiderstand, weil der LED-Strom durch den Transistor geregelt wird.

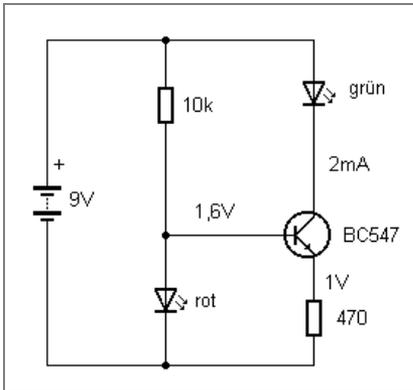


Abb. 4.26: Eine stabilisierte Stromquelle

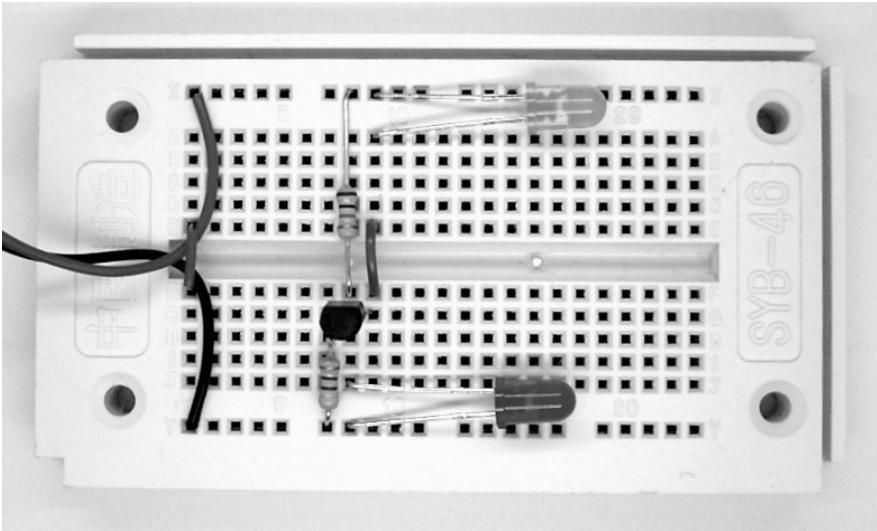


Abb. 4.27: Stabilisierung der LED-Helligkeit

Überprüfen Sie die Ergebnisse mit einer neuen und einer stark gebrauchten Batterie. Solange eine gewisse Restspannung vorhanden ist, bleibt die LED fast gleich hell.

Eine weitere gebräuchliche Variante der Konstantstromquelle verwendet einen zweiten Transistor statt der LED. Die eigentliche Spannungsreferenz ist nun die Basis-Emitterspannung des linken Transistors in Abb. 4.28.

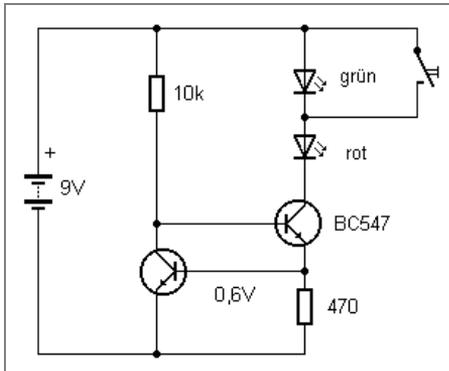


Abb. 4.28: Veränderte
Konstantstromquelle

Die Konstantstromquelle regelt nicht nur Schwankungen in der Betriebsspannung aus, sondern auch unterschiedliche Spannungsabfälle am Verbraucher. Mit dem Schalter können Sie wahlweise eine oder zwei LEDs mit der Konstantstromquelle betreiben. In beiden Fällen fließt der gleiche Strom.

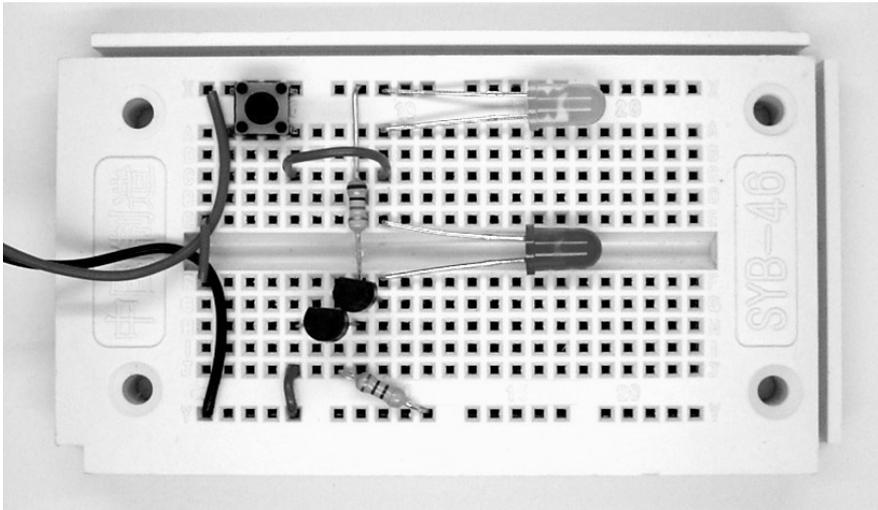


Abb. 4.29: Konstantstrom mit zwei NPN-Transistoren

4.11 Gespiegelter Strom

Die Schaltung in Abb. 4.30 zeigt einen sogenannten Stromspiegel. Der Strom durch den $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand spiegelt sich in den beiden Transistoren und erscheint in fast gleicher Größe wieder als Kollektorstrom des rechten Transis-

tors. Da beim linken Transistor Basis und Emmitter zusammengeschaltet sind, stellt sich automatisch eine Basis-Emitterspannung ein, die zum vorgegebenen Kollektorstrom führt. Theoretisch sollte nun der zweite Transistor mit genau gleichen Daten und bei der gleichen Basis-Emitterspannung den gleichen Kollektorstrom zeigen. In der Praxis ergeben sich jedoch meist geringe Unterschiede.

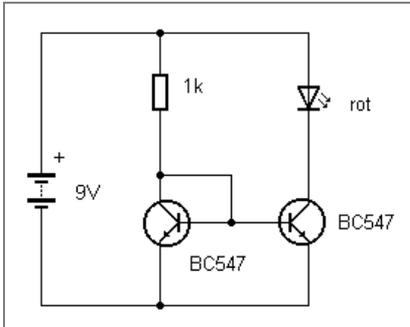


Abb. 4.30: Der Stromspiegel

Die Voraussetzung genau gleicher Transistordaten ist in der Praxis nur schwer zu erfüllen. Die Schaltung wird vor allem in integrierten Schaltungen eingesetzt, wo viele Transistoren auf einem Chip gleiche Daten aufweisen. Wichtig ist auch die gleiche Temperatur beider Transistoren, da sich die Übertragungskennlinie mit der Temperatur verändert.

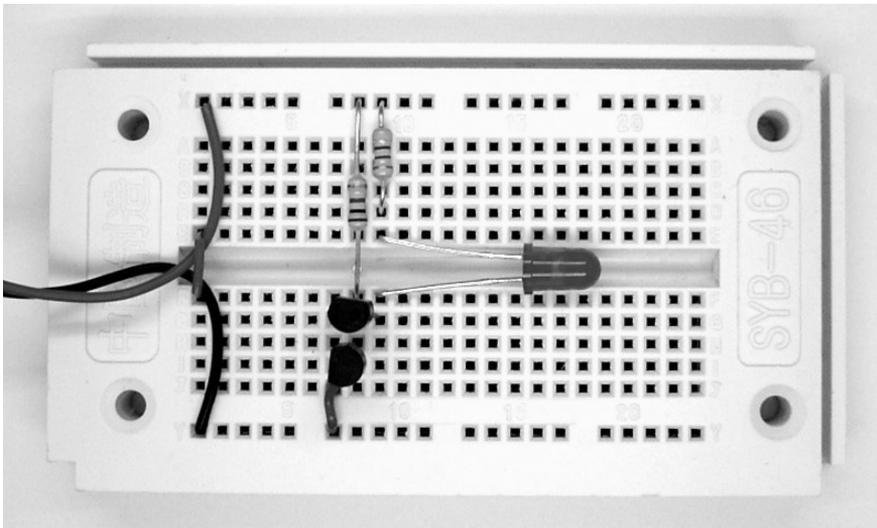


Abb. 4.31: Transistor als Temperatursensor

Die praktische Ausführung des Stromspiegels eignet sich als Temperatursensor. Berühren Sie einen der Transistoren mit dem Finger. Die dabei auftretende Erwärmung verändert den Ausgangsstrom und wird in der Helligkeitsänderung der LED sichtbar. Je nachdem welchen der beiden Transistoren Sie berühren, können Sie die Helligkeit etwas vergrößern oder verkleinern.

5 NF-Verstärker

Verstärker im Niederfrequenzbereich (NF) werden vor allem für die Tonwiedergabe eingesetzt. Der Piezo-Schallwandler im Lernpaket eignet sich als Mikrofon und als Lautsprecher. Mit kleinen Transistorschaltungen lassen sich interessante Versuche durchführen. Sie können z. B. das Flackern von Kunstlicht untersuchen oder ein einfaches Radio bauen.

5.1 Knacken aus dem Lautsprecher

Ein piezokeramischer Schallwandler ist zugleich ein kleiner Lautsprecher und ein Mikrofon. Die auf ein dünnes Metallblech aufgeklebte Keramikscheibe dehnt oder staucht sich beim Anlegen einer elektrischen Spannung. Dadurch kommt es zu einer Biegung des Trägerblechs, das dann als Membran Schall abgibt. Die Keramikscheibe hat dabei ähnliche Eigenschaften wie ein Quarzkristall. Umgekehrt erzeugt eine Biegung z. B. durch äußeren Schall eine kleine elektrische Spannung.

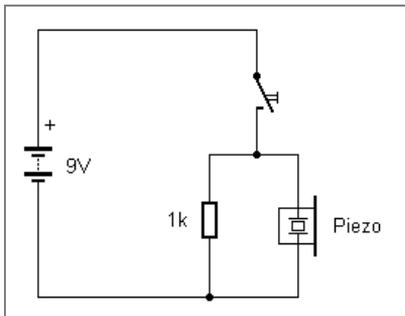


Abb. 5.1: Grundfunktion des Piezo-Schallwandlers

Bei jedem Betätigen des Tasters hört man einen leisen Knack, der auf die plötzliche Verformung des aktiven Kristalls zurückzuführen ist. Mehr Lautstärke erhält man, wenn die Scheibe auf einen Karton gehalten oder geklebt wird.

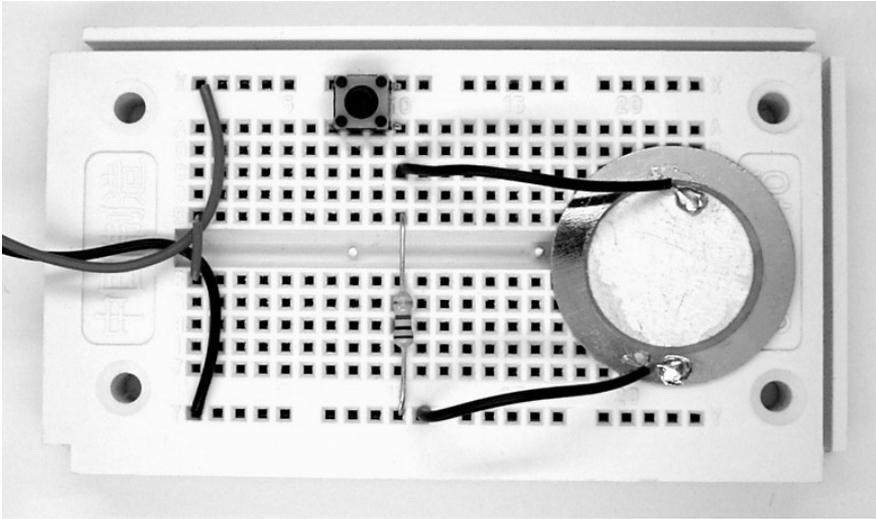


Abb. 5.2: Erster Test mit dem Schallwandler

Der Schallwandler verhält sich zugleich wie ein Kondensator. Tatsächlich entspricht der Aufbau mit zwei Metallflächen und der isolierenden Keramikscheibe genau einem Keramik Kondensator. Die Kapazität liegt bei etwa 20 nF. Das Bauteil kann daher wie ein Kondensator aufgeladen und entladen werden. Abb. 5.3 zeigt die veränderte Schaltung.

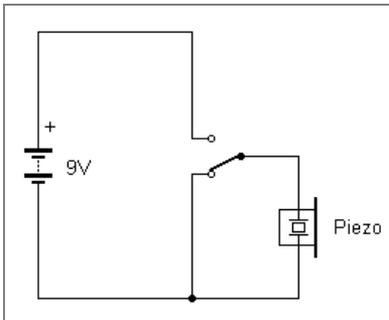


Abb. 5.3: Laden und Entladen

Im praktischen Versuch wie in Abb. 5.4 kann man den Umschalter durch eine bewegliche Drahtbrücke ersetzen. Beim Aufladen des Schallwandlers hört man einen Knack. Öffnet man den Kontakt wieder, ist nichts zu hören, da der Kondensator geladen bleibt. Sobald aber über den zweiten Kontakt eine Entladung erfolgt, hört man ein zweites Knackgeräusch. Zwischen Aufladen und Entladen kann eine Zeit von einigen Sekunden liegen, da nur eine geringe Selbstentladung stattfindet.

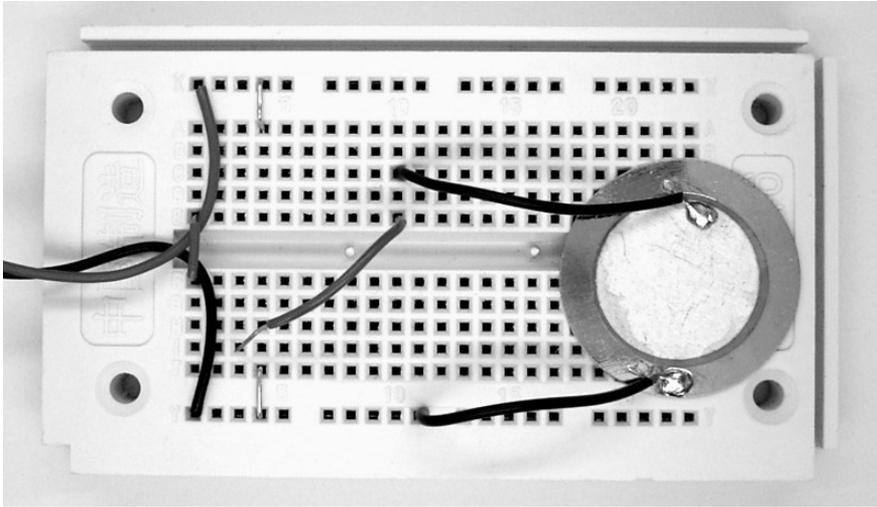


Abb. 5.4: Eine Drahtbrücke als Umschaltkontakt

Die Versuche haben das grundlegende Verhalten des Schallwandlers deutlich gemacht. Im praktischen Einsatz sorgt meist eine schnelle Folge von Spannungsänderungen für eine entsprechende Schallabgabe. Mit der geeigneten Elektronik kann dabei sowohl ein Dauerton als auch ein Tongemisch wie z. B. Sprache und Musik wiedergegeben werden.

5.2 Verstärkte Töne

Ein Niederfrequenzverstärker für Tonwiedergabe soll elektrische Schwingungen möglichst unverzerrt verstärken. Der Transistor muss dazu einen mittleren Arbeitspunkt einnehmen, d. h. er darf weder voll eingeschaltet noch gesperrt sein. Der Kollektorstrom wird dann um einen Mittelwert herum angesteuert, d. h. im Takt der Schwingungen vergrößert und verkleinert. Da der Stromverstärkungsfaktor des Transistors nicht genau bekannt ist, verwendet man oft eine Gegenkopplung. Der Basiswiderstand führt nicht zum positiven Anschluss der Batterie, sondern zum Kollektor. Ein größerer Verstärkungsfaktor führt dann zu einem größeren Kollektorstrom und zu einem größeren Spannungsabfall am Kollektorwiderstand. Damit verringern sich die Emitter-Kollektorspannung und die Spannung am Basiswiderstand. Der kleinere Basisstrom gleicht den größeren Verstärkungsfaktor teilweise aus. Damit erhält man zuverlässig einen geeigneten Arbeitspunkt. Das zu verstärkende Wechselfeldspannungssignal wird über einen Kondensator auf die Basis gekoppelt und moduliert den Basisstrom. Am Eingang des Verstärkers liegt z. B. ein Sinusgenerator mit einstellbarer Ausgangsspannung und ein Oszilloskop am Ausgang zeigt die verstärkte Spannung.

Nicht jeder Elektronik-Einsteiger hat einen umfangreichen Messgerätepark mit Sinusgenerator und Oszilloskop. Wie kann man trotzdem mit einfachsten Mitteln die Funktion eines Verstärkers testen? Gesucht werden eine Signalquelle und eine Möglichkeit, das Ausgangssignal zu beurteilen. Für die Versuche mit dem Lernpaket bietet sich folgender Aufbau an: Am Eingang liegt ein Spannungsteiler aus Fototransistor und Festwiderstand als Signalquelle. Bei Bestrahlung mit Kunstlicht erhält man ein Signal mit der doppelten Netzfrequenz, also 100 Hz. Am Ausgang wird der Piezo-Schallwandler angeschlossen. Das verstärkte Signal wird hörbar. Für eine ausreichende Lautstärke sollte die Piezo-Scheibe auf einem Karton befestigt werden.

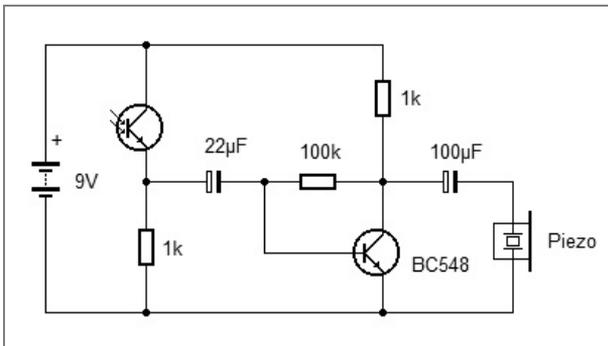


Abb. 5.5: Ein Fototransistor als Signalquelle

Beim Aufbau muss die Polung der Elektrolytkondensatoren beachtet werden. Die Basisspannung beträgt ca. 0,6 V. Die Spannung am Spannungsteiler ist in den meisten Fällen größer. Deshalb liegt der Pluspol des Elkos am Eingang. Am Ausgang dagegen liegt die Kollektorspannung bei ca. 2 V. Hier muss also der Pluspol des Elkos angeschlossen werden. Man kann übrigens den Ausgangselko weglassen, weil der Schallwandler selbst als Kondensator fungiert. Ein dynamischer Lautsprecher wäre dagegen auf den Elko angewiesen.

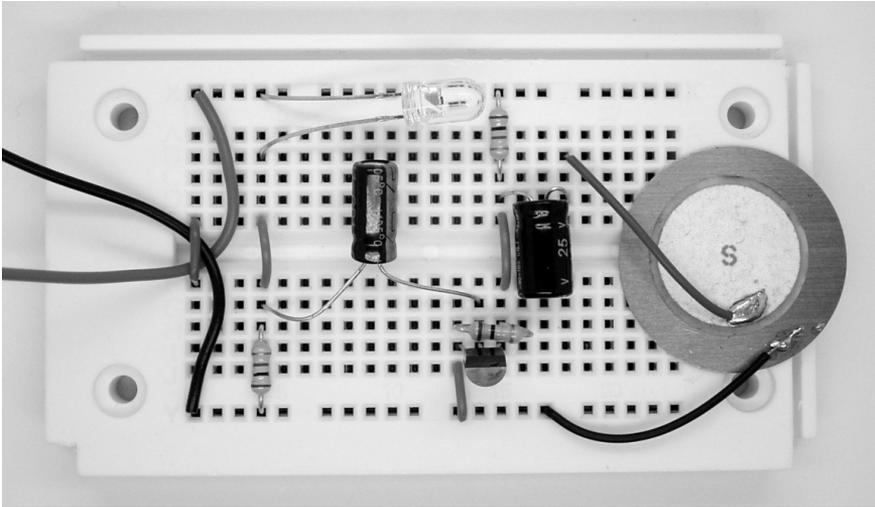


Abb. 5.6: Der Tonverstärker

Mit dieser Schaltung lassen sich verschiedene Lichtquellen untersuchen. Eine Leuchtstofflampe produziert einen höheren Brummanteil als eine Glühlampe. Auch der PC-Monitor liefert moduliertes Licht. Bei Annäherung des Lichtsensors an einen PC-Monitor mit Bildröhre hört man die Bildwiederholfrequenz als Summen. Der Klang unterscheidet sich deutlich vom Brummen einer Lampe.

5.3 Zwei Stufen lauter

Wenn die Verstärkung mit einem Transistor nicht ausreicht, nehmen Sie einfach zwei. Zwei gleich aufgebaute Verstärkerstufen lassen sich direkt hintereinander schalten. Oft verwendet man in der vorderen Stufe größere Widerstände und damit einen geringeren Kollektorstrom.

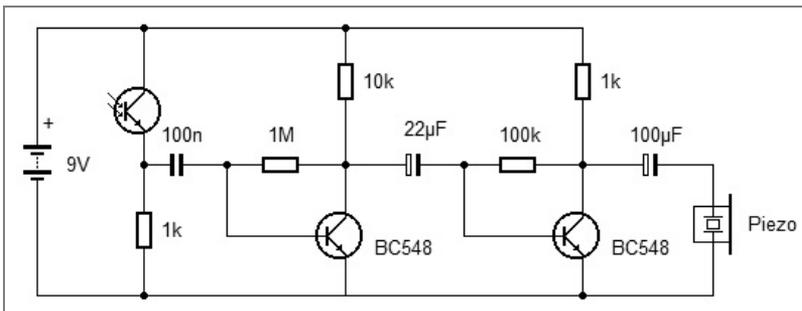


Abb. 5.7: Ein zweistufiger NF-Verstärker

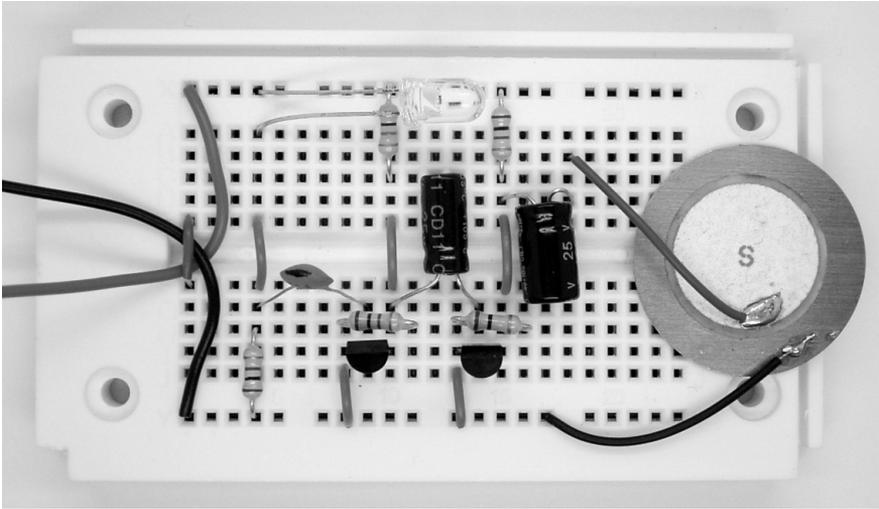


Abb. 5.8: Zwei NPN-Stufen

Beim ersten Versuch kann es zu knatternden Störgeräuschen kommen. Es handelt sich dabei um Eigenschwingungen, die jeden Verstärker unbrauchbar machen. Ob sie tatsächlich auftreten, hängt vom Zustand der Batterie ab. Die Frequenz der ungewollten Schwingungen ändert sich mit der Beleuchtung des Fototransistors.

Ursache der unerwünschten Eigenschwingungen ist der Innenwiderstand der Batterie. Über die Versorgungsspannung kann daher ein Signal vom Ausgang auf den Eingang zurückgekoppelt werden. Eine übliche Methode zur Unterdrückung dieser Rückkopplung ist eine zusätzliche Glättung der Betriebsspannung in der Eingangsstufe. Im vorliegenden Fall reicht es aus, die Versorgungsspannung für den Spannungsteiler zu glätten. Mit einem Kondensator von $100\ \mu\text{F}$ und einem Widerstand von $470\ \Omega$ erhält man eine Zeitkonstante von $47\ \text{ms}$. Das reicht nur, wenn der Verstärker nicht allzu kleine Frequenzen verarbeitet. Als zusätzliche Maßnahme ist es daher manchmal nötig, die Koppelkondensatoren im Verstärker zu verkleinern.

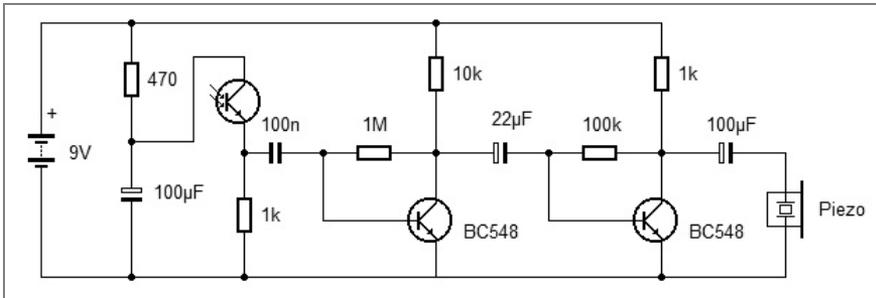


Abb. 5.9: Zusätzliche Glättung der Betriebsspannung

Der verbesserte Verstärker (Abb. 5.9) arbeitet nun stabil. Man erhält eine wesentlich größere Empfindlichkeit als mit nur einer Verstärkerstufe. Lästige Schwingungen treten nicht mehr auf.

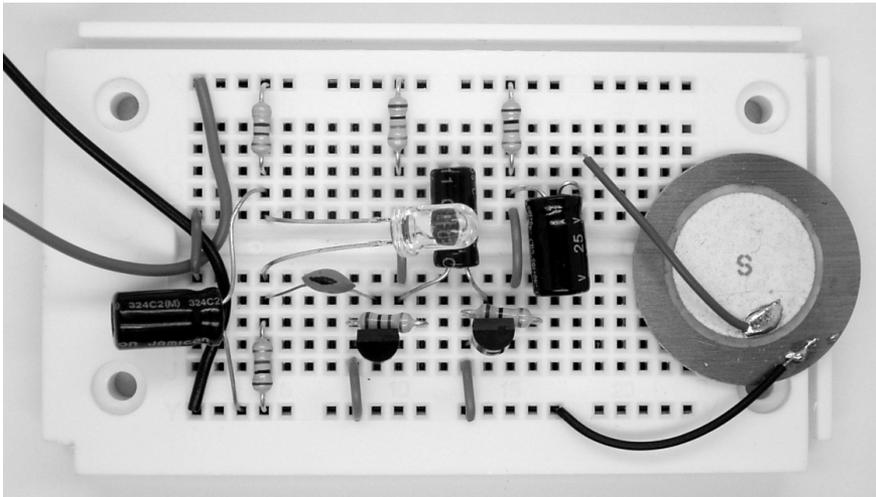


Abb. 5.10: Verstärker ohne Schwingneigung

Der zweistufige Verstärker dreht die Phase des Eingangssignals zweimal um 180 Grad, zusammen also um 360 Grad. Positive Halbwellen am Eingang erzeugen also wieder positive Halbwellen am Ausgang. Damit ist prinzipiell die Bedingung für mögliche Eigenschwingungen gegeben. Wenn also ein Teil des Ausgangssignals vom Ausgang wieder auf den Eingang zurückgekoppelt wird, entstehen Eigenschwingungen. Machen Sie dazu einen kleinen Test. Berühren Sie den Ausgang mit einem Finger und den Eingang mit einem Finger der anderen Hand. Sofort hören Sie einen Ton. Sie können den Übergangswiderstand durch sehr schwache Berührung vergrößern und damit die Frequenz ändern.

5.4 Radioklänge

Für einen Verstärker kann es vorteilhaft sein, möglichst wenige Kondensatoren im Signalweg zu verwenden. Daher bietet es sich an, die Basis der zweiten Verstärkerstufe direkt mit dem Kollektor der ersten Stufe zu verbinden. Allerdings muss man gleichzeitig dafür sorgen, dass beide Transistoren einen geeigneten Arbeitspunkt einnehmen. Das gelingt durch eine Gegenkopplung zur Basis des ersten Transistors. Damit sich die Gegenkopplung nur auf die Gleichspannungsverhältnisse, nicht aber auf die verstärkten Signale auswirkt, fügt man einen zusätzlichen Tiefpass aus Widerstand und Kondensator ein. Mittlere und hohe Frequenzen werden daher nicht geschwächt. Die Schaltung in Abb. 5.11 erreicht daher eine höhere Gesamtverstärkung als der zweistufige Verstärker im vorigen Abschnitt.

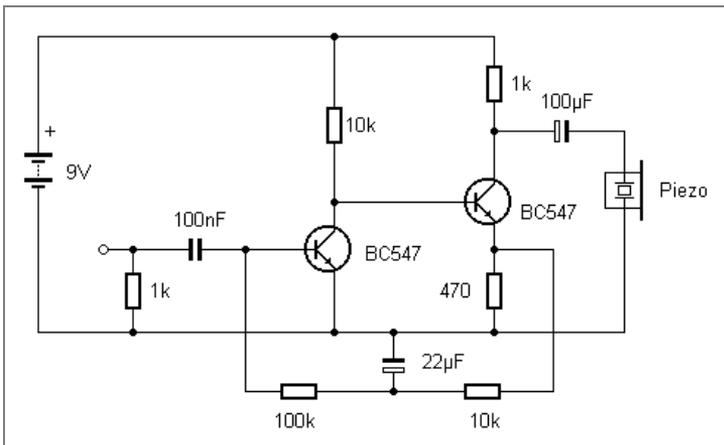


Abb. 5.11: Ein direkt gekoppelter Verstärker

Am Eingang des Verstärkers liegt ein Widerstand von 1 k Ω . Hier könnte nun eine Signalquelle angeschlossen werden. Ohne den Widerstand wäre der Eingang hochohmiger. Man bevorzugt aber oft einen definierten Eingangswiderstand. Er hat hier auch noch einen zweiten Grund, der sich erst im praktischen Aufbau zeigt.

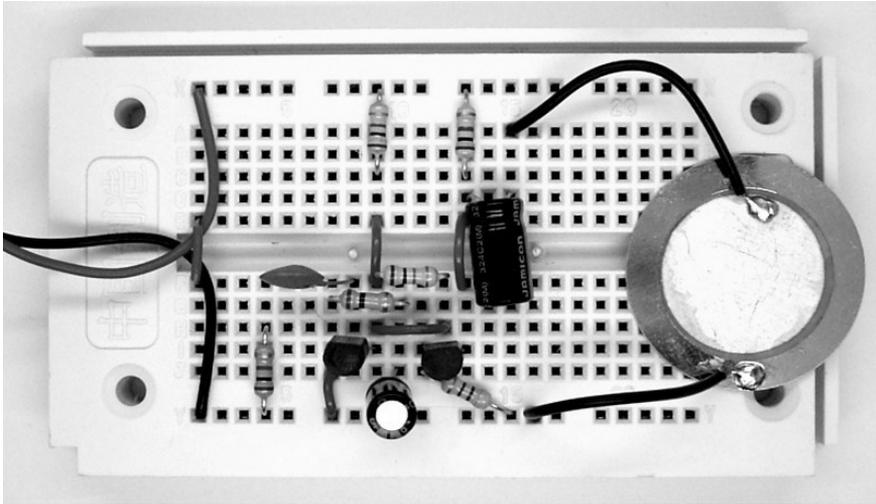


Abb. 5.12: Ein empfindlicher Signalverstärker

Der Verstärker zeigt zunächst kein Ausgangssignal, da eine Signalquelle fehlt. Das ist aber auch ein gutes Zeichen, denn man kann schon erkennen, dass die Schaltung stabil ist und nicht schwingt. Machen Sie nun den »Fingertest« und berühren den Eingang. Sie werden ein Brummen hören.

Wussten Sie schon, dass man mit einem Verstärker auch Radio hören kann? Das Phänomen ist unter Bühnentechnikern und Verstärkerentwicklern bekannt und berüchtigt. Ein empfindlicher Mikrofonverstärker kann ungewollt starke Radiosignale empfangen. Mit diesem Verstärker können Sie es testen. Sie brauchen dazu nicht einmal eine richtige Antenne, denn Sie selbst können als Antenne dienen.

Stellen Sie zunächst eine Verbindung zu Erde her. Dazu eignet sich z. B. ein Draht zwischen dem Minusanschluss der Batterie und einem Wasserrohr. Aber auch das PC-Gehäuse oder der Abschirmkragen eines am PC angeschlossenen USB-Kabels kann verwendet werden. Berühren Sie dann den Eingang mit dem Finger. In den meisten Fällen werden Sie nun leise Radioklänge aus dem Schallwandler hören. Es kann sich um das Programm Ihres Ortssenders im Mittelwellenbereich handeln, aber auch um weit entfernte Kurzwellenstationen.

Der Eingangswiderstand von $1\text{ k}\Omega$ spielt in der Anwendung des Verstärkers als Radio eine besondere Rolle. Ein hochohmiger Eingang würde bei direkter Berührung vor allem Netzbrummen aufnehmen. In Ihrer Eigenschaft als Signalquelle haben Sie für niedrige Frequenzen einen hohen Innenwiderstand, da Sie im Wesentlichen eine sehr kleine Kapazität zu den umgebenden Netzleitungen bilden. Als Antenne für höhere Frequenzen ist Ihr Innenwiderstand dagegen

geringer. Daher liefern Hochfrequenzsignale am Eingangswiderstand von $1\text{ k}\Omega$ einen höheren Anteil als das 50-Hz-Brummen.

Was hier auf den ersten Blick wie ein unsinniges Experiment aussieht, hilft Ihnen, die Tücken der NF-Verstärkertechnik zu durchschauen. Nur wer die Störeffekte kennt, kann sie vermeiden. In diesem Fall müsste man durch einen Tiefpassfilter dafür sorgen, dass der Verstärker keine höheren Frequenzen als ca. 20 kHz verarbeitet.

Falls Sie übrigens Spaß an Ihrem Radio gefunden haben, können Sie auch einen längeren Draht als Antenne anschließen. Um den Klang zu verbessern, kann ein dynamischer Kopfhörer statt des Piezo-Schallwandlers verwendet werden. Sie hören meist mehrere Sender gleichzeitig, wobei abwechselnd der eine oder der andere Sender stärker hervortritt. In Kapitel 10.2 wird noch ein verbessertes Radio mit Operationsverstärker vorgestellt.

5.5 Emitter folgt Basis

Bei den bisherigen Versuchen lag die Last immer am Kollektor, während der Emitter auf einem unveränderlichen Potential lag (Emitterschaltung). Die Schaltung in Abb. 5.13 zeigt dagegen die Kollektorschaltung, bei der der Kollektor an einem festen Potential liegt und der Emitter den Ausgang bildet. Die Emitterspannung liegt immer um $0,6\text{ V}$ bis $0,7\text{ V}$ niedriger als die Basisspannung. Die Emitterspannung folgt jeder Änderung der Basisspannung. Deshalb nennt man die Schaltung auch Emitterfolger.

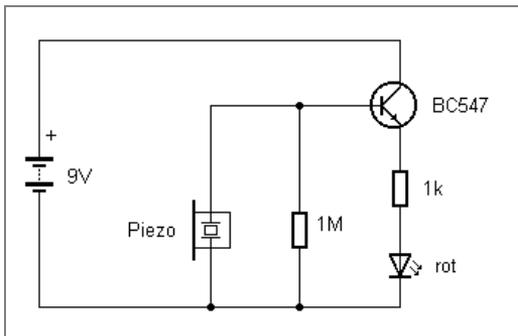


Abb. 5.13: Signalverstärker für einen Piezosensor

Der Emitterfolger (die Kollektorschaltung) hat keine Spannungsverstärkung, bzw. eine »Verstärkung« von fast 1. Aber es gibt eine Stromverstärkung. Daher ist der Eingangswiderstand der Schaltung groß und der Ausgangswiderstand klein. Im Zusammenhang mit Spannungsänderungen bzw. Wechselspannungssignalen spricht man auch von der Impedanz (Wechselstromwiderstand). Der Emitter-

folger ist daher ein Impedanzwandler. Er setzt einen großen Eingangswiderstand in einen kleineren Ausgangswiderstand um, ohne die Spannung zu verändern. Die Schaltung ermöglicht daher einen einfachen Versuch mit dem Piezo-Schallwandler als Signalquelle. Im Ruhezustand ist die Eingangsspannung Null, die LED bleibt also aus. Klopfen Sie nun mit dem Finger oder besser mit einem weichen Radiergummi leicht auf den Piezolautsprecher. Bei jedem Klopfen blinkt die LED kurz auf.

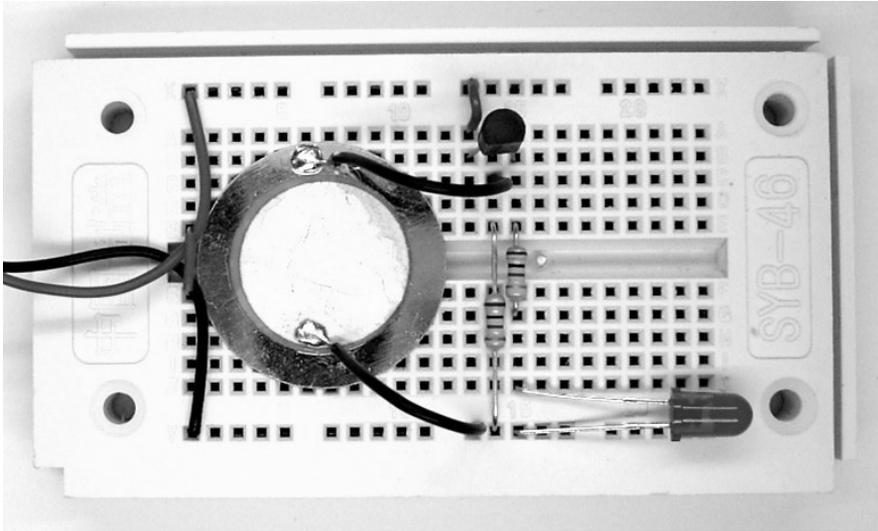


Abb. 5.14: Emitterfolger am Piezowandler

Der Piezo-Schallwandler stellt in diesem Versuch eine hochohmige Signalquelle dar, die aber ohne Probleme Signalspannungen von einigen Volt liefert. Der Emitterfolger sorgt für eine Anpassung an die niedrige Impedanz der LED-Last. Sie erhalten also so einen einfachen, aber wirksamen Klopfsensor.

5.6 Im Gegentakt

Der Sensorverstärker im vorigen Abschnitt konnte nur eine Halbwelle des erzeugten Sensorsignals verstärken. Tatsächlich liefert der Wandler jedoch ein Wechselspannungssignal. Vor allem in Leistungsverstärkern verwendet man Gegentaktendstufen. Zwei komplementäre Transistoren übernehmen jeweils die Verstärkung einer Halbwelle. Die Schaltung in Abb. 5.15 zeigt das Gegentaktprinzip. Jeder der beiden Transistoren arbeitet als Emitterfolger. Ein Spannungsteiler am Eingang legt eine mittlere Ruhespannung fest. Der Emitter-Ausgang folgt der Eingangsspannung und sorgt für einen genügenden Ausgangsstrom. Die

Schaltung hat also einen hochohmigen Eingang und einen niederohmigen Ausgang. Daher lassen sich nun beide Halbwellen des Sensors verstärken und an den LEDs anzeigen.

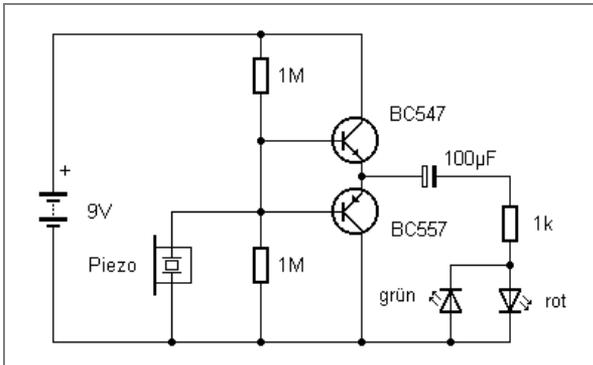


Abb. 5.15: Ein Gegentaktverstärker

Tippen Sie den Piezo-Wandler mit dem Finger an. Sie erhalten dann ein Wechselspannungs-Ausgangssignal, bei dem beide LEDs abwechselnd leuchten.

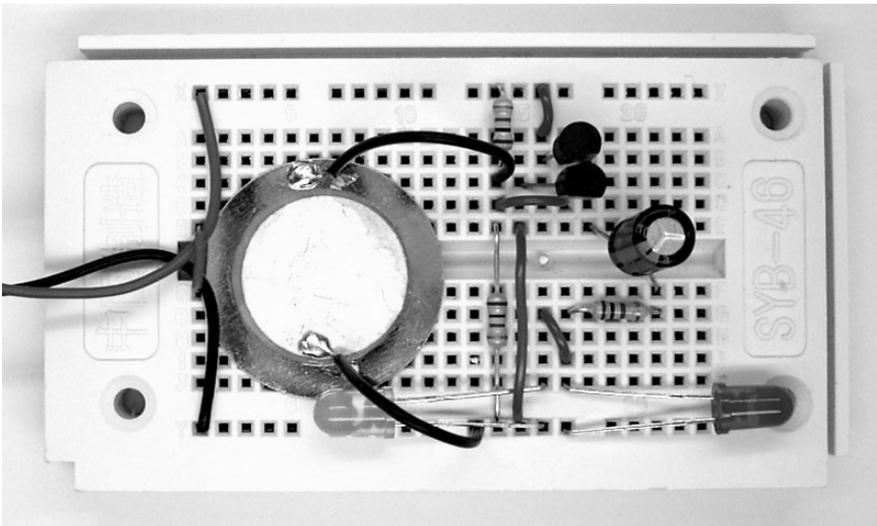


Abb. 5.16: Gegentakt-Sensorverstärker

6 Kippschaltungen

Digitale Elektronik unterscheidet sich von der bisher vorgestellten analogen Elektronik dadurch, dass Transistoren immer entweder ganz eingeschaltet oder ganz ausgeschaltet sind. Es gibt also nur zwei Zustände. Schaltungen können aber von einem stabilen Zustand (flip) in einen anderen (flop) kippen. Eine Flipflop-Schaltung funktioniert daher ähnlich wie ein Umschalter.

6.1 Flip und Flop

Eine Schaltung mit zwei stabilen Zuständen nennt man Kippschaltung oder Flipflop. Eine LED ist entweder an oder aus, aber niemals halb an. Abb. 6.1 zeigt die typische Schaltung eines einfachen Flipflops.

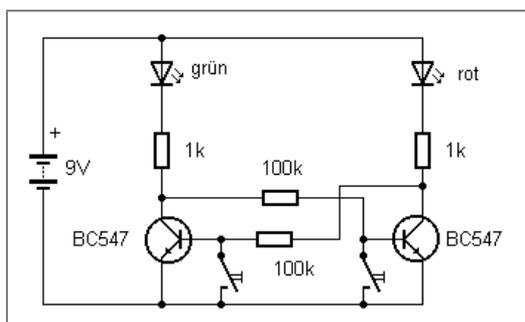


Abb. 6.1: Ein bistabiles Flipflop

Die Schaltung kippt in einen von zwei möglichen Zuständen: Wenn der rechte Transistor leitet, ist der linke gesperrt und umgekehrt. Der jeweils leitende Transistor hat eine geringe Kollektorspannung und schaltet damit den Basisstrom des anderen Transistors ab. Deshalb bleibt ein einmal eingenommener Schaltzustand stabil, bis er durch einen der Tastschalter geändert wird.

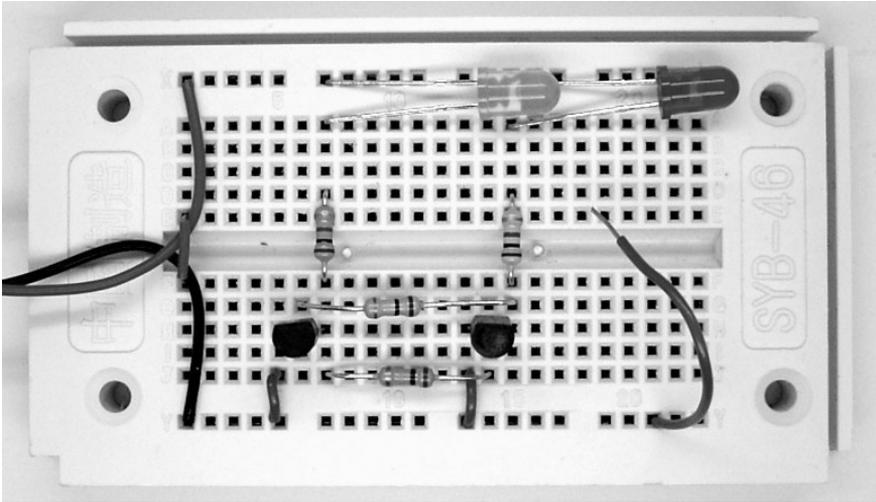


Abb. 6.2: Die einfache Kippschaltung

Bauen Sie die Schaltung zunächst ohne die Schalter auf. Sie werden feststellen, dass eine von beiden LEDs leuchtet. Es kann aber nicht vorhergesagt werden, welche Seite eingeschaltet sein wird. Meist entscheidet die ungleiche Stromverstärkung der Transistoren darüber, zu welcher Seite die Schaltung kippt. Falls zufällig genau gleiche Daten vorliegen sollten, kommt das immer vorhandene schwache Rauschen ins Spiel und gibt den Ausschlag zu einer Seite. Es kann daher sein, dass die Schaltung bei mehrmaligem Einschalten mal den einen und mal den anderen Zustand einnimmt.

Verwenden Sie nun eine Drahtbrücke, mit der Sie jeweils einen der beiden Transistoren sperren. Der eingenommene Zustand bleibt nach dem Entfernen der Brücke bestehen. Die beiden Zustände bezeichnet man auch als gesetzt (Set, S) und zurückgesetzt (Reset, R), daher kommt der Name RS-Flipflop.

6.2 Zünden und löschen

Thyristoren sind bistabile Schaltelemente mit drei Anschlüssen, ähnlich wie Transistoren. Über eine Steuerelektrode wird der Thyristor »gezündet«, also eingeschaltet. Er bleibt leitend, bis der Stromkreis unterbrochen wird.

Das gleiche Verhalten lässt sich wie in Abb. 6.3 mit einem NPN- und einem PNP-Transistor nachbilden. Der Kollektorstrom eines Transistors wird zugleich zum Basisstrom des anderen Transistors. Damit sind entweder beide Transistoren gemeinsam gesperrt oder leitend. Nach dem Einschalten befindet sich die Schaltung zuerst im Sperrzustand. Eine kurze Schalterbetätigung schaltet in den An-

Zustand um. Nur durch Abschalten der Betriebsspannung kehren die Transistoren in den gesperrten Zustand zurück.

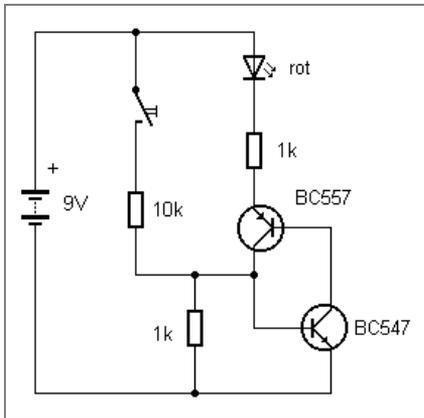


Abb. 6.3: Ersatzschaltung für einen Thyristor

Theoretisch sollte die Schaltung auch ohne Basis-Emitterwiderstand funktionieren. Allerdings können kleinste Isolationsfehler die Schaltung dann bereits ohne Schaltsignal zünden. Dazu kommen die geringen Sperrschichtkapazitäten der Transistoren, die einen kleinen Ladestrom beim Einschalten bewirken. Da die Gesamtverstärkung wie bei einem Darlington-Transistor sehr groß ist, reicht schon ein sehr schwacher Impuls zum Zünden. Ein zu großer Basis-Emitterwiderstand kann daher nicht zuverlässig verhindern, dass die Schaltung beim Anlegen der Batteriespannung von allein einschaltet.

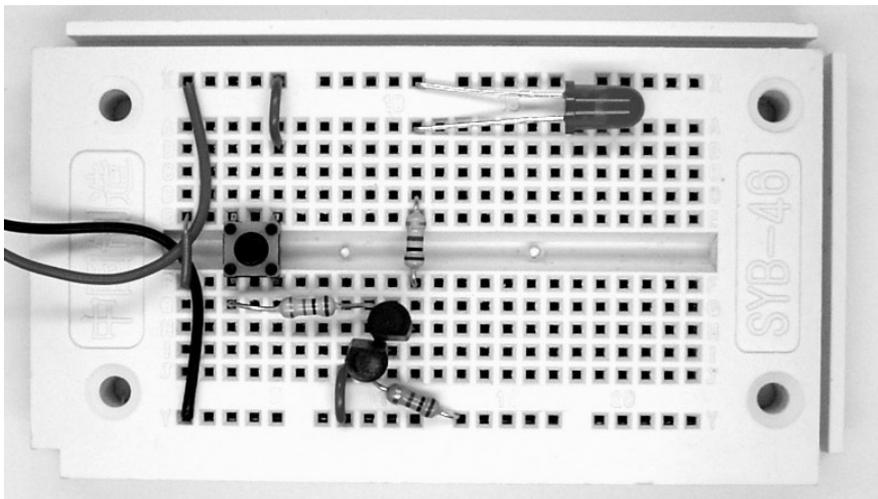


Abb. 6.4: Kippschaltung mit NPN- und PNP-Transistor

Die Schaltung kann mit einer kleinen Erweiterung auch die Funktion eines RS-Flipflops übernehmen. Vermutlich ist Ihnen nach den bisherigen Versuchen schon klar, wo der zweite Schalter angesetzt werden kann. Eine von drei Möglichkeiten besteht darin, eine Kurzschlussbrücke zwischen beide Emittoren zu legen. Solange dieser Nebenstromkreis besteht, ist der Verbraucher zwar noch an, die Transistoren sind jedoch bereits stromlos.

Bei dieser Schaltung kann man oft beobachten, dass der nachgebildete Thyristor schon beim Einschalten der Betriebsspannung zündet. Die unvermeidlichen Sperrschichtkapazitäten beider Transistoren liefern dann einen ausreichenden Zündimpuls. Die Schaltung zündet also zu leicht und ist damit zu empfindlich. Abhilfe schafft z. B. ein kleinerer Basiswiderstand oder ein zusätzlicher Basiswiderstand für den PNP-Transistor. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Stromanstieg zu verlangsamen. Abb. 6.5 zeigt eine mögliche Lösung. Hier wurde ein Kondensator von 100 nF zwischen Basis und Emittor des NPN-Transistors gelegt. Das ungewollte Zünden beim Anlegen der Betriebsspannung kann damit zuverlässig vermieden werden.

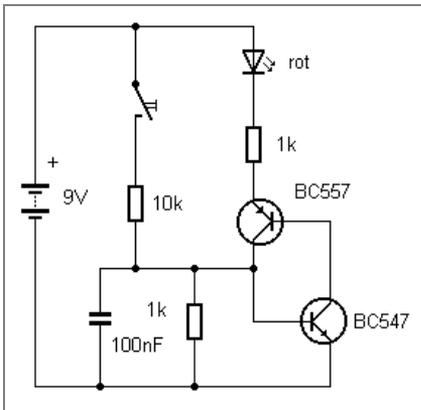


Abb. 6.5: Entstörung der Thyristor-Ersatzschaltung

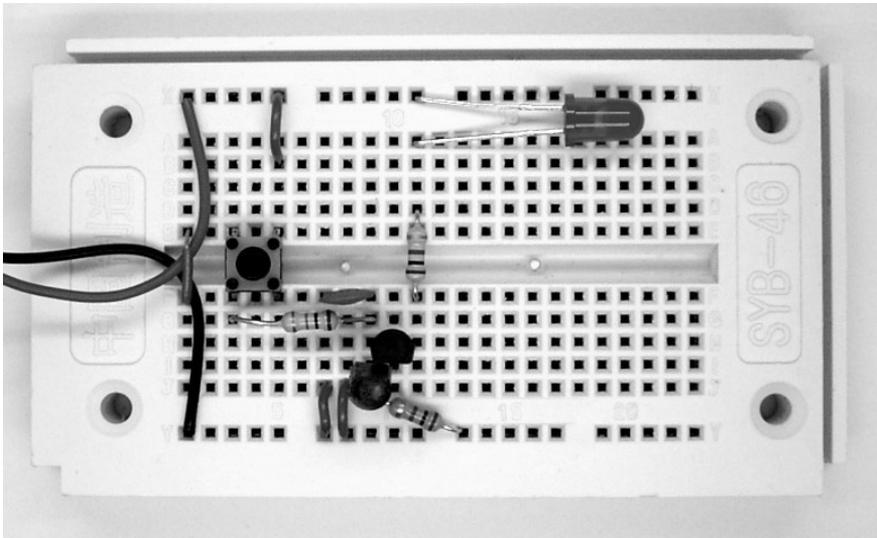


Abb. 6.6: Entstörung durch einen Kondensator

6.3 Getriggerte Helligkeit

Die Schmitt-Triggerschaltung ist ein Bindeglied zwischen analoger und digitaler Elektronik. Eine beliebige Eingangsspannung wird eindeutig in die Zustände An und Aus umgesetzt. Ein Beispiel für die Anwendung ist ein Dämmerungsschalter. Wenn es dunkel wird, soll eine Lampe eingeschaltet werden. Wichtig ist, dass es im Übergangsbereich nicht zum Flackern der Lampe kommt. Die Schaltung darf also erst bei einer größeren Helligkeit wieder ausschalten. Zwischen beiden Schaltpunkten muss es einen gewissen Abstand (Hysterese) geben.

Abb. 6.7 zeigt die klassische Schaltung des Schmitt-Triggers. Jede Kippschaltung braucht eine Rückkopplung zum Erreichen eines stabilen Zustands. Hier erfolgt die Rückkopplung über die Emitteranschlüsse. Der Spannungsabfall im gemeinsamen Emitterwiderstand sorgt dafür, dass jeweils ein eindeutiger Zustand vorliegt.

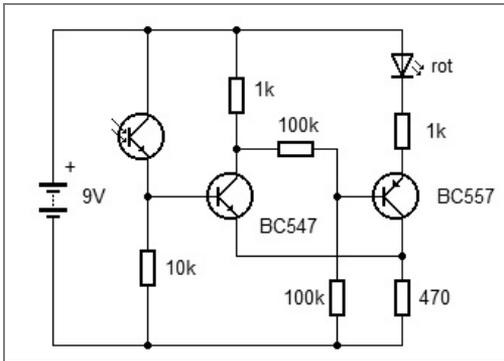


Abb. 6.7: Der Schmitt-Trigger

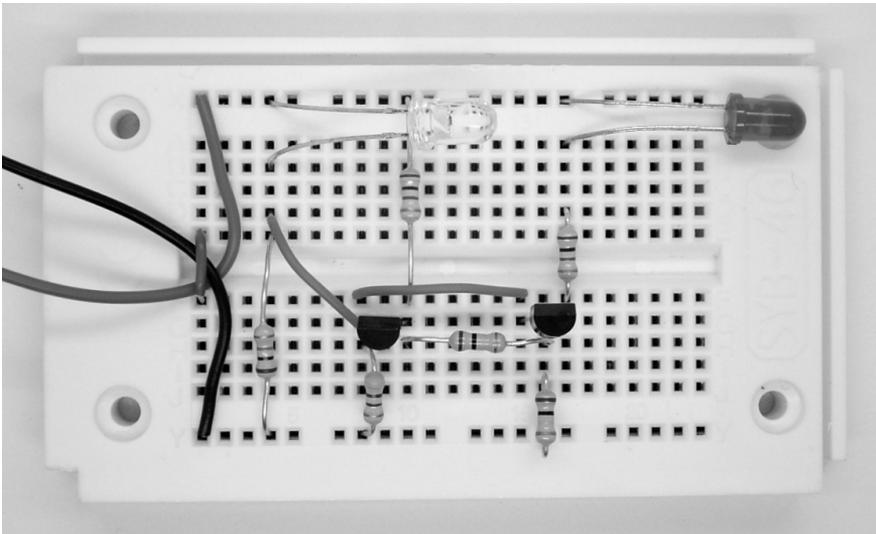


Abb. 6.8: Schmitt-Trigger als Dämmerungsschalter

Die Spannung am Eingang des Schmitt-Triggers wird durch die Helligkeit am Fotowiderstand beeinflusst. Abdunkeln führt zum Einschalten der LED, eine hellere Beleuchtung zum Ausschalten. Zwischen beiden Schaltpunkten ist eine deutliche Hysterese zu erkennen. Sie sollte im Normalfall ausreichen, um eine Reaktion auf das Flackern von Kunstlicht zu vermeiden.

6.4 Zurückgekoppelt

Ein Schmitt-Trigger lässt sich noch einfacher mit der Schaltung aus Abb. 6.10 realisieren. Zwei NPN-Transistoren in Emitterschaltung sind direkt gekoppelt.

Ein zusätzlicher Widerstand vom Ausgang zum Eingang sorgt für die nötige Rückkopplung und damit für die Schalthysterese.

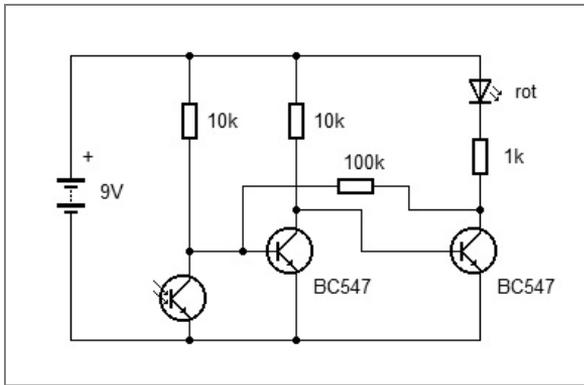


Abb. 6.9: Vereinfachter Schmitt-Trigger

Der Versuch verwendet wieder den Fototransistor. Diesmal wird jedoch die LED bei großer Helligkeit eingeschaltet und bei Dunkelheit ausgeschaltet. Auch bei langsamer Abschattung lässt sich kein Übergangsbereich finden. Wie es für einen Schmitt-Trigger typisch ist, wird eine allmähliche Änderung in abrupte Sprünge umgesetzt. Allerdings kann stark flimmerndes Kunstlicht dazu führen, dass durch schnelles Umschalten scheinbar Zwischenzustände eingenommen werden, die aber tatsächlich durch schnelles Ein- und Ausschalten entstehen. In diesem Fall wird ein zusätzlich am Ausgang angeschlossener Piezo-Schallwandler ein schnarrendes Geräusch abgeben.

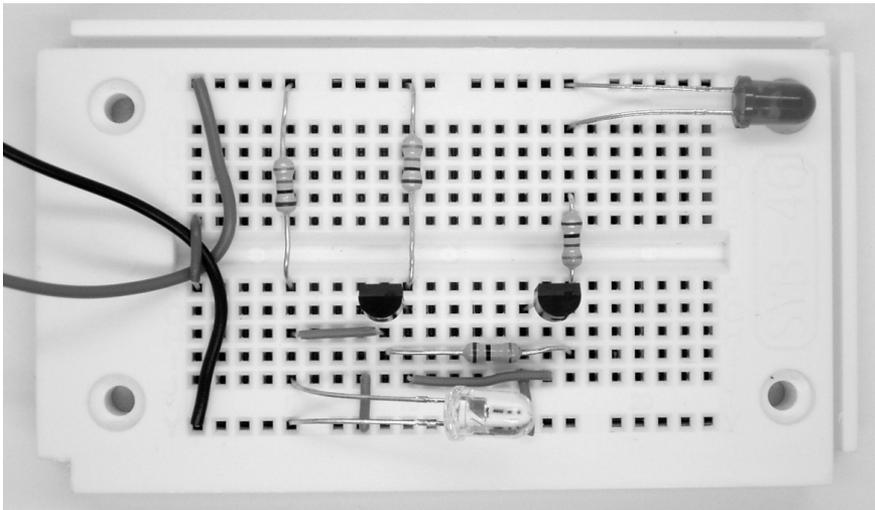


Abb. 6.10: Lichtsensor mit Schalthysterese

Die Empfindlichkeit der Schaltung lässt sich in weiten Grenzen an die Lichtverhältnisse anpassen, indem man den Spannungsteiler am Eingang verändert. Mit einem Festwiderstand von $10\text{ k}\Omega$ wird erst bei großer Helligkeit z. B. nahe einer Lampe geschaltet. Mit einem Widerstand von $100\text{ k}\Omega$ erfasst man den mittleren Helligkeitsbereich in Wohnräumen.

7 Blinkerschaltungen und Oszillatoren

Oszillatoren sind Schaltungen, die selbstständig Schwingungen erzeugen. Für langsame Umschaltvorgänge werden meist Kippschaltungen eingesetzt. Höhere Frequenzen werden für Tongeneratoren benötigt. Anwendungen reichen vom Lügendetektor bis zum spannungsgesteuerten Oszillator für Messzwecke.

7.1 Streng im Wechsel

Die Standardschaltung für eine astabile Kippschaltung ist der Multivibrator in Abb. 7.1. Die Rückkopplung erfolgt über Kondensatoren. Wenn Elkos verwendet werden, muss die Polung beachtet werden, da die Spannung am jeweiligen Kollektor im Mittel höher ist als an der gegenüberliegenden Basis. Der Zustand der Schaltung bleibt immer nur so lange stabil, wie die Kondensatoren noch umgeladen werden. Danach kippt die Schaltung in den jeweils anderen Zustand.

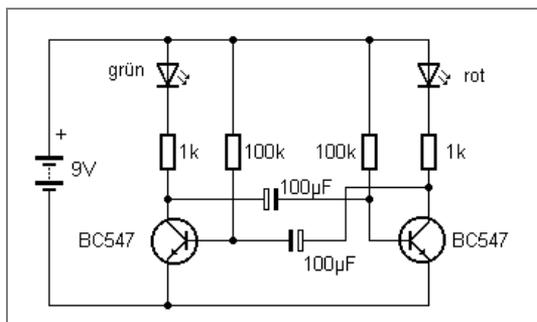


Abb. 7.1: Der Multivibrator

Im praktischen Versuch mit zwei Elkos von $100\ \mu\text{F}$ ergibt sich eine sehr geringe Blinkfrequenz mit weniger als fünf vollständigen Wechseln in einer Minute. Sie können die Schaltfrequenz des Multivibrators in weiten Grenzen verändern, indem Sie die Kondensatoren austauschen. Führen Sie Versuche mit kleineren und mit ungleichen Kondensatoren durch. Mit $100\ \mu\text{F}$ und $100\ \text{nF}$ entstehen nur noch kurze Lichtblitze an einer der beiden LEDs. Mit Kondensatoren von $10\ \text{nF}$ und $100\ \text{nF}$ ergibt sich ein schnelles Flackern.

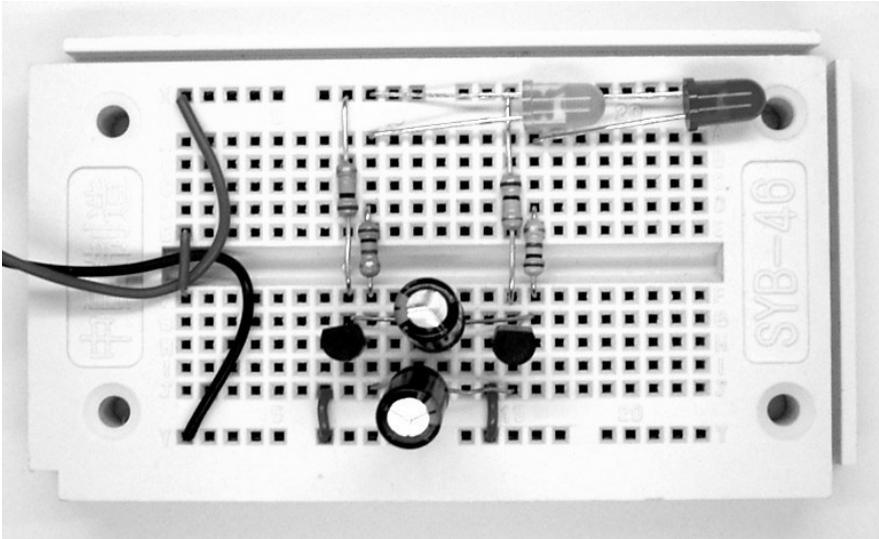


Abb. 7.2: Ein langsamer Wechselblinker

Schließen Sie zusätzlich auch einmal den Piezo-Schallwandler parallel zum Ausgang an. Sie hören dann Knackgeräusche für jedes Umschalten. Mit kleineren Kondensatoren geht das Geräusch in ein Knattern über. Der Multivibrator kann also zugleich als Tongenerator eingesetzt werden.

7.2 An und Aus

Der Multivibrator lässt sich vereinfachen, sodass nur noch ein Kondensator benötigt wird. Grundsätzlich benötigt die Schaltung zwei Transistoren in Emitterschaltung, die jeweils die Phase um 180 Grad drehen. Die Stufen können aber direkt gekoppelt werden, so dass ein Kondensator entfällt.

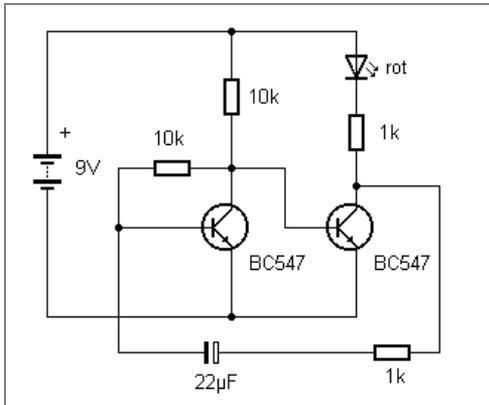


Abb. 7.3: Der vereinfachte Blinker

Die notwendige Bedingung für sicheres Anschwingen der Schaltung ist ein mittlerer Arbeitspunkt ohne die Rückkopplung. In anderen Fällen ist der Ausgangstransistor entweder ganz gesperrt oder voll durchgesteuert. Die Gesamtschaltung hätte dann nicht genügend Verstärkung zum Aufbau von Schwingungen. Hier sorgt eine starke Gegenkopplung am ersten Transistor für einen mittleren Arbeitspunkt. Die Rückkopplung über ein RC-Glied überwiegt aber und führt im Endeffekt dazu, dass der Ausgangstransistor abwechselnd sperrt und voll durchgeschaltet wird.

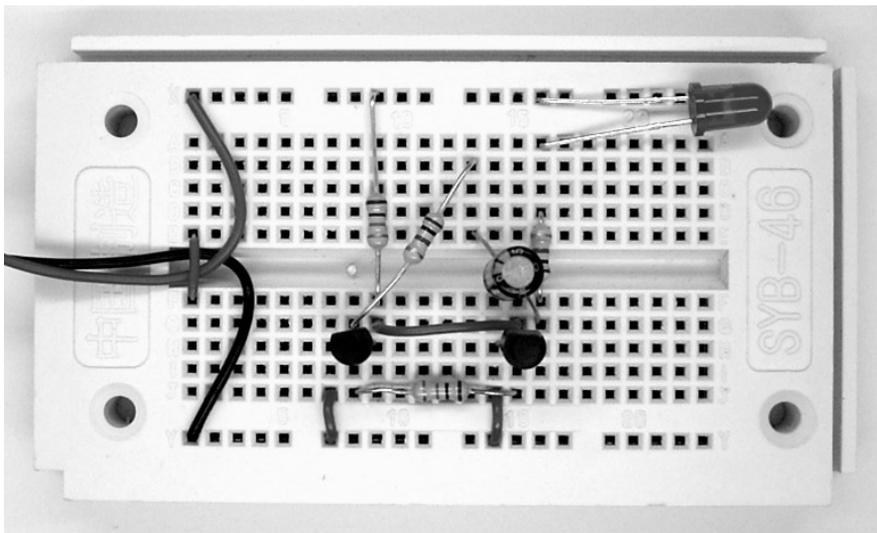


Abb. 7.4: Blinker mit nur einem Kondensator

Bauen Sie die Schaltung zunächst ohne den Rückkopplungskondensator auf. Die LED sollte schwach leuchten, da der Ausgangstransistor nicht ganz durchge-

steuert ist. Mit eingesetztem Kondensator geht die LED abwechselnd ganz an und ganz aus. Mit dem Kondensator von $22\ \mu\text{F}$ blinkt die LED etwa einmal pro Sekunde. Versuchen Sie auch kleinere Kondensatoren bis herunter zu $100\ \text{nF}$ und $10\ \text{nF}$. Das Blinken geht in ein schnelles Flackern über. Ein zusätzlich angeschlossener Schallwandler erzeugt ein hörbares Knattern.

Es müssen nicht immer zwei NPN-Transistoren sein. Abb. 7.5 zeigt einen Blinker mit komplementären Transistoren. Ein stabiler Arbeitspunkt ergibt sich durch die Kollektor-Basis-Gegenkopplung des NPN-Transistors. Der PNP-Transistor arbeitet als Emitterfolger. In der Kollektorleitung liegt ein Hilfswiderstand, an dem ein phasenrichtiges Signal für die Rückkopplung abgenommen werden kann.

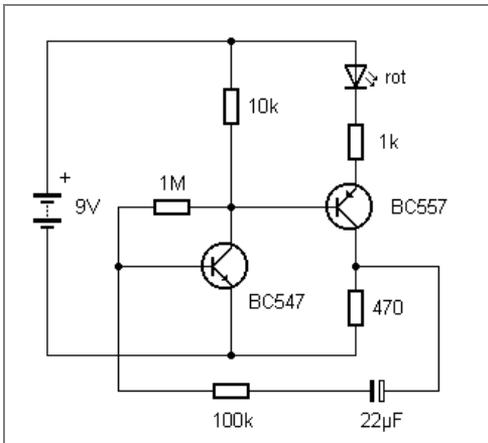


Abb. 7.5: Eine komplementäre Blinkerschaltung

Der Rückkopplungszweig der Schaltung ist sehr hochohmig. Schon mit einem Rückkopplungskondensator von nur $22\ \mu\text{F}$ ergibt sich daher eine Periode von mehreren Sekunden. Sie können kleinere Kondensatoren einsetzen, um die Blinkfrequenz zu erhöhen.

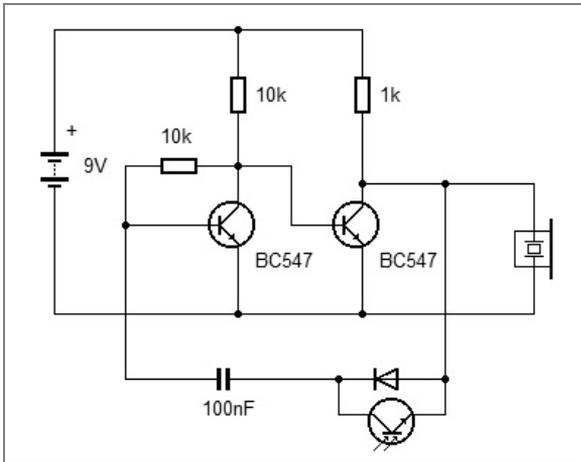


Abb. 7.7: Ein einstellbarer Tongenerator

Sie können die Schaltung mit unterschiedlichen Kondensatoren aufbauen. Mit 100 nF ergibt sich ein tiefer Ton. Der höhere Ton bei 10 nF ist besser hörbar, da er näher an der Resonanzfrequenz des Schallwandlers liegt.

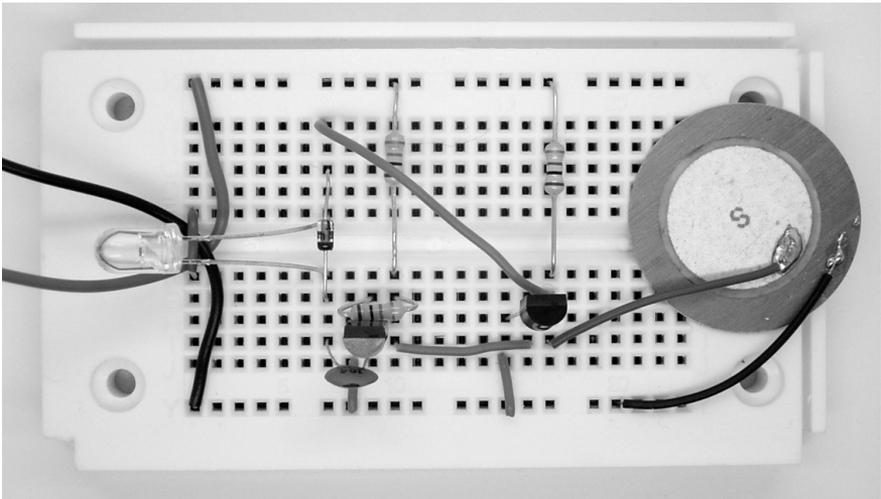


Abb. 7.8: Tongenerator mit Lichtsensor

Mit dieser Schaltung können Sie nicht nur die Helligkeit, sondern auch die Art des Lichts unterscheiden. Stark flackerndes Kunstlicht moduliert die Frequenz des Tonsignals. Das Licht einer Leuchtstoffröhre erzeugt einen schnarrenden Ton. Ebenso verändert das Licht eines PC-Monitors den Klang durch eine Tonmodulation mit der Bildwiederholfrequenz.

7.4 Spannung steuert Töne

Ein spannungsabhängiger Oszillator (Voltage-controlled-oscillator, VCO) kann mit einem Multivibrator wie in Abb. 7.9 aufgebaut werden. Beide Basiswiderstände führen an einen Spannungseingang. Je höher die anliegende Spannung ist, desto größer wird der Ladestrom und damit die Frequenz des Oszillators. Ein einstellbarer Spannungsteiler erlaubt die Vorgabe einer beliebigen Spannung und damit die Einstellung der Frequenz.

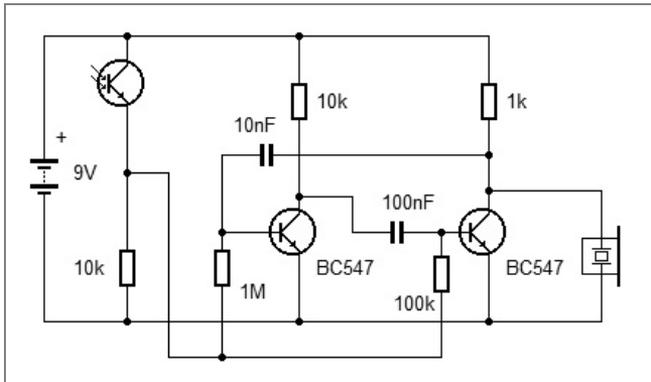


Abb. 7.9: Ein Multivibrator als VCO

Die Schaltung wurde wegen der im Lernpaket vorhandenen Bauteile unsymmetrisch aufgebaut. Der linke Transistor hat zehnfach höhere Widerstände und zugleich einen zehnfach kleineren Rückkopplungskondensator. Insgesamt ergibt sich ein ausgeglichenes Taktverhältnis.

Für den realen Aufbau verwenden Sie den Fototransistor zur Einstellung der Eingangsspannung. Die Tonhöhe verändert sich mit der Helligkeit. Die Schaltung kann aber auch als akustisches Voltmeter mit dem Messbereich 0,5 V bis 10 V verwendet werden. Sie können z. B. unterschiedliche Batterien testen.

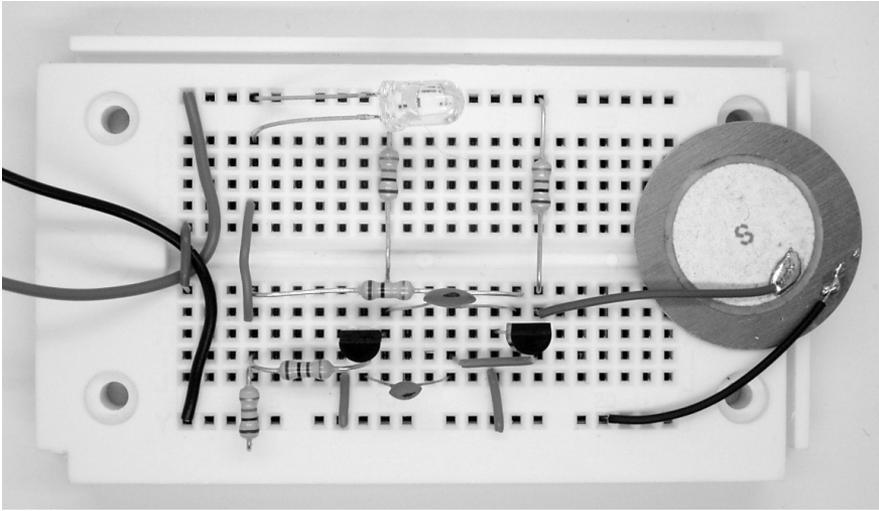


Abb. 7.10: Lichtabhängiger Tongenerator

7.5 Sägezähne

Kippschwingungen mit ihrer typischen Sägezahnform entstehen, wenn ein Kondensator periodisch bis zu einer bestimmten Spannung geladen wird und sich dann schlagartig entlädt. Die Schaltung in Abb. 7.11 zeigt eine mögliche Realisierung. Solange der Kondensator noch geladen wird, bleibt der PNP-Transistor gesperrt, und auch die beiden NPN-Transistoren erhalten keinen Basisstrom. Die Kippgrenze wird durch den Spannungsteiler aus zwei $10\text{-k}\Omega$ -Widerständen auf ca. $4,5\text{ V} + 0,6\text{ V}$ festgelegt. Ab ca. $5,1\text{ V}$ fließt also ein Strom, der sich durch Rückkopplung zu einem kräftigen Entladestrom verstärkt. Die Spannung sinkt dabei bis auf $0,6\text{ V}$. Dann sperren die Transistoren, und der nächste Ladevorgang beginnt.

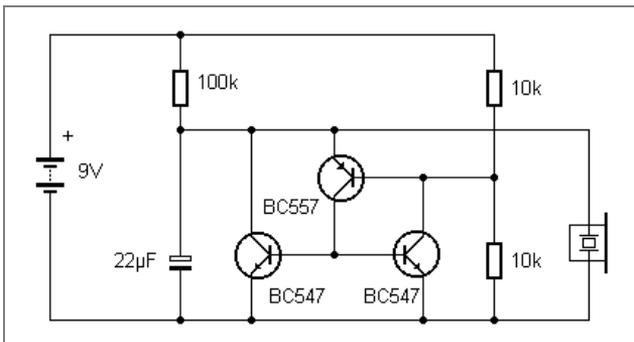


Abb. 7.11: Ein Sägezahn-generator

Sie können den Kondensator durch kleinere Kondensatoren oder durch den Piezo-Schallwandler allein ersetzen, der ja zugleich auch ein Kondensator ist. Wegen der geringeren Kapazität von ca. 20 nF ergibt sich eine höhere Frequenz der Kippschwingung. Sie hören einen gleichmäßigen Ton. Schalten Sie verschiedene Kondensatoren parallel, um die Frequenz zu verkleinern. Mit einem Elko von 22 μF sinkt die Frequenz auf unter einen Impuls pro Sekunde. Das Gerät ist nun als einfaches Metronom einsetzbar.

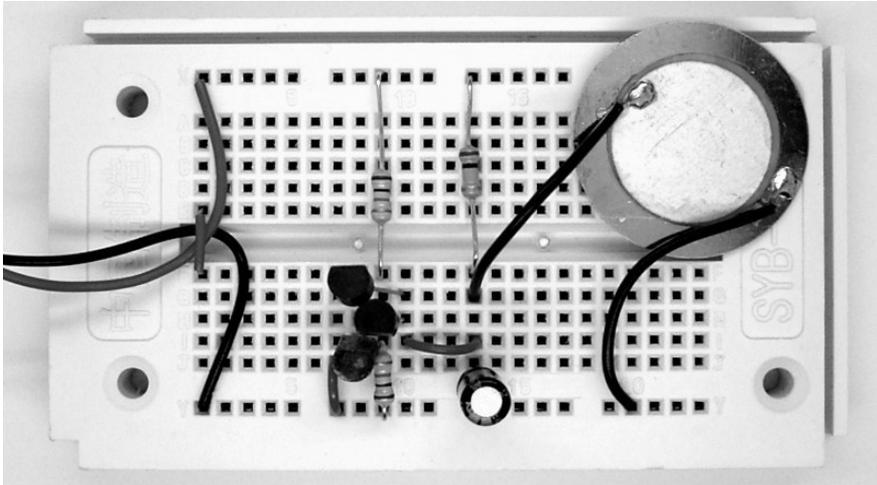


Abb. 7.12: Der Kippgenerator

Die Schaltung lässt sich noch etwas vereinfachen, indem man einen NPN-Transistor weglässt. Die Funktion bleibt zwar gleich, die Schaltung neigt aber eher dazu, wie ein Thyristor im leitenden Zustand hängen zu bleiben. Zuverlässige Schwingungen entstehen aber bei geringen Ladeströmen, also mit einem großen Ladewiderstand von z. B. 1 M Ω .

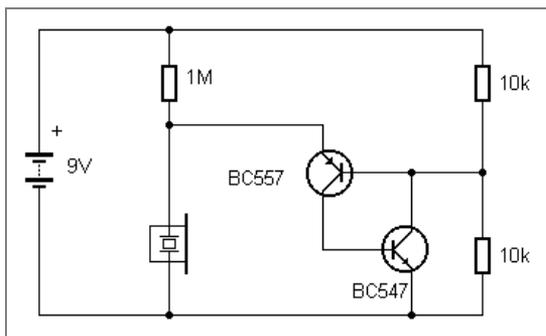


Abb. 7.13: Der vereinfachte Kippgenerator

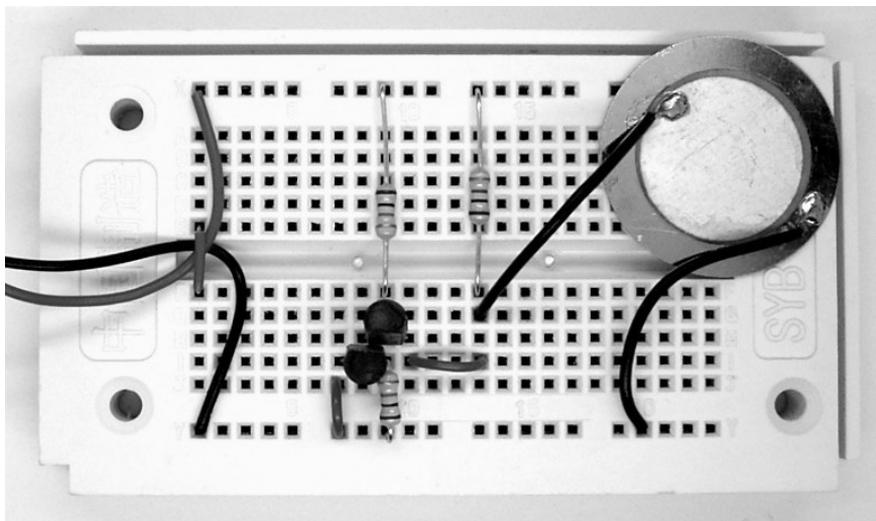


Abb. 7.14: Kippgenerator mit zwei Transistoren

8 Operationsverstärker

Ein Operationsverstärker (OPV) ist eine komplexe Schaltung zur Ausführung analoger Rechenoperationen. Eine Eingangsspannung um einen genauen Faktor zu verstärken entspricht der Rechenoperation Multiplikation. Aber auch andere Operationen wie Addition und Subtraktion lassen sich mit Operationsverstärkern mit großer Genauigkeit ausführen. Ursprünglich wurden diese Schaltungen für Analogrechner entwickelt, die Vorgänger heutiger Computer. Heute sind sie Universalbausteine für die unterschiedlichsten Aufgaben. Das Lernpaket enthält einen zweifachen Operationsverstärker (OPV) vom Typ LM358. Jeder dieser Verstärker ist eine komplexe integrierte Schaltung mit ca. 50 Transistoren. Viele Aufgaben lassen sich mit einem OPV wesentlich einfacher lösen als mit Einzelhalbleitern. In diesem Kapitel sollen die wichtigsten Schaltungen mit Operationsverstärkern vorgestellt und erprobt werden.

8.1 Den kleinen Unterschied verstärken

Der Differenzverstärker hat zwei Eingänge und zwei Ausgänge. Die Schaltung soll hier mit Einzeltransistoren aufgebaut werden, um die Grundfunktion des Operationsverstärkers zu beleuchten. Kleinste Differenzen zwischen den Eingängen werden erheblich verstärkt. Der Strom durch den gemeinsamen Emittorwiderstand teilt sich in Abhängigkeit von der Ansteuerung auf beide Transistoren auf. Der rechte Transistor erhält in diesem Beispiel eine durch zwei Si-Dioden stabilisierte Eingangsspannung. Der linke Transistor erhält seine Eingangsspannung von einem einstellbaren Spannungsteiler. Die verstärkte Differenzspannung erscheint zwischen den beiden Kollektoren.

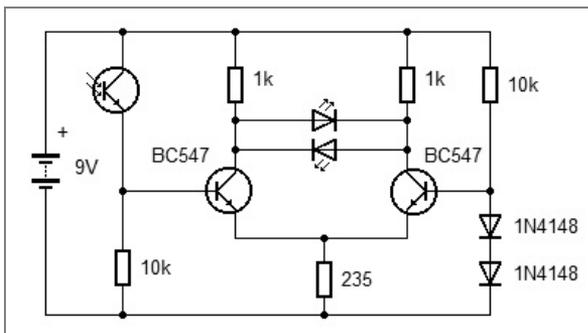


Abb. 8.1: Ein einfacher Differenzverstärker

Die Eingangsspannung wird durch den Fotowiderstand bestimmt. Der Emitterwiderstand von 235Ω wird durch eine Parallelschaltung aus zwei $470\text{-}\Omega$ -Widerständen gebildet. Verändern Sie die Helligkeit am Fotowiderstand durch teilweise Abschattung. Wegen der großen Verstärkung ist es kaum möglich, den Differenzverstärker in ein genaues Gleichgewicht zu bringen. Die angezeigte Spannung wird meist durch die Durchlassspannung der LEDs begrenzt, d. h. die LEDs gehen in den leitenden Zustand und leuchten.

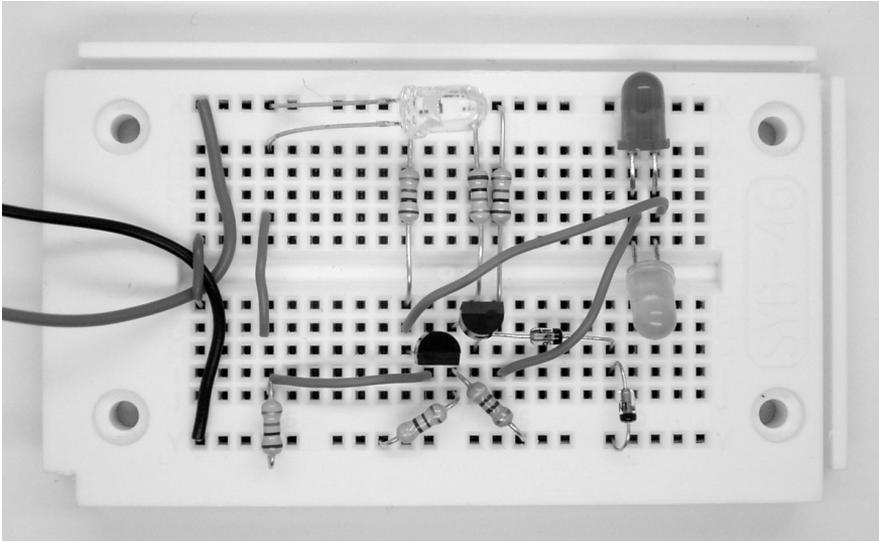


Abb. 8.2: Differenzverstärker als Komparator

Erproben Sie die Schaltung bei natürlichem Licht. Durch vorsichtiges Abschatten des Fotowiderstands können Sie versuchen, den Verstärker in den Gleichgewichtszustand zu bringen, wobei keine der beiden LEDs leuchtet. Tatsächlich ist dies wegen der erheblichen Verstärkung der Schaltung nur schwer zu erreichen. In den meisten Fällen wird daher eine von beiden LEDs leuchten. Bei einer bestimmten Helligkeit wird eine scharfe Grenze erscheinen.

Bei Kunstlicht kann es vorkommen, dass scheinbar beide LEDs gemeinsam leuchten. Das geringe Flackern des Lichts führt jedoch dazu, dass sie in schneller Folge abwechselnd einschalten. Der Wechselspannungsanteil am Eingang wird dabei bis über die Schwellenspannung der LEDs verstärkt.

Der Differenzverstärker bildet die Grundlage für den Operationsverstärker (OPV). Tatsächlich enthält das IC vom Typ LM358 zwei vollständige Verstärker mit jeweils rund 50 Transistoren. In der Eingangsstufe befindet sich ein Differenzverstärker ähnlich der hier vorgestellten Schaltung.

8.2 Operation Vergleich

Das Grundprinzip des Operationsverstärkers ist einfach: Die Differenz der Eingangsspannungen wird sehr hoch verstärkt. Die Spannungsverstärkung ist etwa 100.000-fach. Es reicht also ein Unterschied von weniger als 0,1 mV an den Eingängen, um die Ausgangsspannung über den gesamten Bereich zu steuern. In der theoretischen Planung von Schaltungen kann die Verstärkung als unendlich angesehen werden.

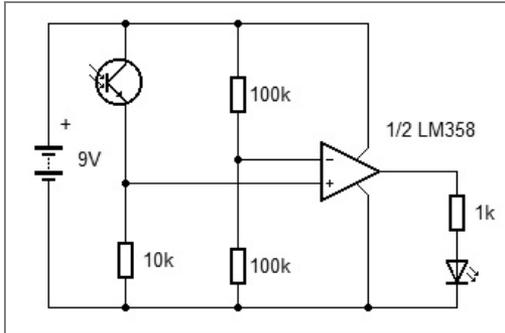


Abb. 8.3: Der OPV als Komparator

Die Schaltung arbeitet wie ein Komparator (Vergleicher). Immer wenn die Spannung am nichtinvertierenden Eingang über der Spannung am invertierenden Eingang liegt, erreicht der Ausgang seine volle Spannung. Im anderen Fall sinkt die Ausgangsspannung auf den Minimalwert von einigen Millivolt.

Abb. 8.4 zeigt die Anschlüsse des LM358. Die Betriebsspannungsanschlüsse am Pin 4 (Minus) und am Pin 8 (Plus) müssen immer verbunden werden. Oft wird jedoch nur einer der beiden internen Verstärker eingesetzt, so dass drei Anschlüsse an einer Seite frei bleiben.

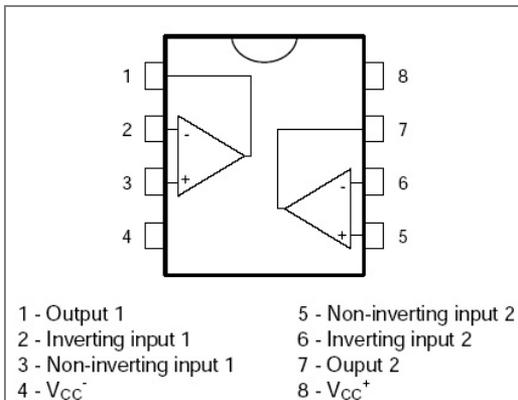


Abb. 8.4: Anschlussbild des Zweifach-OPV LM358

Der Versuch realisiert einen empfindlichen Lichtsensor. Immer wenn die Helligkeit einen gewissen Grenzwert überschreitet, ist die LED eingeschaltet. Bei natürlichem Licht gibt es keinen Zwischenwert, bei dem die LED mit reduzierter Helligkeit leuchtet. Nur bei Kunstlicht kann dieser Fall scheinbar eintreten. Tatsächlich aber schaltet der Ausgang in schneller Folge zwischen den Extremwerten um, d. h. es entsteht ein rechteckförmiges Ausgangssignal, dessen hohe Frequenz zu einer mittleren Helligkeit der LED führt.

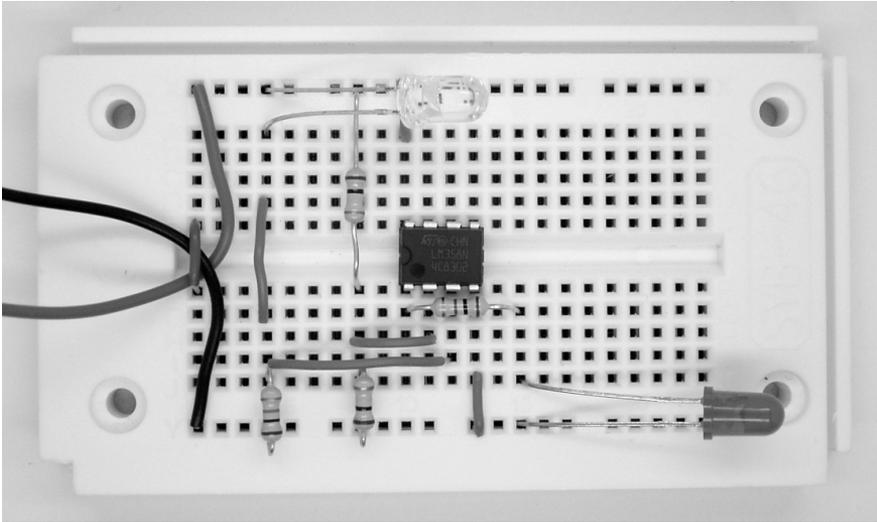


Abb. 8.5: Der Komparator mit Lichtsensor

Der Aufbau in Abb. 8.5 verwendet den ersten OPV an den Anschlüssen 1 bis 3 des LM358. Bauen Sie die Schaltung auch einmal mit dem zweiten OPV an den Anschlüssen 5 bis 7 auf. Sie werden sehen, dass die Funktion sich nicht ändert. Der jeweils nicht verwendete Verstärker darf frei bleiben und beeinflusst die Funktion nicht.

8.3 Verstärkung Eins

Im Normalfall werden Operationsverstärker mit starker Gegenkopplung betrieben. Die Ausgangsspannung wird ganz oder teilweise auf den invertierten Eingang zurückgeführt. Die unendliche Verstärkung des OPV sinkt dabei auf einen endlichen Wert. Die Schaltung nach Abb. 8.6 arbeitet mit voller Gegenkopplung. Es entsteht ein Verstärker mit dem Spannungsverstärkungsfaktor 1. Da die Eingänge hochohmig sind, erhält man einen Impedanzwandler.

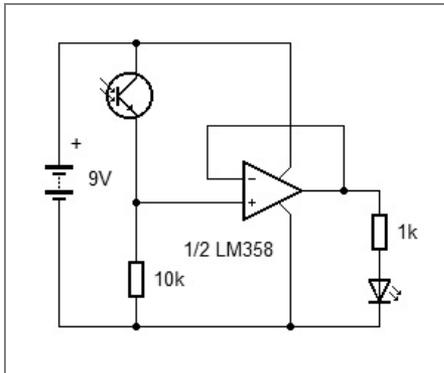


Abb. 8.6: Voll gegengekoppelter OPV

Verändern Sie die Eingangsspannung durch unterschiedliche Helligkeit am Fotowiderstand. Die Spannung erscheint unverändert am Ausgang. Man erkennt, dass die Helligkeit der LED stufenlos der Helligkeit folgt.

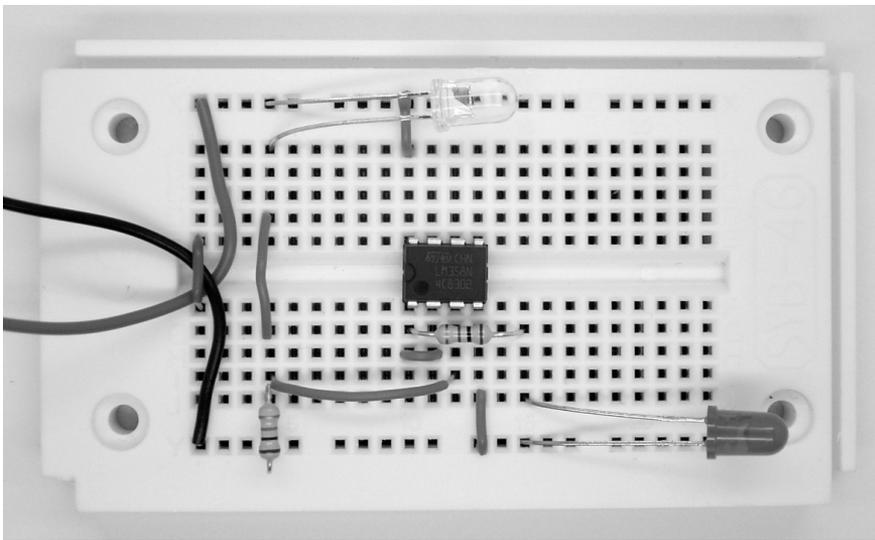


Abb. 8.7: Ein linearer Sensorverstärker

8.4 Spannung mal zwei

Wenn man statt der direkten Gegenkopplung nur einen Teil der Ausgangsspannung auf den invertierenden Eingang zurückkoppelt, stellt sich automatisch eine höhere Verstärkung ein. Die Schaltung nach Abb. 8.8 verwendet einen Spannungsteiler aus zwei gleichen Widerständen mit je 100 k Ω . Die Ausgangsspan-

nung wird also halbiert. Damit ergibt sich für die Gesamtschaltung ein Verstärkungsfaktor von genau 2.

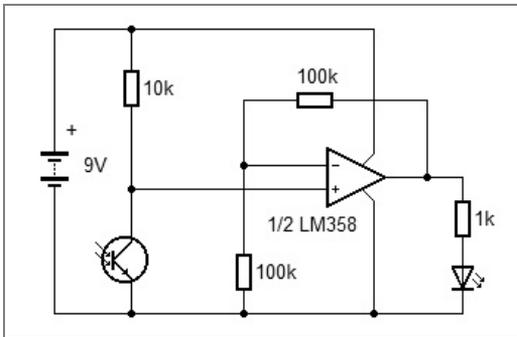


Abb. 8.8: Zweifache Spannungsverstärkung

Am Ausgang ändert sich die Spannung doppelt so stark wie am Eingang des Verstärkers. Sie erkennen nun eine empfindlichere Reaktion auf Lichtänderungen.

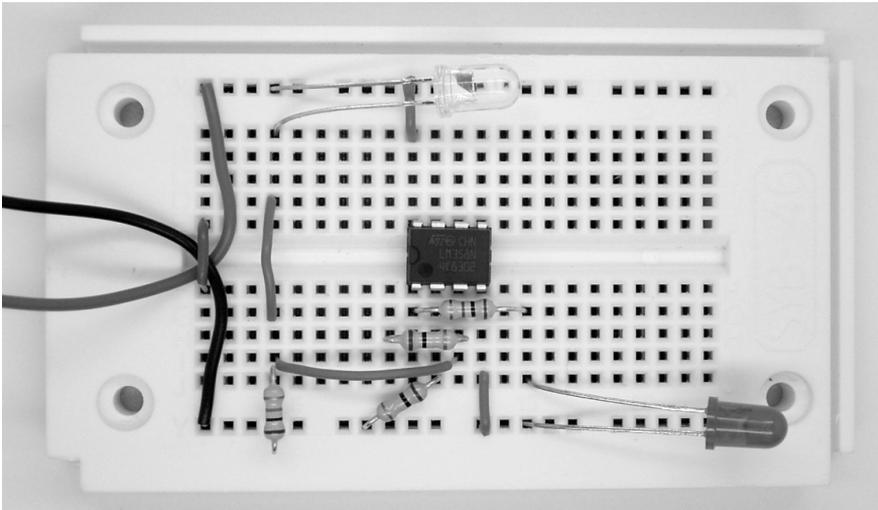


Abb. 8.9: Höhere Verstärkung

8.5 Verstärkte Töne

Für die Verstärkung einer Wechsellspannung ist wie bei vergleichbaren Transistorschaltungen ein geeigneter Arbeitspunkt wichtig. Die Ausgangsspannung des OPV sollte im Ruhezustand etwa auf der halben Betriebsspannung liegen, damit

sie zu beiden Seiten hin möglichst weit angesteuert werden kann. Der Verstärker nach Abb. 8.10 verwendet einen zusätzlichen Kondensator im Gegenkopplungs-Spannungsteiler. Für Gleichspannungen ergibt sich damit die volle Gegenkopplung und die Verstärkung 1. Am Ausgang erscheint also die mittlere Spannung von 4,5 V. Für Wechselspannungen genügend hoher Frequenz hat die Schaltung den Verstärkungsfaktor 11.

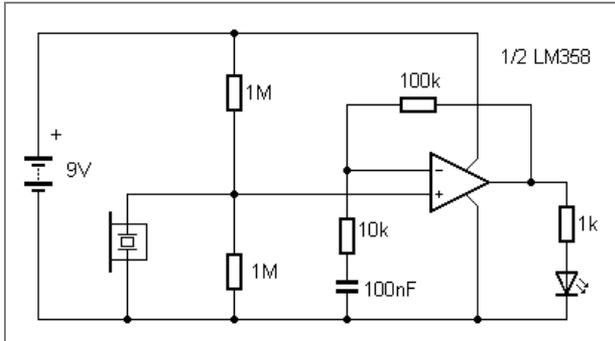


Abb. 8.10: Ein Tonfrequenzverstärker

Hier wird der Piezo-Schallwandler als Signalquelle verwendet. Der Eingangskondensator kann entfallen, weil der Schallwandler selbst als Kondensator arbeitet. Der Eingangswiderstand der Schaltung ist mit 500 k Ω ausreichend groß, um auch tiefe Frequenzen zu übertragen. Klopfen sie wieder mit dem Finger leicht auf die Keramikscheibe und beobachten Sie das Flackern der LED. Die Verstärkung ist erkennbar größer als bei dem ähnlichen Versuch mit einem Transistor-Spannungsfolger in Kap. 5.5.

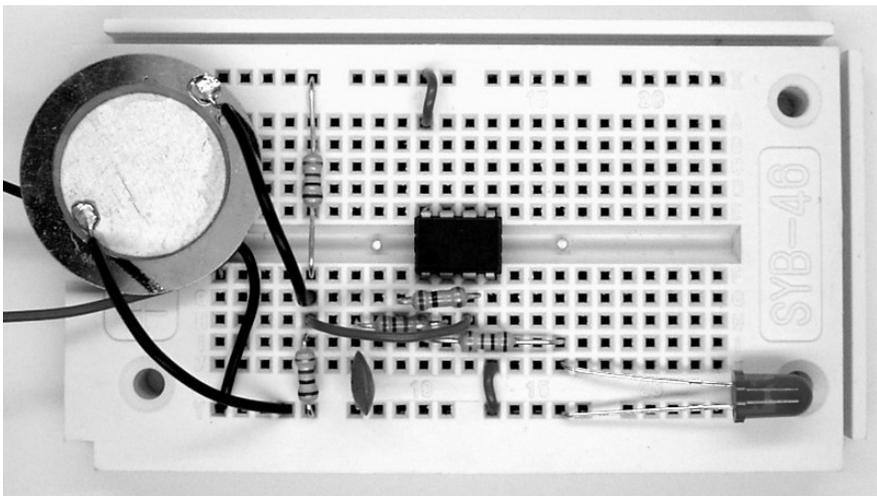


Abb. 8.11: Ein empfindlicher Klopfsensor

Sie können die Verstärkung noch weiter erhöhen. Die veränderte Schaltung in Abb. 8.12 verstärkt etwa 100-fach. Außerdem wurde die untere Grenzfrequenz durch einen größeren Kondensator in der Gegenkopplung herabgesetzt. Am Ausgang wurde ein Koppelkondensator eingefügt. Nun können zwei antiparallele LEDs angesteuert werden.

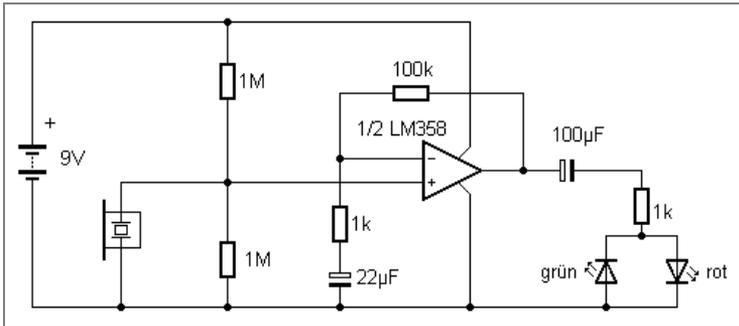


Abb. 8.12: 100-fache Verstärkung

Der Versuch zeigt, dass beide LEDs im Ruhezustand zunächst aus sind. Die erhebliche Verstärkung führt aber dazu, dass nun bereits lauter Schall ausreicht, um die LEDs zum Leuchten zu bringen. Fertig ist eine kleine Lichtorgel für die Party daheim.

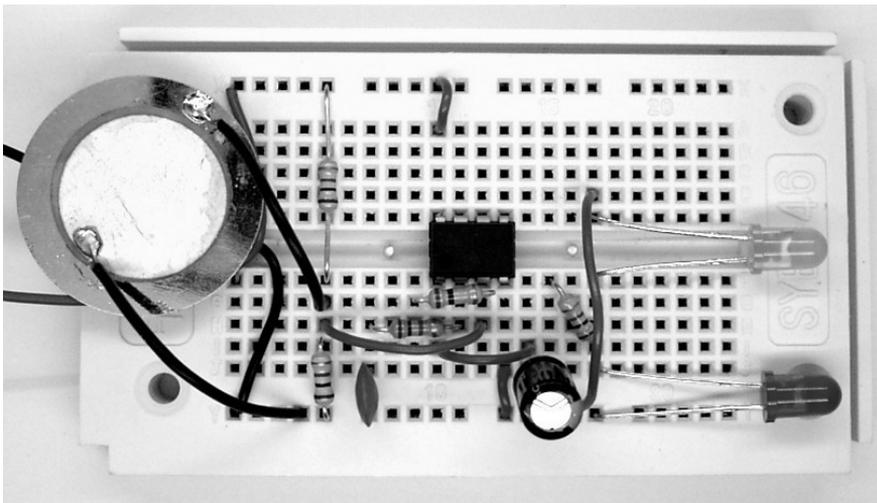


Abb. 8.13: Eine Lichtorgel

8.6 Dreieck und Rechteck

Die Schaltung dieses Oszillators besteht aus zwei Teilen. Der rechte OPV bildet einen Integrator zur Erzeugung linear ansteigender und abfallender Spannungen. Der linke OPV stellt einen Komparator mit einer großen Hysterese dar. Beide Schaltungen verwenden eine virtuelle Masse auf der halben Betriebsspannung. Immer wenn ein Umschaltpunkt des Komparators erreicht wird, wechselt der Integrator seine Laderichtung. Im Endergebnis entsteht am Ausgang ein symmetrisches Dreieckssignal.

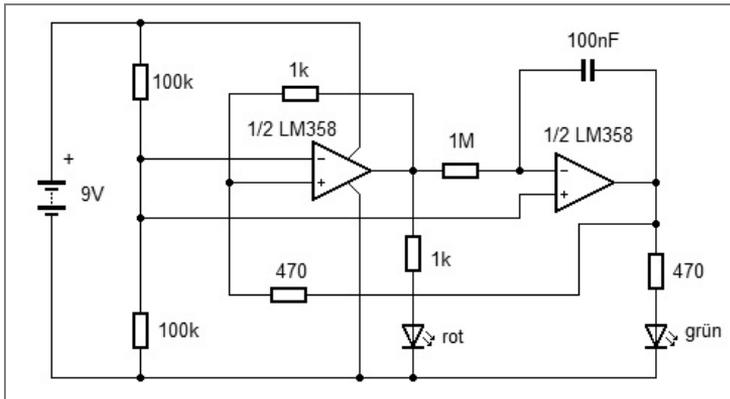


Abb. 8.14: Ein Funktionsgenerator

Hier werden beide Verstärker im LM358 verwendet. Für den Aufbau der Schaltung ist es unwichtig, welche Hälfte den Komparator und welche den Integrator darstellt. Im praktischen Versuch lassen sich die beiden unterschiedlichen Kurvenformen deutlich an den LEDs erkennen.

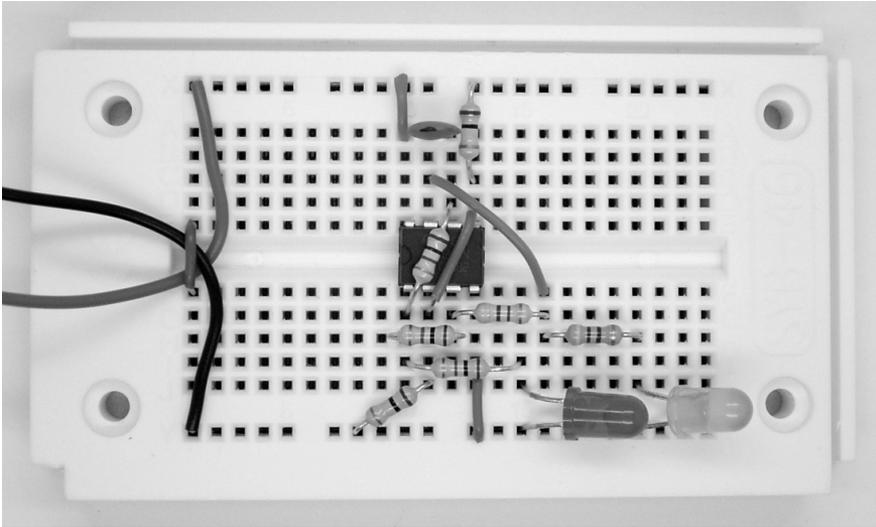


Abb. 8.15: Der lichtabhängige Signalgenerator

Man erkennt schnelle dreieckförmige Signale an der grünen LED und ein Rechtecksignal an der roten. Die Ausgangsfrequenz ist in weiten Grenzen mit dem Kondensator und dem Widerstand des Komparators veränderbar. Der Einsatz eines einzelnen Elkos für eine tiefere Blinkfrequenz ist problematisch, da der Kondensator in beide Richtungen geladen wird. Man kann jedoch zwei Elkos gegenpolig in Reihe schalten, um damit einen bipolaren Elko zu bilden. Der Integrator arbeitet dann effektiv mit $100\text{ k}\Omega$ und $50\text{ }\mu\text{F}$ und mit An- und Abstiegszeiten von etwa 5 s. Der Spannungsteiler muss nun mit den beiden $10\text{-k}\Omega$ -Widerständen des Lernpakets aufgebaut werden.

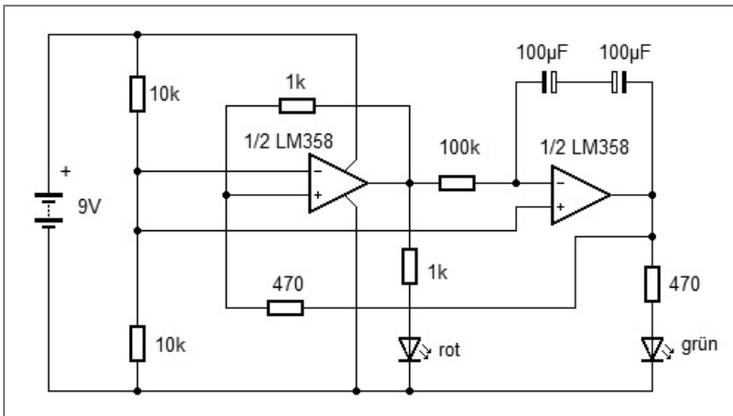


Abb. 8.16: Langsame Signale durch Elkos

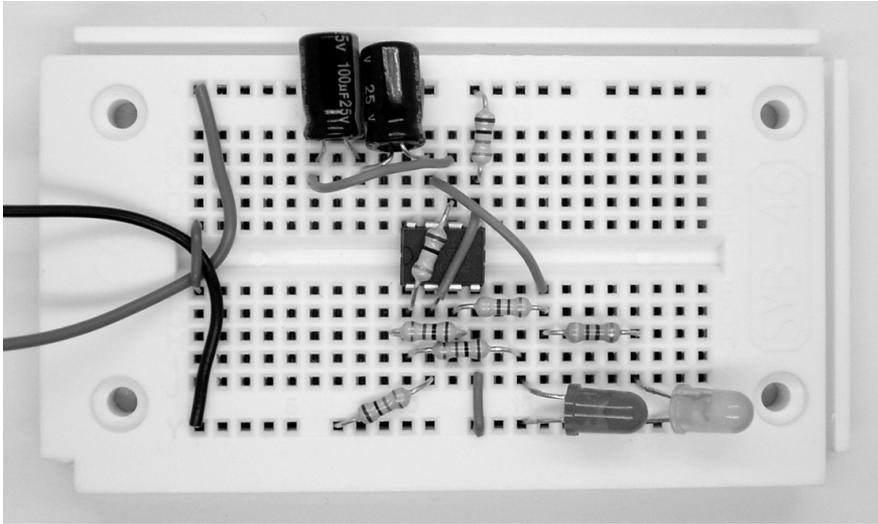


Abb. 8.17: Der bipolare Elko

9 Der Timer NE555

Der Universaltimer NE555 ist ein weit verbreiteter integrierter Schaltkreis zur einfachen Erzeugung von Verzögerungszeiten und Rechtecksignalen. Mit nur zwei externen Bauteilen lässt sich bereits ein Tongenerator oder ein Blinker aufbauen. Aber auch ganz andere Anwendungen wie z. B. Schwellenwertschalter und Komparatoren lassen sich mit dem IC realisieren.

9.1 Töne erzeugen

Der Timer 555 besteht intern im Wesentlichen aus zwei Komparatoren und einem RS-Flipflop. Ein interner Spannungsteiler aus drei gleichen Widerständen stellt die Vergleichsspannung von $1/3$ und $2/3$ der Betriebsspannung bereit. Der obere Komparator mit dem Eingang THR (Threshold, Schwelle) steuert den Reset-Eingang des Flipflops, der untere mit dem Eingang TRG (Trigger, Auslösung) den Set-Eingang. Im gesetzten Zustand wird der Entladetransistor am Ausgang DIS (Discharge, Entladung) leitend. Zusätzlich gibt es eine Gegentakt-Ausgangsstufe. Das Flipflop verfügt außerdem über einen Reset-Eingang, der im Ruhezustand an die positive Betriebsspannung gelegt werden soll. Ein zusätzlicher Control-Eingang an Pin 5 erlaubt die Beeinflussung der Komparatorspannungen von außen.

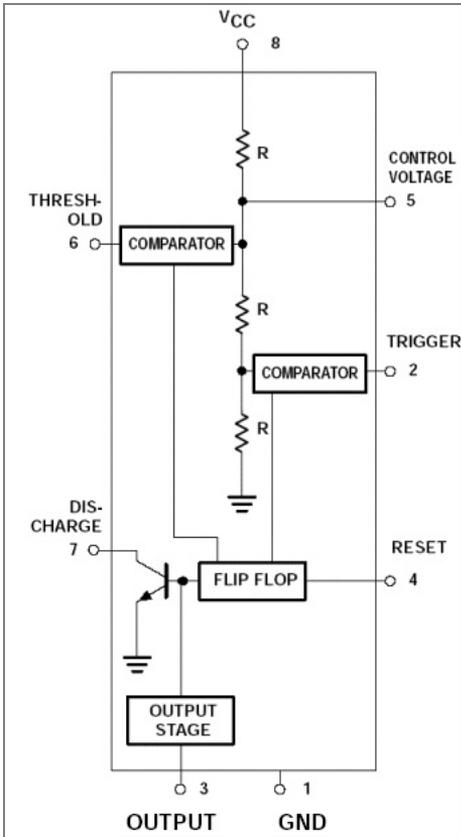


Abb. 9.1: Innenschaltbild des NE555

Die Schaltung in Abb. 9.2 zeigt die typische Beschaltung für einen Rechteck-generator. Ein Kondensator wird über beide 10-k Ω -Widerstände geladen und beim Erreichen der oberen Schaltschwelle über den DIS-Ausgang entladen, bis die untere Schaltschwelle erreicht ist.

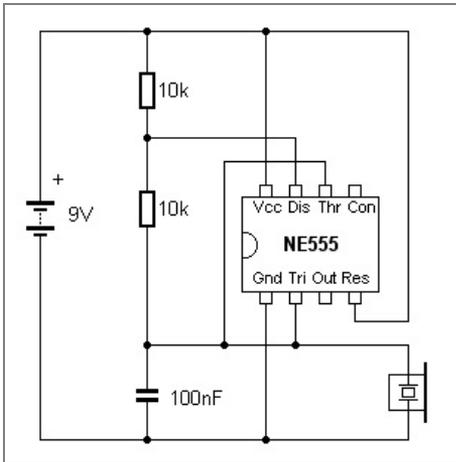


Abb. 9.2: Ein Tongenerator

Die Ladephase ist in dieser Anwendung doppelt so lang wie die Entladephase, weil insgesamt über einen Widerstand von $20\text{ k}\Omega$ geladen, aber über $10\text{ k}\Omega$ entladen wird. Daher entsteht ein unsymmetrisches Ausgangssignal mit einem Tastverhältnis von $2/3$.

Die Ausgangsfrequenz beträgt rund 500 Hz ist über den Piezo-Schallwandler gut zu hören, obwohl die Frequenz weit unterhalb der Resonanzfrequenz des Wandlers liegt. Die steilen Flanken des Rechtecksignals enthalten genügend Oberschwingungen, die in den Bereich guter Übertragung reichen.

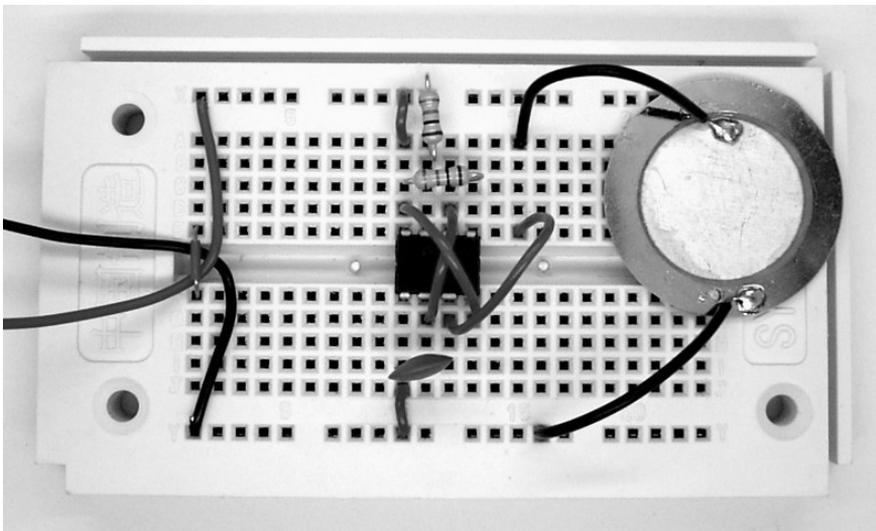


Abb. 9.3: Ein Summer

9.2 Präzise getaktet

Die Schaltung in Abb. 9.4 zeigt eine andere Variante der Rückkopplung. Diesmal genügt ein Widerstand vom Gegentakt-Ausgang an Pin 3 zum Ladekondensator. Hier soll ein Wechselblinker mit geringer Frequenz aufgebaut werden. Entsprechend wird ein größerer Ladekondensator von $22\ \mu\text{F}$ verwendet.

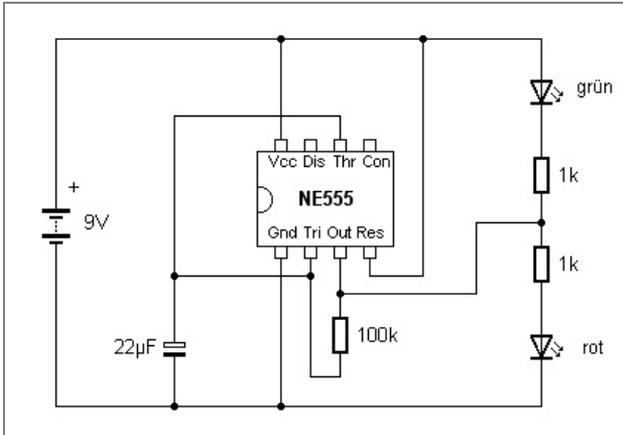


Abb. 9.4: Ein langsamer Blinker

Eigentlich kann der Reset-Eingang am Pin 4 unbeschaltet bleiben. Wenn Sie diesen Draht entfernen, arbeitet die Schaltung weiter wie gewohnt. Die verwendete bipolare Version des Timerbausteins mit internen NPN- und PNP-Transistoren erkennt den offenen Eingang als hochgesetzt. Dagegen ist ein offener Eingang bei der CMOS-Version des 555 nicht möglich. Damit Sie später nicht über diese Unterschiede stolpern, wird der Reset-Eingang hier grundsätzlich an Plus gelegt.

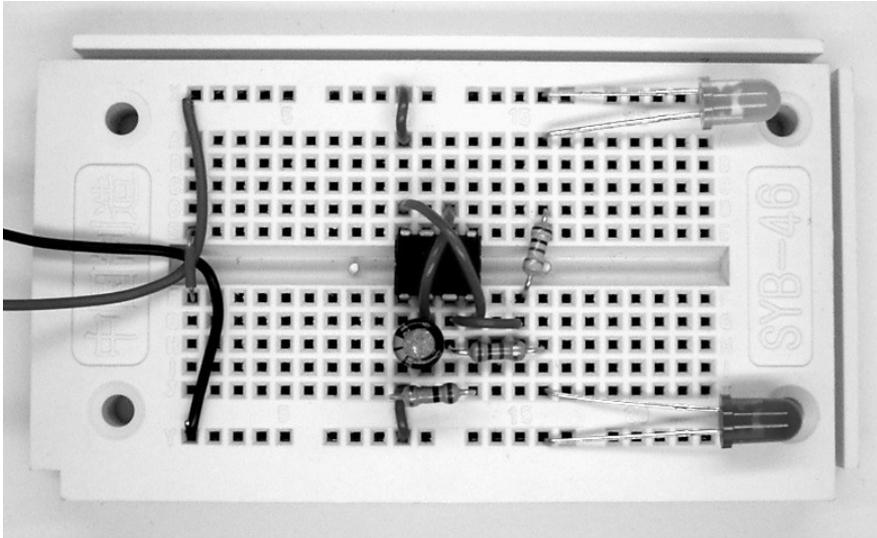


Abb. 9.5: Der Wechselblinker

9.3 Schwelle erreicht

Ein Schmitt-Trigger (vgl. Kap. 6.3) sorgt für eindeutige Schaltzustände in Abhängigkeit von einer anliegenden Eingangsspannung. Genau diese Funktion ist im Universaltimer NE555 bereits enthalten. Abb. 9.6 zeigt eine lichtabhängige Schaltstufe.

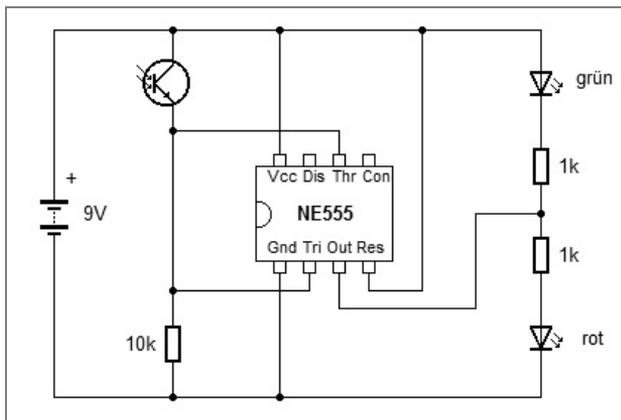


Abb. 9.6: Verwendung der internen Komparatoren

Bei großer Helligkeit beträgt die Komparatorspannung über $2/3$ der Betriebsspannung. Dann kippt der Ausgang in den Aus-Zustand. Der entgegengesetzte

Umschaltpunkt liegt bei $1/3$ der Betriebsspannung und wird erreicht, wenn die Helligkeit die untere Schwelle unterschreitet. Deshalb zeigt die Schaltung eine entsprechend große Hysterese, d. h. die Umschaltpunkte liegen bei einem Helligkeits-Unterschied von 1 zu 2. Die Schaltung lässt sich z. B. für eine Lichtschranke verwenden. Personen, die einen Lichtstrahl unterbrechen, werden erkannt.

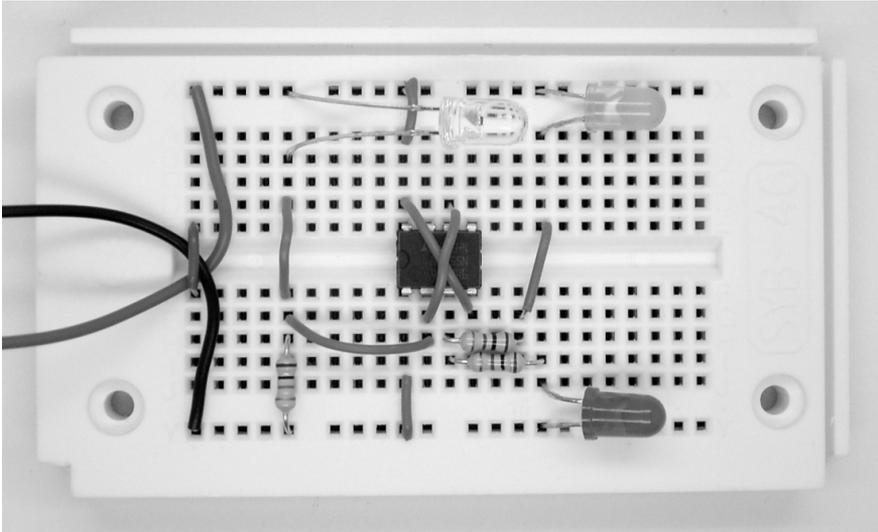


Abb. 9.7: Die Lichtschranke

9.4 Schneller Puls

Viele scheinbar analoge Steuerungen verwenden in Wirklichkeit ein schnelles Schaltsignal. So steuert z. B. ein Lampendimmer die Helligkeit, indem er die Lampe in schneller Folge ein- und ausschaltet. Die hohe Schaltfrequenz sorgt dafür, dass kaum ein Flackern zu sehen ist. Bei der Pulsweitenmodulation (PWM) verändert man das Verhältnis zwischen Puls (an) und Pause (aus).

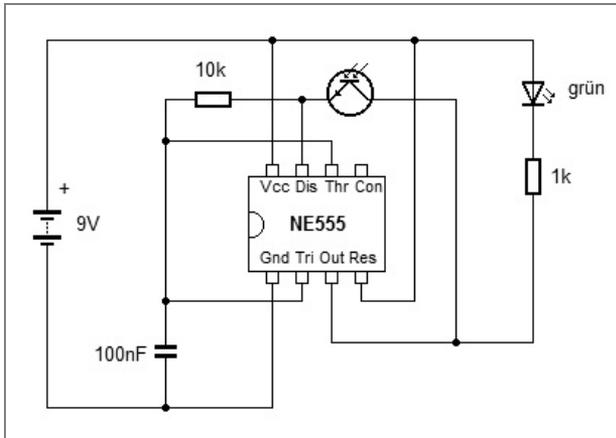


Abb. 9.8: Eine PWM-Steuerung

Die Ladezeit des Kondensators ist vom momentanen Strom durch den Fototransistor abhängig. Die Entladezeit dagegen ist immer gleich. Weniger Helligkeit vergrößert also das Puls-Pausen-Verhältnis und damit die durchschnittliche Helligkeit der LED am Ausgang. Gleichzeitig wird in dieser Schaltung die Frequenz geringer, was aber nicht sichtbar wird, solange sie über ca. 50 Hz liegt. Effektiv steuert die Umgebungshelligkeit die LED-Helligkeit. Je mehr Licht auf den Sensor fällt, desto heller wird auch die LED. Ähnliche Steuerungen werden oft zur angepassten Helligkeitssteuerung von Anzeigen z. B. in Kraftfahrzeugen verwendet.

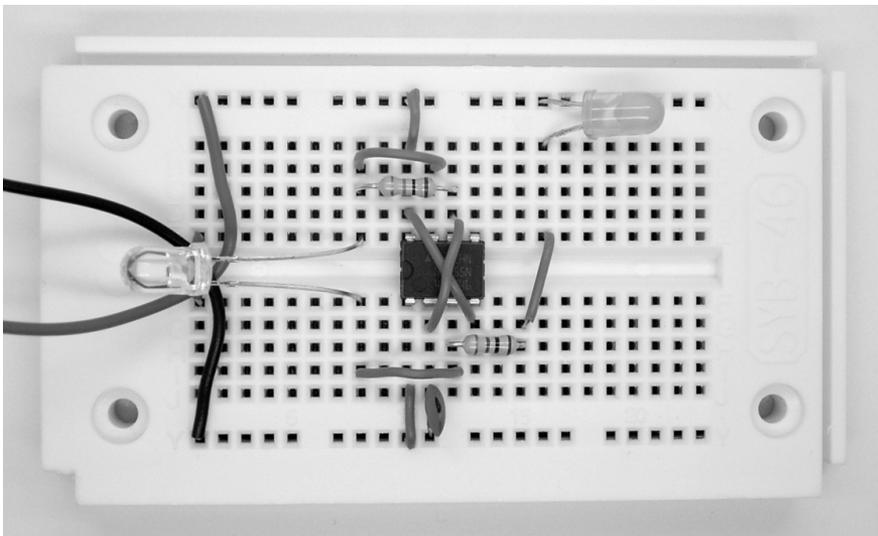


Abb. 9.9: Helligkeitssteuerung für eine LED

9.5 Lügendetektor

Diese Anwendung sollte man als Partyscherz verstehen. Der Hautwiderstand an den Händen einer Testperson ändert sich mit der Feuchtigkeit. Wer lügt, der schwitzt. Dieser Effekt soll akustisch wahrnehmbar werden. Zwei blanke Drähte werden locker um zwei Finger gewickelt und bilden den Sensor. Der Sensorwiderstand liegt im Bereich $10\text{ k}\Omega$ bis $100\text{ k}\Omega$ und ist von Person zu Person verschieden. Die Schaltung nach Abb. 9.10 setzt den veränderlichen Widerstand in eine Tonhöhe um.

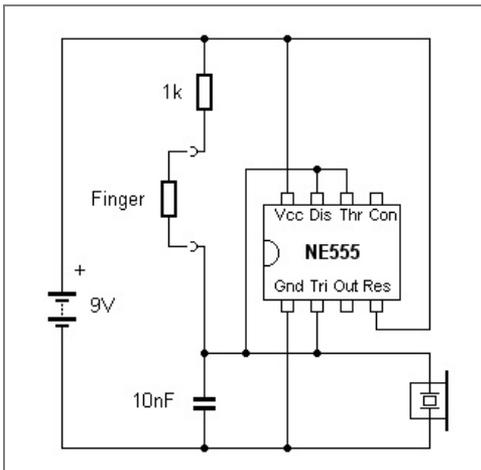


Abb. 9.10: Einstellbarer Tongenerator

Das Ausgangssignal wird hier direkt am Ladekondensator abgenommen. Es ist sägezahnförmig, weil der Entladestrom nicht begrenzt wird. Da der Piezo-Schallwandler selbst ein Kondensator ist, wird er zum Teil der frequenzbestimmenden Schaltung. Die Tonhöhe kann in weiten Grenzen verändert werden, indem man andere Kondensatoren einsetzt. Sie können den Kondensator sogar ganz entfernen, weil der Schallwandler selbst eine Kapazität von ca. 20 nF hat.

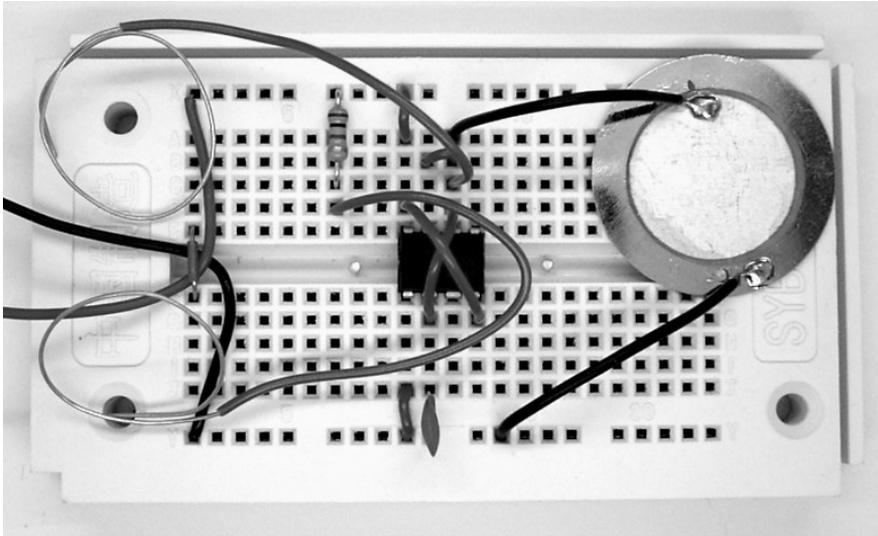


Abb. 9.11: Der Lügendetektor mit Fingerelektroden

10 Spezialanwendungen

Nachdem nun alle wesentlichen Bauteile und Schaltungsprinzipien vorgestellt und erprobt sind, sollen einige speziellere Anwendungen der angewandten Elektronik mit ICs und Einzelhalbleiterbestückung vorgestellt werden. Sicherlich werden Ihnen noch weitere Schaltungen einfallen. Mit dem vorhandenen Material ist jedenfalls wesentlich mehr machbar, als im Rahmen dieses Handbuchs vorgestellt werden kann.

10.1 Gepumpte Ladung

Wenn unterschiedliche oder höhere Spannungen benötigt werden, verwendet man statt mehrerer Batterien oft Spannungswandler. Dabei gibt es viele Schaltungsvarianten mit Transformatoren oder Spulen. Das Schaltungsprinzip der Ladungspumpe verwendet jedoch nur Kondensatoren. In der Schaltung nach Abb. 10.1 wird eine annähernde Verdopplung der Betriebsspannung erreicht. Am Ausgang erhält man über 16 V bei einer Eingangsspannung von 9 V.

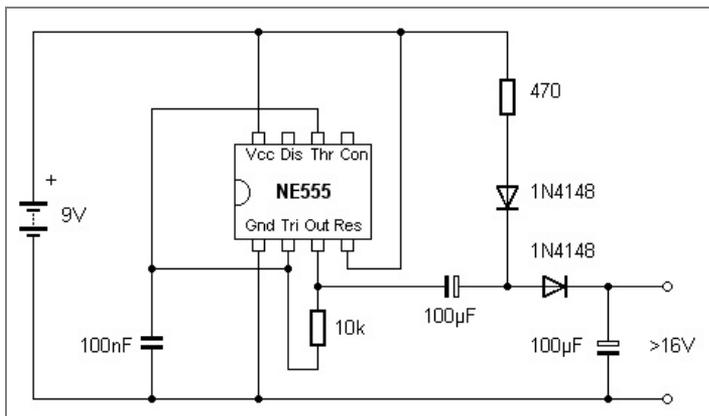


Abb. 10.1: Spannungsverdopplung

Die Schaltung enthält einen einfachen Rechteckgenerator und die eigentliche Ladungspumpe mit zwei Elektrolytkondensatoren und zwei Dioden. Die Kondensatoren laden sich mit jedem Impuls weiter positiv auf und erreichen schließlich einen Endzustand, bei dem die Rechteckspannung praktisch auf die

Betriebsspannung aufaddiert wird. Elektrische Ladung wird stoßweise auf ein höheres Potential »gepumpt«. Der Reihenwiderstand mit $470\ \Omega$ begrenzt den Strom vor allem beim Entladen des Kondensators, sodass ein direkter Kurzschluss der Batterie über die Dioden unmöglich ist. Dieser Schutz wurde eingebaut, damit man den Ladekondensator selbst kurzschließen darf.

Abb. 10.2 zeigt den Aufbau des Versuchs. Am Ausgangskondensator erhält man die erhöhte Spannung. Die gespeicherte Energie eines Kondensators erhöht sich mit dem Quadrat der Spannung. Der $100\text{-}\mu\text{F}$ -Ausgangselko enthält also nun fast die vierfache Energie im Vergleich zu einer Ladung mit nur 9 V. Diese Energie reicht bereits aus, um ein kleines Loch in eine Aluminiumfolie zu brennen. Berühren Sie mit beiden Drahtenden die Folie. Es kommt zu einer schlagartigen Entladung mit einem hohen Stoßstrom. Sie sehen und hören einen kleinen Blitz. Gegen das Licht können Sie danach ein kleines Loch in der Folie erkennen. Als Entladeelektrode eignet sich auch eine Stecknadel.

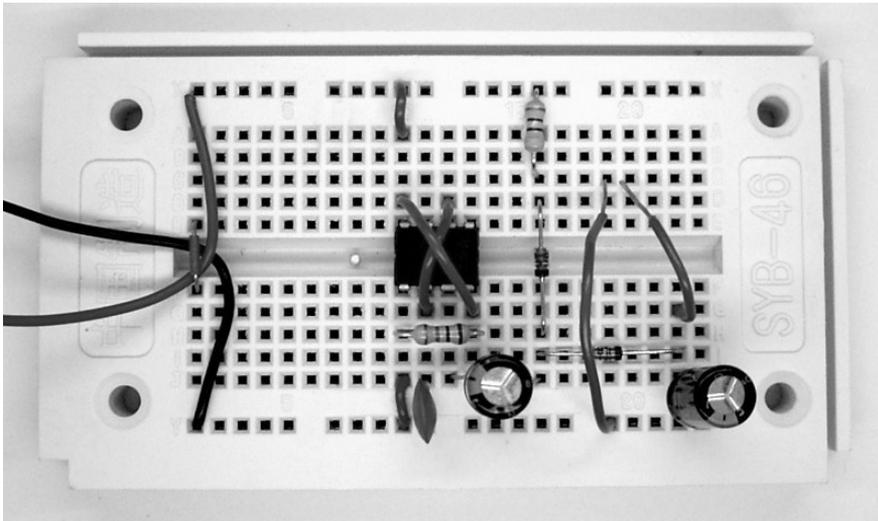


Abb. 10.2: Hohe Spannung am Ladeelko

10.2 Kurzwellenklänge

Bereits in Kap. 5.4 wurde beobachtet, dass ein Transistorverstärker unter bestimmten Bedingungen als Radio arbeiten kann. Die Schaltung nach Abb. 10.3 zeigt auf den ersten Blick einen Verstärker mit einer Transistor-Eingangsstufe und einem OPV-NF-Verstärker. Ungewöhnlich sind nur die Spule und die Antenne am Eingang.

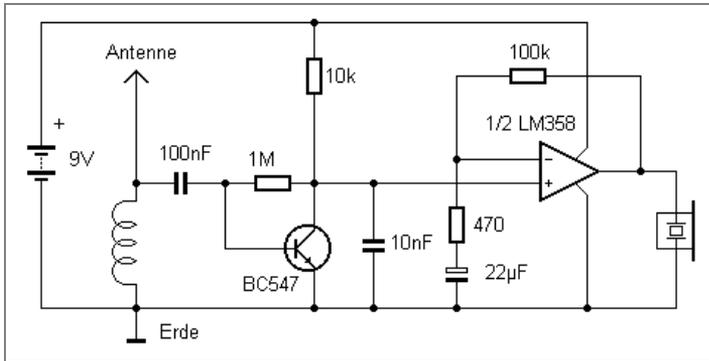


Abb. 10.3: Das unabgestimmte Audion

Die Schaltung verwendet eine Spule mit ca. $2 \mu\text{H}$. Wickeln Sie dazu ca. 10 Windungen auf eine Mignonzelle als Wickeldorn. Es kommt nicht auf die genauen Daten an. Die so entstandene Luftspule bildet für Niederfrequenzsignale praktisch einen Kurzschluss. Bei 6 MHz stellt die Spule jedoch bereits einen induktiven Widerstand von 80Ω dar. Über eine Antenne eingekoppelte Hochfrequenzsignale gelangen über den Koppelkondensator von 100 nF direkt auf die Basis des NPN-Transistors.

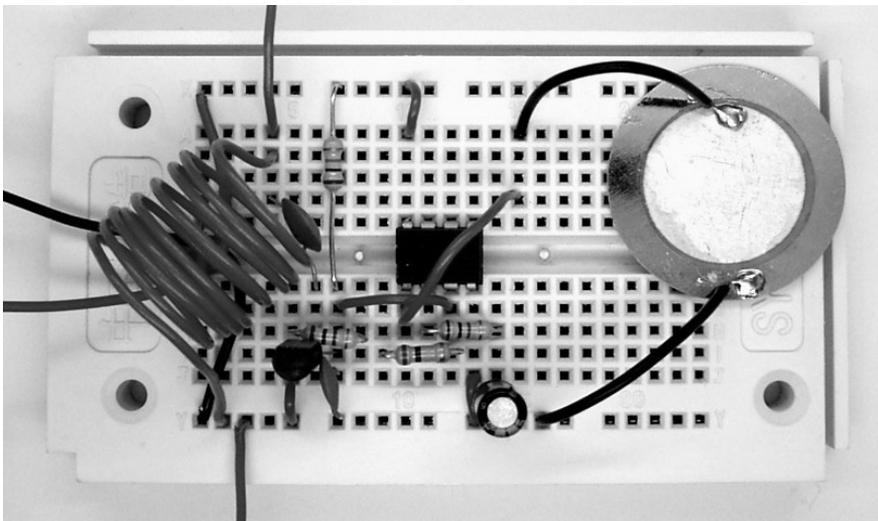


Abb. 10.4: Das Breitband-Kurzwellenradio

Der Transistor arbeitet hier als Audion und leistet sowohl die Demodulation als auch die Vorverstärkung der demodulierten Signale. Am Kollektor steht also bereits ein NF-Signal zur Verfügung. Dieses wird im nachfolgenden OPV noch einmal kräftig verstärkt und auf den Schallwandler gegeben.

Schließen Sie eine Drahtantenne von 0,5 bis 3 Metern an. Erden Sie dann die Masseleitung der Schaltung über eine Wasserleitung oder ähnliche geerdete Leiter. Nun hören Sie laut und deutlich Sprache oder Musik aus dem Lautsprecher. Anders als bei der Schaltung in Kap. 5.4 wird der Genuss nicht durch Brummsignale gestört. Manchmal ist nur ein Sender zu hören, meist aber mehrere gleichzeitig. Typisch für den Kurzwellenbereich ist die schwankende Lautstärke einzelner Stationen (Fading). Das führt dazu, dass immer wieder andere Sender hervortreten.

Experimentieren Sie mit unterschiedlichen Antennen. Bei guter Erdung reicht oft Ihr Körper als Antenne aus, d. h. Sie brauchen den Antenneneingang nur zu berühren. Falls Sie eine lange Drahtantenne von z. B. 10 Metern aufhängen können, kann auf die Erdung verzichtet werden. Berühren Sie stattdessen die Außenummantelung der Batterie. Durch mehr oder weniger festen Druck mit dem Finger verändern Sie den Kopplungsgrad und können die Lautstärke beeinflussen.

Dieses einfache Radio ist nicht selektiv, sondern empfängt den gesamten Kurzwellenbereich ab etwa 6 MHz und auch höhere Frequenzen. Sie können z. B. auch die Sendesignale von Handys oder schnurloser DECT-Telefone hören.

10.3 Meeresrauschen

Die Basis-Emitter-Diode eines Si-Kleinsignaltransistors stellt immer zugleich auch eine Zenerdiode dar. Ab einer Spannung von ca. 8 bis 9 V zeigt die Sperrkennlinie einen steilen Stromanstieg. Dieser Effekt wird oft zur Spannungsstabilisierung eingesetzt. Wie jede Zenerdiode zeigt aber auch der Transistor ein relativ starkes Rauschen. Dieses wird hier maximal verstärkt und hörbar gemacht.

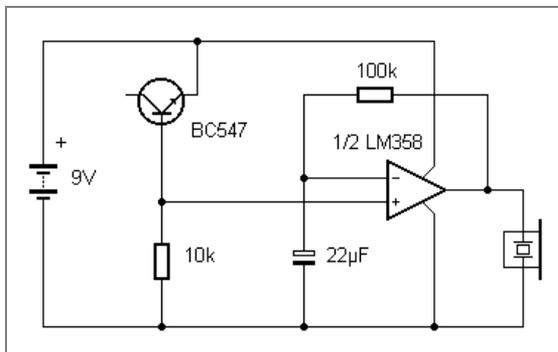


Abb. 10.5: Der Rauschgenerator

Die Gegenkopplung des OPV ist in dieser Schaltung für höhere Frequenzen aufgehoben, um eine maximale Verstärkung zu bekommen. Der OPV arbeitet praktisch mit Leerlaufverstärkung, was im Interesse geringer Verzerrungen und eines ausgeglichenen Frequenzgangs normalerweise vermieden wird. Bei einem Rauschgenerator kommt es darauf aber nicht an. Bauen Sie die Schaltung mit der Transistor-Ersatz-Zenerdiode auf und testen Sie die Funktion mit einer neuen Batterie mit vollen 9 V. Sie hören ein deutliches Rauschen, wesentlich lauter als das berühmte Meeresrauschen einer großen Muschel.

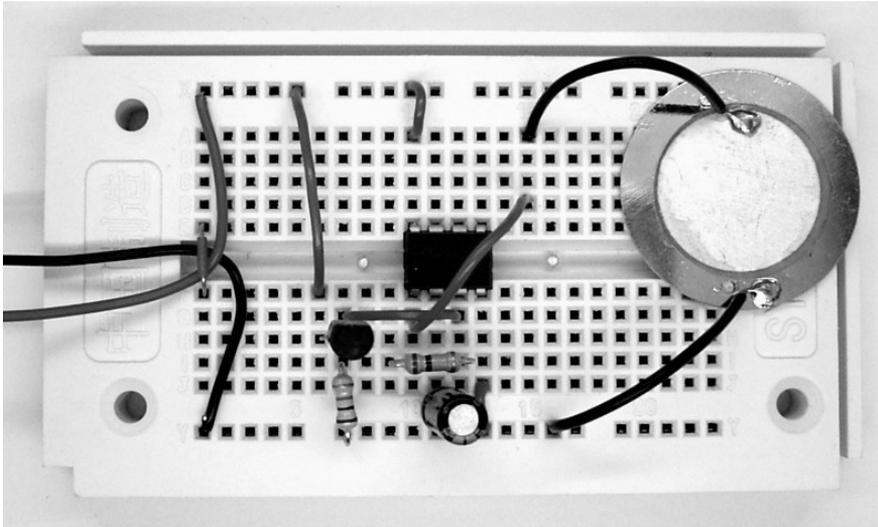


Abb. 10.6: Elektronisches Meeresrauschen

10.4 Weicher Blinker

Ein LED-Blinker mit weich an- und abschwelliger Helligkeit kann bei geeigneter Frequenz zur mentalen Entspannung des Betrachters beitragen. Der optimale Helligkeitsverlauf folgt einer Sinusschwingung. Sinusoszillatoren lassen sich mit Phasenschieber-Netzwerken realisieren. Eine einzelne Verstärkerstufe dreht die Phase um 180 Grad. Drei RC-Glieder sorgen dann mit jeweils 60 Grad für die korrekte Gesamtphase. Dazu benötigt man im Normalfall drei gleiche Widerstände und drei gleiche Kondensatoren. Es geht jedoch auch mit den vorhandenen Bauteilen des Lernpakets. Abb. 10.7 zeigt eine mögliche Lösung.

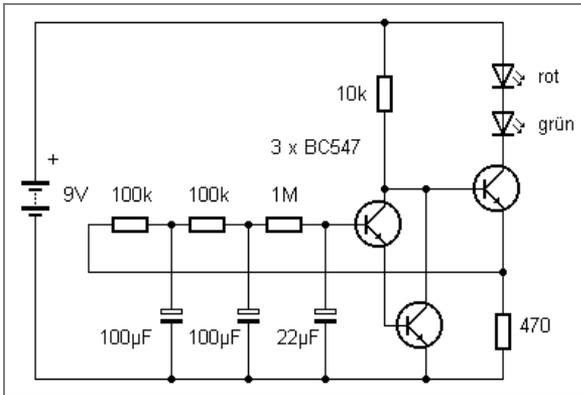


Abb. 10.7: Ein Phasenschieber-Oszillator

Die beiden linken Transistoren werden in einer Darlington-Schaltung als Emitterstufe verwendet und drehen die Phase um 180 Grad. Die Ausgangsstufe arbeitet als Emitterfolger, wobei die LED in der Kollektorleitung zunächst nicht beachtet werden muss. Für die mittlere Gleichspannung besitzt die Gesamtschaltung eine starke Gegenkopplung. Die Spannung am Emitterwiderstand der Ausgangsstufe stellt sich auch etwa 1,2 V ein. Damit fließt ein konstanter Strom von etwa 2,5 mA. Diese Konstantstromquelle treibt zugleich die LED. Die drei auf den Signalweg verteilten RC-Glieder sorgen nun für die nötige Phasenverschiebung mit einer positiven Rückkopplung bei einer Frequenz von ca. 0,5 Hz.

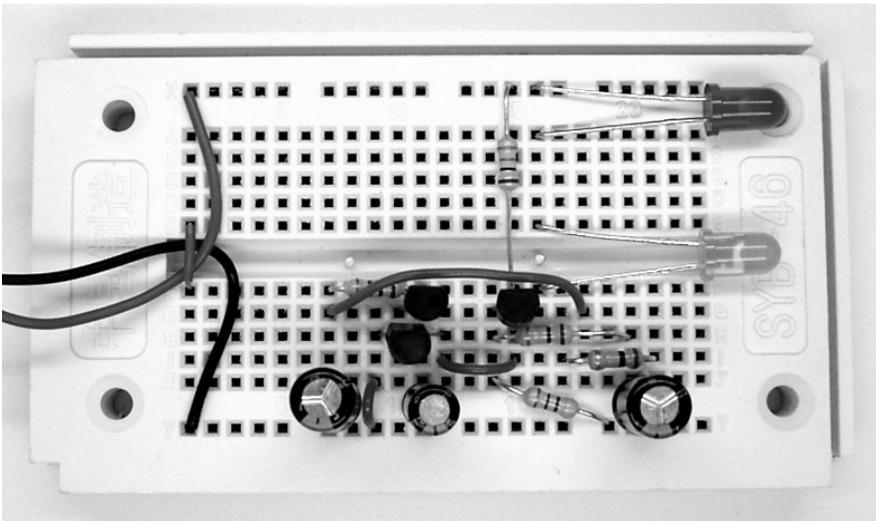


Abb. 10.8: Der Soft-Blinker

Die LED zeigt ein langsames, weich auf- und abschwelliges Leuchten. Da die Ausgangsstufe als Stromquelle arbeitet, können Sie die zweite LED ohne Änderung der Stromstärke in Reihe zur ersten anschließen. Wenn Sie zusätzlich noch die Gesamthelligkeit vergrößern wollen, verkleinern Sie den Emitterwiderstand der Ausgangsstufe durch Parallelschalten des zweiten 470- Ω -Widerstands.

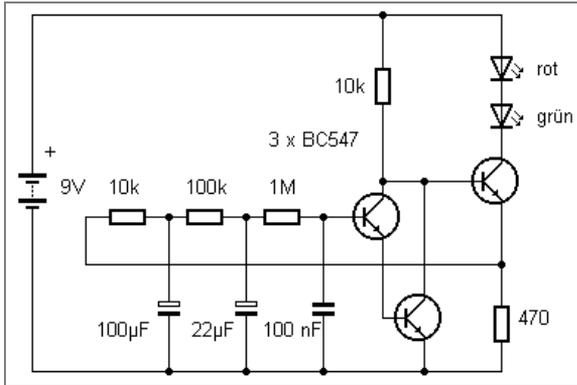


Abb. 10.9: Veränderte Dimensionierung für 1 Hertz

Experimentieren Sie auch mit anderen Kondensatoren und Widerständen. Abb. 10.9 zeigt eine Variante mit schnelleren Schwingungen von ca. 1 Hz.

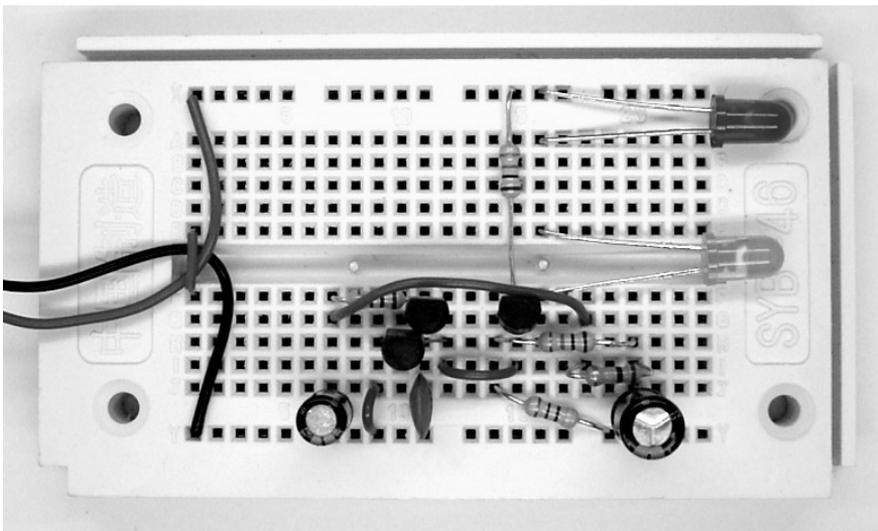


Abb. 10.10: Aufbau mit höherer Frequenz

A Anhang

Material im Lernpaket

- 1 Laborsteckbrett mit 270 Kontakten
- 1 m Schaltdraht
- 1 9-V-Batterieclip
- 1 Piezo-Schallwandler
- 1 Tastschalter
- 1 LED rot
- 1 LED grün
- 3 NPN-Transistoren BC547
- 1 PNP-Transistor BC557
- 2 Si-Dioden 1N4148
- 1 Doppel-OPV LM358N DIP
- 1 Timer NE555 DIP
- 1 Fototransistor
- 2 Widerstände $470\ \Omega$
- 2 Widerstände $1\ \text{k}\Omega$
- 2 Widerstände $10\ \text{k}\Omega$
- 2 Widerstände $100\ \text{k}\Omega$
- 2 Widerstände $1\ \text{M}\Omega$
- 2 Elkos $100\ \mu\text{F}$
- 1 Elko $22\ \mu\text{F}$
- 1 keramischer Kondensator $100\ \text{nF}$
- 1 keramischer Kondensator $10\ \text{nF}$

Lieferfirmen für elektronische Bauteile:

www.conrad.de

www.reichelt.de