

CE

**CONRAD**

## Impressum

© 2010 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing  
www.franzis.de

Autor: Burkhard Kainka  
Art & Design, Satz: www.ideehoch2.de

ISBN 978-3-7723-1003-1

Produziert im Auftrag der Firma Conrad Electronic SE, Klaus-Conrad-Str. 1, 92240 Hirschau

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 Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche beachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

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 übernehmen für fehlerhafte Angaben und deren Folgen keine Haftung.



Elektrische und elektronische Geräte dürfen nicht über den Hausmüll entsorgt werden! Entsorgen Sie das Produkt am Ende seiner Lebensdauer gemäß den geltenden gesetzlichen Vorschriften. Zur Rückgabe sind Sammelstellen eingerichtet worden, an denen Sie Elektrogeräte kostenlos abgeben können. Ihre Kommune informiert Sie, wo sich solche Sammelstellen befinden.



Dieses Produkt ist konform zu den einschlägigen CE-Richtlinien, soweit Sie es gemäß der beiliegenden Anleitung verwenden. Die Beschreibung gehört zum Produkt und muss mitgegeben werden, wenn Sie es weitergeben.

# **Lernpaket Elektronik** verstehen und anwenden

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	4
	1.1 Steckfeld	5
	1.2 Batterie	6
	1.3 Leuchtdioden	7
	1.4 Widerstände	8
	1.5 NPN-Transistoren	9
	1.6 PNP-Transistoren	10
	1.7 MOSFET	10
	1.8 Kondensatoren	11
	1.9 Elektrolytkondensatoren	12
<b>2</b>	<b>Stromverstärkung</b>	12
<b>3</b>	<b>Plus und minus getauscht</b>	14
<b>4</b>	<b>Nachlaufsteuerung</b>	15
<b>5</b>	<b>Berührungssensor</b>	16
<b>6</b>	<b>Bewegungsdetektor</b>	17
<b>7</b>	<b>LED als Lichtsensor</b>	18
<b>8</b>	<b>Konstante Helligkeit</b>	19
<b>9</b>	<b>Temperatursensor</b>	21
<b>10</b>	<b>An und aus</b>	22
<b>11</b>	<b>Zünden und Löschen</b>	23
<b>12</b>	<b>Gegentaktblinker</b>	24
<b>13</b>	<b>Einfacher LED-Blinker</b>	25
<b>14</b>	<b>LED-Blitzlicht</b>	26
<b>15</b>	<b>MOSFET-Touch-Sensor</b>	27
<b>16</b>	<b>Sensor-Dimmer</b>	29
<b>17</b>	<b>Elektrometer</b>	30
<b>18</b>	<b>LEDs als Fotoelemente</b>	31
<b>19</b>	<b>Kondensator-Temperatursensor</b>	32
<b>20</b>	<b>Minutenlicht</b>	33
<b>21</b>	<b>Weicher Blinker</b>	34

## 1. Einführung

Seit der Transistor erfunden wurde, ging es mit der Elektronik steil bergauf. Heute sind wir von Geräten umgeben, deren integrierte Schaltungen viele Millionen Transistoren enthalten. Gleichzeitig wissen aber immer weniger Menschen noch genau, wie ein (einzelner!) Transistor tatsächlich funktioniert. Der Abstand zwischen Gebrauch und Verstehen der Elektronik nimmt ständig zu. Dabei ist es ganz einfach: Man nehme ein paar Transistoren und führe einige wenige einfache Experimente durch – schon eröffnen sich unendlich viele Möglichkeiten. Viele Aufgaben lassen sich mit einfachen Transistorschaltungen lösen. Werden Sie also kreativ!

Ein Transistor ist ein Bauteil mit drei Anschlüssen und dient zur Steuerung des elektrischen Stroms. Wie viel Strom fließt, wird über einen Steueranschluss beeinflusst. Es gibt im Wesentlichen nur zwei Arten von Transistoren. Die bipolaren Transistoren sind aus Schichten mit N- und P-Halbleitermaterial aufgebaut. Je nach Schichtenfolge gibt es NPN-Transistoren (z. B. BC547) und PNP-Transistoren (z. B. BC557). Unipolare Transistoren dagegen bestehen aus nur einem Halbleiterkanal, dessen Leitfähigkeit durch ein elektrisches Feld verändert wird. Man nennt sie daher auch Feldeffekt-Transistoren (FET). Ein typischer Vertreter ist N-Kanal-MOSFET BS170.

Dieses Lernpaket erleichtert Ihnen den Start in die Elektronik. Es werden zunächst die Bauteile vorgestellt. Die einzelnen Versuche werden auf einer Steckplatine durchgeführt. Zu jedem Versuch gibt es ein Schaltbild und ein Aufbaufoto. Das Foto ist jeweils nur als Vorschlag zu verstehen. Sie können die Bauteile auch anders anordnen. Die Anschlussdrähte der einzelnen Bauteile wurden wegen der besseren Übersicht für die Fotos teilweise gekürzt. Sie sollten die Anschlussdrähte aber ungekürzt verwenden, damit sie auch noch für weitere Versuche einsetzbar bleiben.

## 1.1 Steckfeld

Alle Versuche werden auf einer Labor-Experimentierplatine aufgebaut. Das Steckfeld mit insgesamt 270 Kontakten im 2,54-mm-Raster sorgt für sichere Verbindungen der Bauteile.

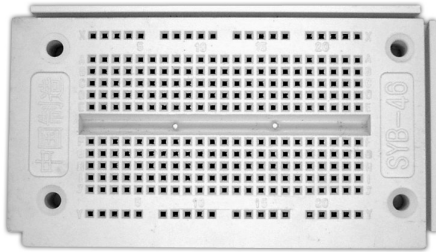


Abb. 1: Das Experimentierfeld

Das Steckfeld hat im mittleren Bereich 230 Kontakte, die jeweils durch vertikale Streifen mit fünf 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. 2 zeigt alle internen Verbindungen. Man erkennt die kurzen Kontaktreihen im Mittelfeld und die langen Versorgungsschienen am Rand.

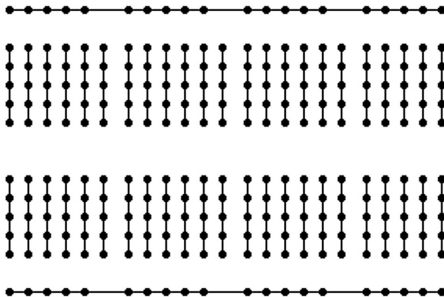


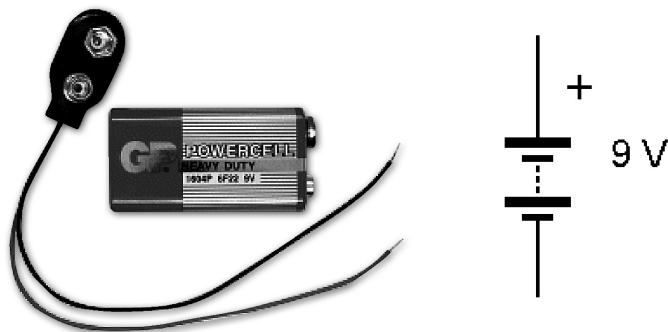
Abb. 2: Die internen Kontaktreihen

Das Einsetzen von Bauteilen benötigt relativ viel Kraft. Die Anschlussdrähte knicken 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 gefasst und senkrecht nach unten gedrückt. So lassen sich auch empfindliche Anschlussdrähte wie die verzinnenden Enden des Batterieclips 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.

## 1.2 Batterie

Die folgende Übersicht zeigt Ihnen die Bauteile in ihrem realen Aussehen sowie als Schaltsymbole, wie sie in den Schaltplänen verwendet werden. Statt einer Batterie könnte z. B. auch ein Steckernetzteil verwendet werden.



**Abb. 3:** Die Batterie, real und als Schaltsymbol.

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

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

Eine einzelne Zink-Kohle- oder Alkalizelle hat eine elektrische Spannung von 1,5 V. In einer Batterie sind mehrere Zellen in Reihe geschaltet. Entsprechend zeigen die Schaltsymbole die Anzahl der Zellen in einer Batterie. Bei höheren Spannungen ist es üblich, die mittleren Zellen durch eine gestrichelte Linie anzudeuten.

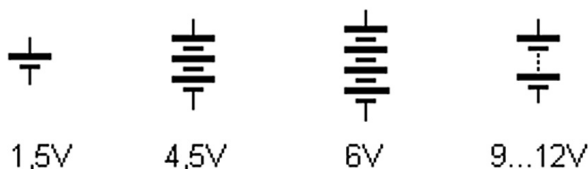


Abb. 4: Schaltsymbole für unterschiedliche Batterien

### 1.3 Leuchtdioden

Das Lernpaket enthält zwei rote LEDs sowie eine grüne und eine gelbe LED. Bei allen Leuchtdioden muss grundsätzlich die Polung beachtet werden. Der Minusanschluss heißt Kathode und liegt am kürzeren Anschlussdraht. Der Plusanschluss 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.



Abb. 5: Die Leuchtdiode

## 1.4 Widerstände

Die Widerstände im Lernpaket sind Kohleschichtwiderstände mit Toleranzen von  $\pm 5\%$ . Das Widerstandsmaterial 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. 6: Ein Widerstand

Widerstände mit einer Toleranz von  $\pm 5\%$  gibt es in den Werten der E24-Reihe, wobei jede Dekade 24 Werte mit etwa gleichmäßigem Abstand zum Nachbarwert enthält.

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

Tabelle 1: Widerstandswerte nach der Normreihe E24

Der Farbcode wird ausgehend von dem Ring gelesen, der näher am Rand des Widerstands liegt. Die ersten beiden Ringe stehen für zwei Ziffern, der dritte für einen Multiplikator des Widerstandswerts in Ohm. Ein vierter Ring gibt die Toleranz an.



Farbe	Ring 1 1. Ziffer	Ring 2 2. Ziffer	Ring 3 Multiplikator	Ring 4 Toleranz
Schwarz		0	1	
Braun	1	1	10	1 %
Rot	2	2	100	2 %
Orange	3	3	1.000	
Gelb	4	4	10.000	
Grün	5	5	100.000	0,5 %
Blau	6	6	1.000.000	
Violett	7	7	10.000.000	
Grau	8	8		
Weiß	9	9		
Gold			0,1	5 %
Silber			0,01	10 %

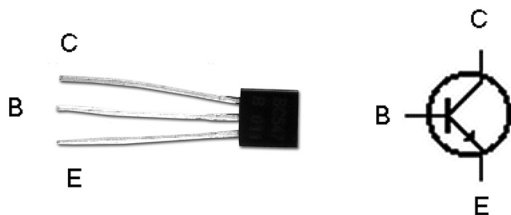
**Tabelle 2:** Der Widerstands-Farbcode

Ein Widerstand mit den Farbringen Gelb, Violett, Braun und Gold hat den Wert  $470 \Omega$  bei einer Toleranz von 5 %. Im Lernpaket befinden sich jeweils zwei Widerstände der folgenden Werte:

470 $\Omega$	Gelb, Violett, Braun
1 k $\Omega$	Braun, Schwarz, Rot
22 k $\Omega$	Rot, Rot, Orange
470 k $\Omega$	Gelb, Violett, Gelb

### 1.5 NPN-Transistoren

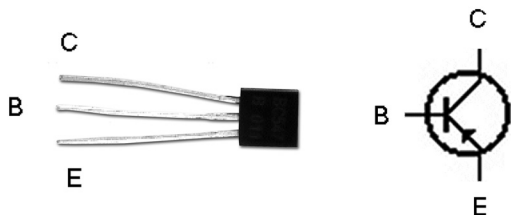
Transistoren sind Bauelemente zur Verstärkung kleiner Ströme. Das Lernpaket enthält zwei Silizium-NPN-Transistoren BC547B. Die Anschlüsse des Transistors heißen Emitter (E), Basis (B) und Kollektor (C). Der Basisanschluss liegt in der Mitte. Der Emitter liegt, wenn Sie auf die Beschriftung sehen und die Anschlüsse nach unten zeigen, rechts.



**Abb. 7:** Der NPN-Transistor BC547

### 1.6 PNP-Transistoren

Der PNP-Transistor BC557B besitzt die gleiche Anschlussfolge und unterscheidet sich nur in der Polung von einem NPN-Transistor. Im Schaltsymbol zeigt der Emitterpfeil nach innen.



**Abb. 8:** Der PNP-Transistor BC557

### 1.7 MOSFET

Auch der Feldeffekttransistor (MOSFET) BS170 sieht äußerlich nicht anders aus als ein bipolarer Transistor. Man kann ihn nur am Aufdruck erkennen. Die Anschlüsse des Transistors heißen Source (S), Gate (G) und Drain (D). Der Source-Anschluss liegt, wenn Sie auf die Beschriftung sehen und die Anschlüsse nach unten zeigen, rechts.

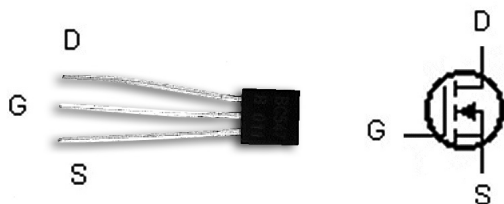


Abb. 9: Der MOSFET-Transistor BS170

### 1.8 Kondensatoren

Ein wichtiges Bauteil der Elektronik ist der Kondensator. Er 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.

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 einen keramischen Scheibenkondensator mit 10 nF (Beschriftung 103, 10.000 pF) und zwei mit 100 nF (Beschriftung 104, 100.000 pF).



Abb. 10: Ein keramischer Kondensator

## 1.9 Elektrolytkondensatoren

Große Kapazitäten erreicht man mit Elektrolytkondensatoren (Elkos). Die Isolierung besteht 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, der die Isolationsschicht allmählich abbaut, was zur Zerstörung des Bauteils führt. Der Minuspol ist durch einen weißen Streifen gekennzeichnet und hat einen kürzeren Anschlussdraht. Das Lernpaket enthält einen Elko mit  $10\mu\text{F}$  und zwei Elkos mit  $100\mu\text{F}$ .



Abb. 11: Ein Elektrolytkondensator

## 2. Stromverstärkung

Die Schaltung nach Abb. 12 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 Basisstrom ist sehr viel kleiner als der Kollektorstrom. Der kleine Basisstrom wird also zu einem größeren Kollektorstrom verstärkt. Der Basiswiderstand ist 470-fach größer als der Vorwiderstand im Laststromkreis. Der kleine Basisstrom ist an der geringen Helligkeit der grünen LED erkennbar. Der Transistor BC547B verstärkt den Basisstrom etwa 300-fach, sodass die rote LED wesentlich heller als die grüne LED ist.

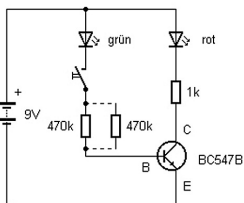
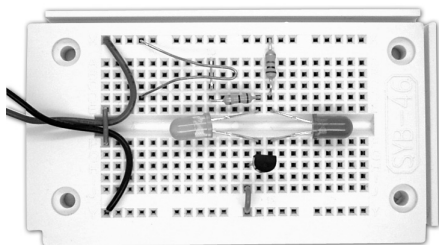


Abb. 12: Ein NPN-Transistor in Emitterschaltung

Schalten Sie einen zweiten Widerstand von  $470\text{ k}\Omega$  parallel zum vorhandenen Basiswiderstand. Damit steigt der Basisstrom, und auch der Kollektorstrom wird größer. Der Transistor ist nun voll durchgeschaltet, d. h., auch ein noch größerer Basisstrom kann den Kollektorstrom nicht mehr steigern. Wenn Sie einen  $22\text{-k}\Omega$ -Widerstand parallel schalten, wird die rote LED nicht mehr heller. Der Transistor arbeitet nun wie ein Schalter. Zwischen Kollektor und Emitter liegt nur noch ein sehr kleiner Spannungsabfall von etwa  $0,1\text{ V}$ . Der Kollektorstrom ist bereits durch den Verbraucher begrenzt und kann nicht weiter steigen. Zwischen Basis und Emitter findet man eine Spannung von etwa  $0,6\text{ V}$ , die sich bei einer Stromänderung nur geringfügig ändert.



**Abb. 13:** Stromverstärkung

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.

### 3. Plus und minus getauscht

Ein PNP-Transistor hat exakt die gleiche Funktion wie ein NPN-Transistor, aber mit umgekehrter Polarität. Der Emitter liegt daher nun am Pluspol der Batterie.

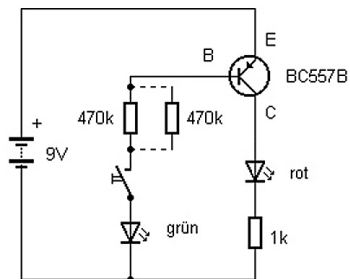


Abb. 14: Ein PNP-Transistor in Emitterschaltung

Bauen Sie die Schaltung mit dem PNP-Transistor BC557 auf und untersuchen Sie auch hier wieder die Stromverstärkung mit unterschiedlichen Basiswiderständen. Der BC557B hat ebenfalls eine etwa 300-fache Stromverstärkung.

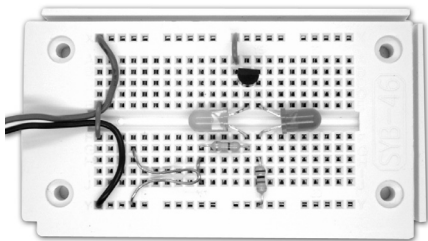


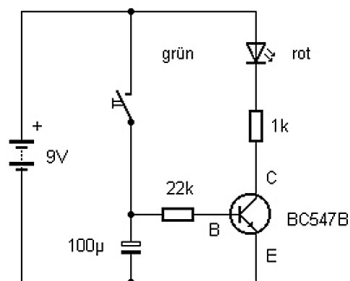
Abb. 15: Untersuchung der Stromverstärkung des BC557

### 4. Nachlaufsteuerung

Ziel dieser Schaltung ist eine LED-Taschenlampe mit automatischem Nachleuchten. Die Innenbeleuchtung von Autos funktioniert oft nach diesem Prinzip: Wenn Sie den Wagen verlassen haben, leuchtet die Lampe noch eine gewisse Zeit lang und erlischt dann langsam.

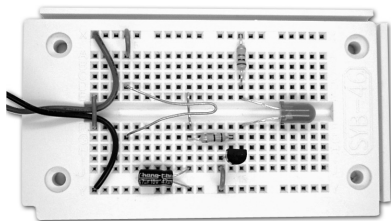
Wenn Sie einen Elko mit korrekter Polung an die Batterie halten, nimmt er eine elektrische Ladung auf. Nach der Trennung von der Batterie bleibt diese Ladung lange erhalten. Der Elko kann dann mit einer LED verbunden werden. Es entsteht ein kurzer Lichtblitz. Der Elko entlädt sich in einem kurzen Augenblick.

Die Stromverstärkung eines Transistors kann verwendet werden, um die Entladezeit eines Kondensators zu verlängern. Die Schaltung nach Abb. 16 verwendet einen Elko mit  $100\ \mu\text{F}$  als Ladekondensator. Nach einem kurzen Druck auf den Tastschalter ist er aufgeladen und liefert nun für längere Zeit den Basisstrom der Emitterschaltung.



**Abb. 16:** Verzögerte Ausschaltung

Die Entladezeit wird durch den großen Basiswiderstand erheblich verlängert. Nach etwa zwei Sekunden ist der Elko bereits weitgehend entladen. Nach dieser Zeit reicht der Basisstrom aber immer noch für eine geringere Aussteuerung des Transistors. Der Kollektorstrom nimmt nur allmählich ab.



**Abb. 17:** Die Nachleucht-Taschenlampe

Solange Sie den Taster gedrückt halten, leuchtet die LED mit voller Helligkeit. Es genügt aber schon ein kurzer Tastendruck zum Einschalten der LED. Danach bleibt sie etwa zwei Sekunden lang voll eingeschaltet und leuchtet danach immer schwächer. Nach etwa einer Minute ist immer noch ein schwaches Glimmen zu erkennen. Tatsächlich erlischt die LED auch nach langer Zeit nicht ganz. Der Strom sinkt aber auf so kleine Werte, dass er keine sichtbare Wirkung mehr hat.

## 5. Berührungssensor

Eine Lampe kann man mit einem einfachen Schalter schalten. Mit einer geeigneten Transistorschaltung lässt sich jedoch auch ein Berührungssensor aufbauen. Zwei Drähte oder Metallkontakte berühren sich dabei nicht direkt, sondern müssen nur mit dem Finger berührt werden.

Die Stromverstärkungsfaktoren zweier Transistoren lassen sich multiplizieren, wenn man den verstärkten Strom des ersten Transistors als Basisstrom des zweiten Transistors noch einmal verstärkt. Die Schaltung nach Abb. 18 nennt man auch Darlington-Schaltung.

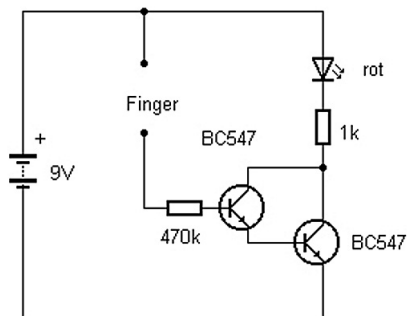


Abb. 18: Die Darlington-Schaltung

Wenn man von einem Verstärkungsfaktor von 300 für jeden der Transistoren ausgeht, hat die Darlington-Schaltung eine Verstärkung von 90.000. Nun leitet bereits ein Basiswiderstand von  $10\text{ M}\Omega$  genügend, um die LED einzuschalten. Im realen Versuch kann man statt des extrem hochohmigen Widerstands einen Berührungskontakt verwenden. Wegen der großen Verstärkung reicht bereits eine



leichte Berührung mit trockenem Finger. Der zusätzliche Schutzwiderstand in der Zuleitung zur Batterie schützt die Transistoren für den Fall, dass die Berührungskontakte versehentlich direkt verbunden werden.

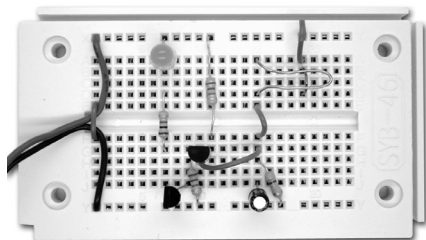


Abb. 19: Der Berührungssensor

## 6. Bewegungsdetektor

Diese Schaltung besitzt einen Sensordraht am Eingang des ersten Transistors. Wenn sich jemand in der Nähe des Drahts bewegt, leuchtet die LED auf. Durch Bewegung auf einem isolierenden Untergrund lädt sich jeder Mensch unbemerkt elektrisch auf. Wenn man sich dann in der Nähe leitender Gegenstände bewegt, führen die elektrostatischen Kräfte zu einer Verschiebung elektrischer Ladungen, also zu einem kleinen Strom, der hier hoch verstärkt wird. Die Darlington-Schaltung steuert einen PNP-Transistor an, sodass die Stromverstärkung noch einmal 300-mal größer wird. Nun reichen bereits wenige Picoampere, um die rote LED sichtbar leuchten zu lassen.

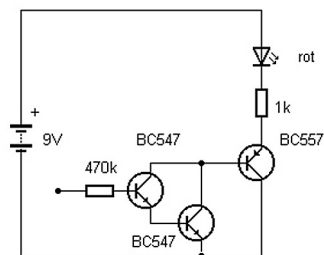
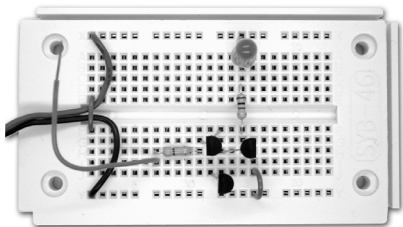


Abb. 20: Verstärkung mit drei Transistoren



**Abb. 21:** Sensorverstärker für elektrische Felder

Für den ersten Test der Schaltung eignet sich ein kurzer Sensordraht von 10 cm Länge. Nach etwas Bewegung auf isolierendem Boden haben Sie im Normalfall genügend elektrische Ladung gesammelt. Bewegen Sie dann Ihre Hand in der Nähe des Sensordrahts. Die Helligkeit der LED ändert sich.

Um die Empfindlichkeit der Schaltung zu steigern, kann ein längerer Sensordraht angeschlossen werden. Es kann ein blanker Draht oder ein isoliertes Kabel sein. Noch wirksamer wird der Sensor, wenn man zusätzlich den Minusanschluss der Batterie erdet. Dazu reicht es, wenn eine zweite Person die Schaltung berührt. Nun wird es bereits erkannt, wenn jemand in einem Abstand von einem halben Meter am Sensor vorbeigeht. Das Blinken der LED zeigt die einzelnen Schritte. Bei einer direkten Berührung des blanken Drahtendes sieht man ein Dauerleuchten. Dies ist auf die unvermeidlichen 50-Hz-Wechselfelder im Raum zurückzuführen. Tatsächlich leuchtet die LED nicht konstant, sondern blinkt mit einer Frequenz von 50 Hz.

## **7. LED als Lichtsensor**

Dieser Lichtsensor steuert die Helligkeit einer LED. Wenn Licht auf den Sensor fällt, geht sie an, bei Dunkelheit bleibt sie aus. Eigentlich fließt durch eine Diode praktisch 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 der roten LED wird mit zwei Transistoren so weit verstärkt, dass die grüne LED leuchtet.

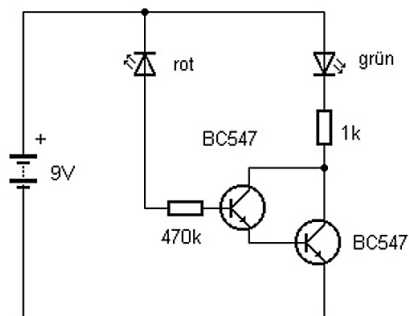


Abb. 22: Verstärkung des LED-Sperrstroms

Im praktischen Versuch ist die rechte LED bei normalem Umgebungslicht bereits deutlich eingeschaltet. Eine Abschattung der Sensor-LED mit der Hand wird an der Helligkeit der Anzeige-LED sichtbar.

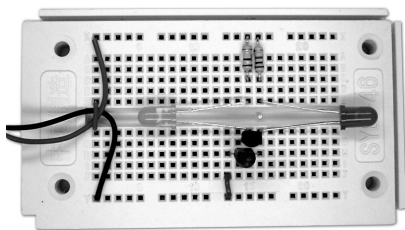


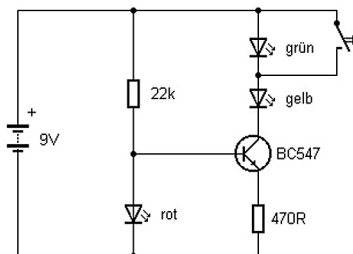
Abb. 23: Der LED-Lichtsensor

## 8. Konstante Helligkeit

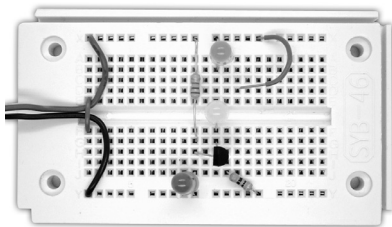
Manchmal benötigt man einen konstanten Strom, der möglichst unabhängig von Spannungsschwankungen ist. Eine LED würde also mit gleicher Helligkeit leuchten, auch wenn die Batterie bereits eine kleinere Spannung hat. Die Schaltung nach Abb. 24 zeigt eine einfache Stabilisierungsschaltung. Eine rote LED am

Eingang stabilisiert die Basisspannung auf etwa 1,8 V. Da die Basis-Emitterspannung immer rund 0,6 V beträgt, liegt am Emittorwiderstand eine Spannung von etwa 1,2 V. Der Widerstand bestimmt also den Emittorstrom und damit auch den Kollektorstrom von ca. 2,5 mA.

Die LEDs im Kollektorkreis brauchen keinen Vorwiderstand, weil der LED-Strom durch den Transistor geregelt wird. Die Konstantstromquelle funktioniert auch mit unterschiedlichen Lasten. Egal, ob Sie beide LEDs im Kollektorkreis verwenden oder eine von beiden kurzschließen - der Kollektorstrom bleibt gleich.



**Abb. 24:** Eine stabilisierte Stromquelle



**Abb. 25:** 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. Mit nur einer LED darf die Batteriespannung tiefer liegen als mit zwei LEDs, wo mindestens noch etwa 6 V vorhanden sein müssen.

## 9. Temperatursensor

Diese Schaltung zeigt Temperaturunterschiede über die LED-Helligkeit. Es reicht bereits, den Temperatursensor mit dem Finger zu berühren. Die Schaltung nach Abb. 26 zeigt einen sogenannten Stromspiegel. Der Strom durch den 1-k $\Omega$ -Widerstand spiegelt sich in den beiden Transistoren und erscheint in fast gleicher Größe wieder als Kollektorstrom des rechten Transistors. Da beim linken Transistor Basis und Emitter zusammengeschaltet sind, stellt sich automatisch eine Basis-Emitterspannung von ca. 0,6 V ein, die zum vorgegebenen Kollektorstrom führt. Theoretisch sollte nun der zweite Transistor mit genau den gleichen Daten und bei der gleichen Basis-Emitterspannung den gleichen Kollektorstrom zeigen. In der Praxis ergeben sich jedoch meist geringe Unterschiede. Der Stromspiegel ist zugleich eine Konstantstromquelle. Die Helligkeit der gelben LED ändert sich daher nicht, wenn Sie die grüne LED überbrücken.

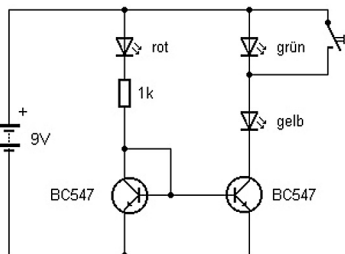


Abb. 26: Der Stromspiegel

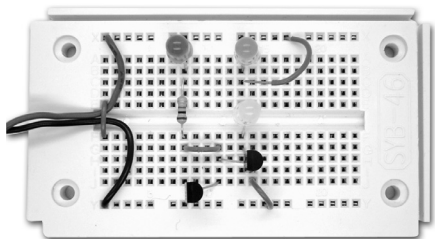


Abb. 27: Transistor als Temperatursensor

Die Schaltung eignet sich als empfindlicher 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 der rechten LEDs etwas verstärken oder verringern. Mit dem Finger kann je nach Umgebungstemperatur eine Erwärmung bis zu 10 °C erzeugt werden, die bereits gut sichtbar wird. Noch deutlicher wird der Helligkeitsunterschied, wenn Sie einen der Transistoren vorsichtig mit einem Lötkolben erwärmen.

## 10. An und aus

Jetzt wird es digital: Während in einer analogen Schaltung mehr oder weniger Strom fließt, ist eine digitale Schaltung jeweils ganz an oder ganz aus. Die Zustände An und Aus werden auch als Eins und Null bezeichnet. Die hier vorgestellte Schaltung kann als ein Grundbaustein der Computertechnik betrachtet werden.

Eine Schaltung mit zwei stabilen Zuständen nennt man Kippschaltung oder auch Flipflop. Eine LED ist entweder an oder aus, aber niemals „halb an“. Abb. 28 zeigt die typische Schaltung eines einfachen Flipflops. Im Prinzip besteht die Schaltung aus zwei gekoppelten Verstärkerstufen mit geschlossener Rückkopplung.

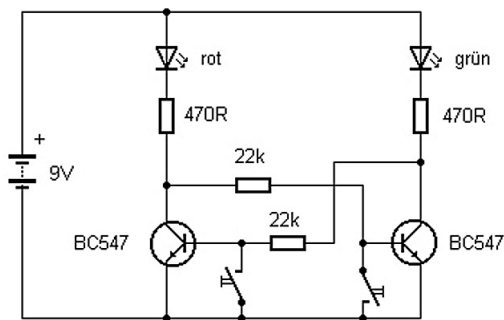
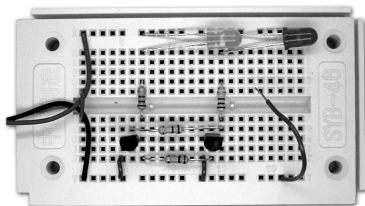


Abb. 28: Ein bistabiles Flipflop

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. 29:** Die Kippschaltung

Schalten Sie die Betriebsspannung ein. 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.

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.

## 11. Zünden und Löschen

Eine bistabile Schaltung kann auch mit einem NPN- und einem PNP-Transistor aufgebaut werden. 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 an S1 schaltet in den leitenden Zustand um. Dieser Zustand ist nun gespeichert und bleibt so lange bestehen, wie die Versorgungsspannung vorhanden ist. Nur durch Abschalten der Betriebsspannung kehren die Transistoren in den gesperrten Zustand zurück.

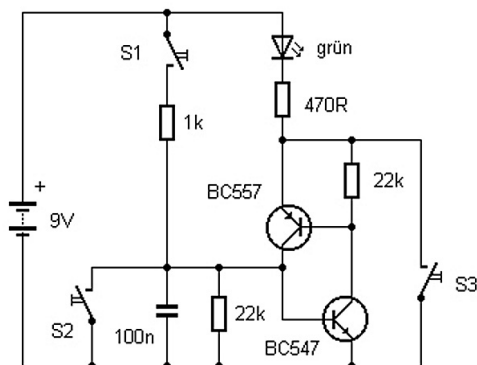


Abb. 30: Leiten und Sperren

Mit einer kurzen Verbindung S1 zünden Sie die Schaltung, sodass die LED leuchtet. Mit S2 dagegen kann der leitende Zustand gelöscht werden. S3 schaltet zwar die LED ein, löscht jedoch gleichzeitig den leitenden Zustand der Transistoren. Nach dem Öffnen von S3 ist die LED daher aus.

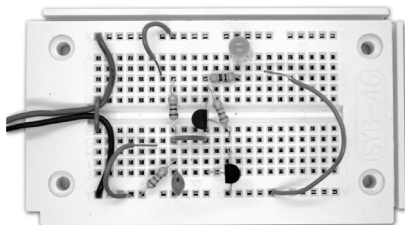


Abb. 31: An oder aus

## 12. Gegentaktblinker

Dieser elektronische Blinker arbeitet im Gegentakt: Zwei LEDs sollen automatisch umgeschaltet werden, sodass immer nur eine von beiden an ist. Die symmetrische Blinkerschaltung nach Abb. 32 nennt man auch einen Multivibrator. Die Rückkopplung erfolgt über zwei Kondensatoren. Bei den Elkos 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. Mit zwei Elkos von  $100\ \mu\text{F}$  ergibt sich eine sehr geringe Blinkfrequenz mit weniger als fünf vollständigen Wechsels in einer Minute.

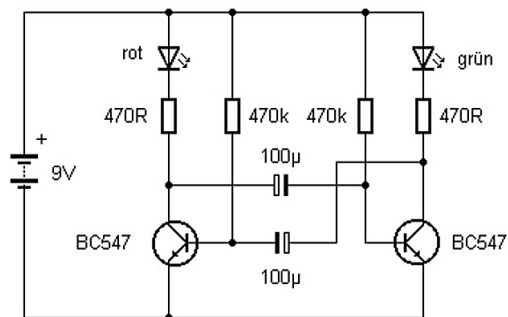


Abb. 32: Der Multivibrator

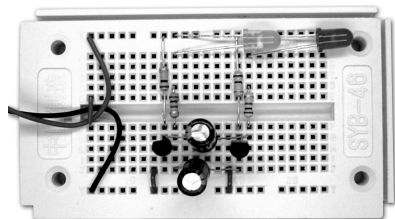


Abb. 33: Ein langsamer Wechselblinker

### 13. Einfacher LED-Blinker

Ein Blinkgeber in einem Fahrzeug steuert üblicherweise nur eine Lampe an. Hier wird ein weiteres Flipflop aufgebaut, das selbstständig hin- und herschaltet. Die Schaltung benötigt nur einen Kondensator. Zwei Transistoren in Emitterschaltung bilden einen Verstärker. Die Rückkopplung vom Ausgang auf den Eingang geht über einen Kondensator, der sich immer wieder auflädt und entlädt.

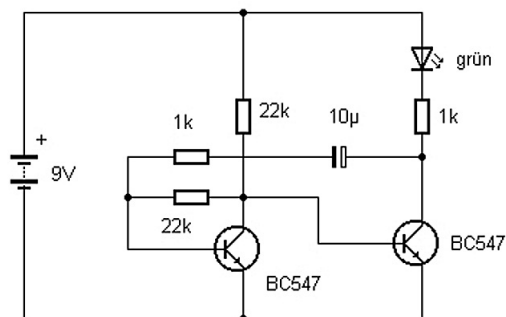


Abb. 34: Vereinfachter Multivibrator

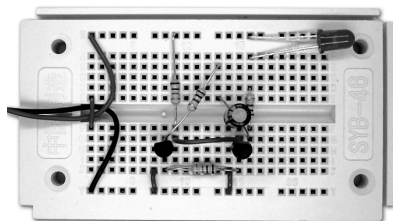


Abb. 35: Der LED-Blinker

## 14. LED-Blitzlicht

Diese Schaltung erzeugt regelmäßige kurze Lichtblitze. Solange der Kondensator noch geladen wird, bleiben alle drei Transistoren gesperrt. Die Spannung an der Basis des mittleren Transistors steigt langsam an. Bei etwa +0,6 V beginnt der mittlere Transistor zu leiten und liefert den Basisstrom für den PNP-Transistor. Dessen Kollektorspannung steigt und schaltet die LED ein. Gleichzeitig liefert der Elko einen kräftigen und kurzen Basisimpulsstrom. Der linke Transistor in der Schaltung dient zur Sicherstellung des richtigen Arbeitspunkts der Schaltung. Es entsteht etwa ein Lichtblitz pro Sekunde.

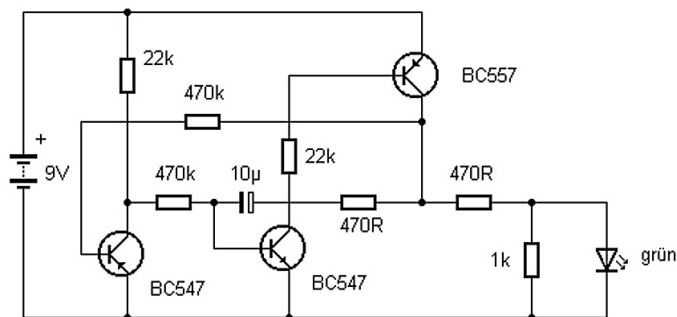


Abb. 36: Die Blitzschaltung

Entfernen Sie den parallel zur LED liegenden 1-k $\Omega$ -Widerstand aus der Schaltung: Die Pause zwischen den Lichtblitzen verlängert sich erheblich. Der linke Transistor sperrt erst, wenn der Elko vollständig entladen ist. Erst dann steigt seine Kollektorspannung langsam an, um einen neuen Impuls zu ermöglichen.

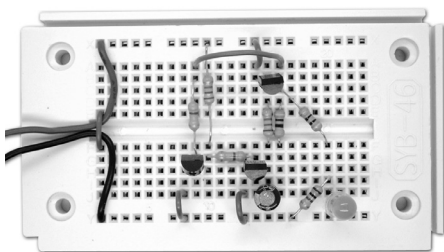
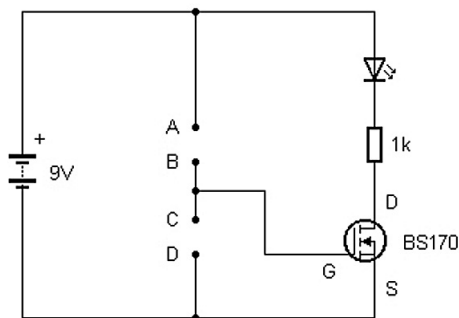


Abb. 37: LED-Blitzlicht

## 15. MOSFET-Touch-Sensor

Diese Schaltung mit dem MOSFET BS170 (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor, engl. metal oxide semiconductor field-effect transistor) steuert eine LED durch zwei Kontaktpaare, die direkt verbunden oder mit dem Finger berührt werden können. Nach kurzer Verbindung der Kontakte bleibt der jeweilige Zustand für längere Zeit erhalten.

Der NPN-Transistor wurde im ersten Versuch mit einer einfachen Grundschialtung vorgestellt. Es muss ein Basisstrom fließen, damit ein Kollektorstrom möglich ist. Ein ähnlicher Versuch mit dem MOSFET BS170 zeigt ein ganz anderes Verhalten. Der MOSFET besitzt die drei Anschlüsse Gate (G), Source (S) und Drain (D). Der gesteuerte Strom hängt diesmal nicht von einem Eingangsstrom ab, sondern von der angelegten Spannung zwischen G und S. Wenn am Gate eine positive Spannung von etwa 2 V oder mehr anliegt, leitet der Transistor. Der Gate-Anschluss ist völlig isoliert und bildet einen kleinen Kondensator mit etwa 60 pF. Ist das Gate einmal aufgeladen, bleibt die Gate-Spannung deshalb lange bestehen.



**Abb. 38:** Grundschialtung des MOSFET

Verbinden Sie einmal kurz die Anschlüsse A und B, um das Gate aufzuladen. Die LED geht an und bleibt an. Verbinden Sie die Kontakte C und D, um das Gate zu entladen und die LED auszuschalten. Jeder der beiden möglichen Zustände bleibt relativ lange erhalten. Der Versuch demonstriert damit die grundlegende Arbeitsweise eines dynamischen Speichers, der ebenfalls eine elektrische Ladung speichert, um Eins- und Nullzustände darzustellen. Zugleich ist die Schaltung ein einfacher Berührungsschalter, denn die Berührung der Kontakte A und B bzw. C und D hat dieselbe Wirkung wie ein direkter Kontakt.

Aber Achtung! Eine Gate-Spannung von mehr als 20 V ist nicht erlaubt und kann zur Zerstörung des Transistors führen! Man muss daher vorsichtig mit elektrostatischer Aufladung sein. Berühren Sie also immer zuerst einen Anschluss der Betriebsspannung, um eventuelle Ladungen abzuleiten. Besondere Gefahr für den

Transistor besteht, wenn zwei Personen dieselbe Schaltung berühren. Da beide unterschiedlich geladen sein können, kann es zu einer Entladung über den Transistor kommen, die ihn zerstört.

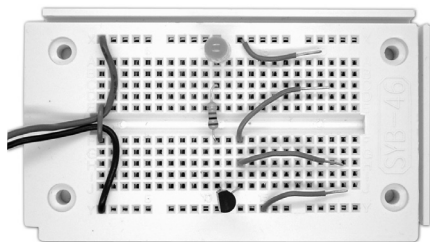


Abb. 39: Laden und Entladen des Gates

## 16. Sensordimmer

Mit einem zusätzlichen Kondensator zwischen Gate und Drain bleiben auch Zwischenzustände zwischen „ganz an“ und „ganz aus“ erhalten. Wenn die Spannung am Gate sinkt, wird der Drain-Strom kleiner und damit auch der Spannungsabfall an der LED und ihrem Vorwiderstand. Die Drain-Spannung steigt also. Dies ist nur möglich, wenn der Kondensator aufgeladen wird. Jede Änderung der Drain-Spannung wirkt einer Änderung der Gate-Spannung entgegen. Bei einem kleinen Eingangsstrom ändert sich die LED-Helligkeit deshalb nur langsam. Mit einer Berührung der Kontakte A und B wird die LED heller. Um sie dunkler zu steuern, müssen dagegen C und D berührt werden. Die Reaktion auf eine Berührung ist unterschiedlich schnell. Das Hellsteuern erfolgt wegen der größeren Ladespannung schneller als das Dunkelsteuern.

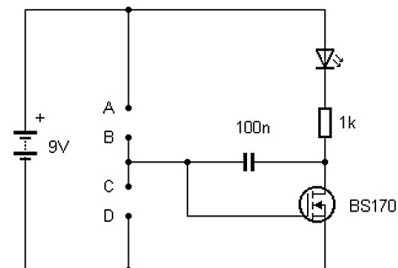


Abb. 40: Der Touch-Dimmer

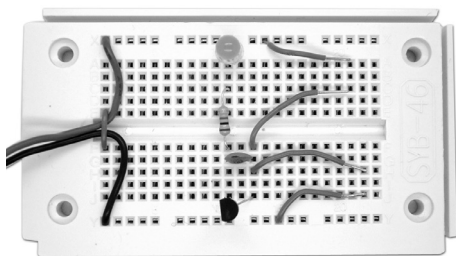


Abb. 41: Verstellbare Helligkeit

## 17. Elektrometer

Ein Elektrometer ist ein Messgerät zum Nachweis kleiner elektrischer Ladungen. Elektrisch geladene Gegenstände oder Personen führen ein elektrisches Feld mit sich, das isolierte Gegenstände in der Umgebung durch Influenz aufladen kann. Das trifft auch auf das isolierte Gate des BS170 zu. Ein isolierter Draht wird am Eingang der Schaltung angeschlossen. Elektrische Ladungen in der Umgebung beeinflussen dann die LED-Helligkeit. Man kann z. B. ein Kunststofflineal an einem Tuch reiben und in die Nähe der Schaltung halten. Dabei sollte man einen Sicherheitsabstand von 10 cm halten, um den MOSFET nicht zu beschädigen.

Der Anfangszustand nach dem Einschalten ist unbestimmt, der Transistor könnte also ganz gesperrt oder ganz leitend sein. In beiden Fällen sind kleine Unterschiede der Gate-Spannung ohne Auswirkung. Daher gibt es einen Startschalter, mit dem man Gate und Drain kurz verbindet. Dabei stellt sich die Gate-Spannung auf den mittleren Bereich um ca. 2 V ein.

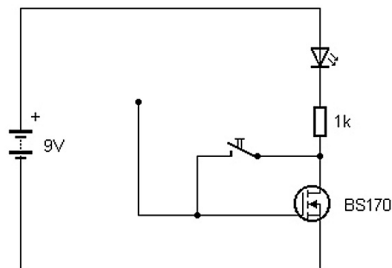


Abb. 42: Das Elektrometer

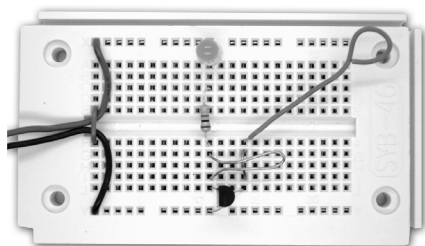


Abb. 43: Nachweis elektrischer Ladungen

## 18. LEDs als Fotoelemente

Dieser Versuch birgt eine weitere Möglichkeit, einen einfachen Lichtsensor zu bauen. Es wird ein BS170 eingesetzt. Zwei LEDs dienen als Lichtsensoren. Mit zwei NPN-Transistoren in Darlington-Schaltung konnte in Kap. 7 eine LED als Lichtsensor verwendet werden. Dank seines fast unendlich großen Eingangswiderstands schafft ein einzelner MOSFET die gleiche Aufgabe allein. Allerdings braucht man nun zwei LEDs als Lichtsensoren. Die LEDs werden als Fotoelemente eingesetzt, die eine Spannung abgeben können. Der BS170 leitet ab einer Gate-Spannung von 2 V. Zwei LEDs zusammen können bei ausreichender Beleuchtung die erforderliche Spannung erzeugen. Es reicht sogar schon geringe Helligkeit, um eine Wirkung zu erkennen. Experimentieren Sie auch mit unterschiedlichen LEDs. Eine grüne LED liefert etwas mehr Spannung als eine rote.

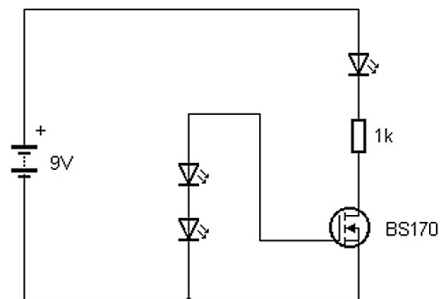


Abb. 44: LEDs als Fotoelemente

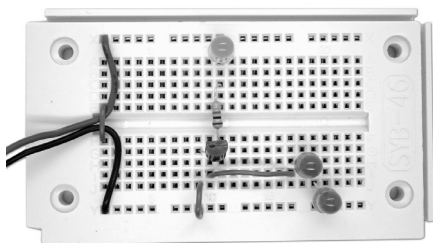


Abb. 45: Der Lichtsensor

## 19. Kondensator-Tempersensur

Ein keramischer Kondensator mit 100 nF kann als Temperatursensor eingesetzt werden. Ein solcher Kondensator hat einen großen Temperaturkoeffizienten. Die Kapazität verringert sich bei Erwärmung. Bei diesem Versuch muss zunächst der Schalter geschlossen und dann wieder geöffnet werden. Die Gate-Spannung stellt sich dabei automatisch auf die Schwellspannung von ungefähr 2 V ein, die LED leuchtet. Am Kondensator von 100 nF liegt eine Spannung von etwa 7 V.

Berühren Sie nun den Kondensator ganz leicht mit dem Finger, was zu einer Erhöhung der Temperatur führt. Die im Kondensator gespeicherte Ladung bleibt konstant. Da aber die Kapazität sich verringert, steigt die Kondensatorspannung an. Dies führt zu einer kleineren Gate-Spannung und damit zu einem geringeren Drain-Strom. Schon eine leichte Berührung reicht aus, um die LED deutlich schwächer leuchten zu lassen. Die Schaltung reagiert auf kleine Temperaturänderungen empfindlicher als die Transistorschaltung nach Kap. 9. Sobald sich der Sensorkondensator wieder abgekühlt hat, ist die ursprüngliche LED-Helligkeit wieder vorhanden.



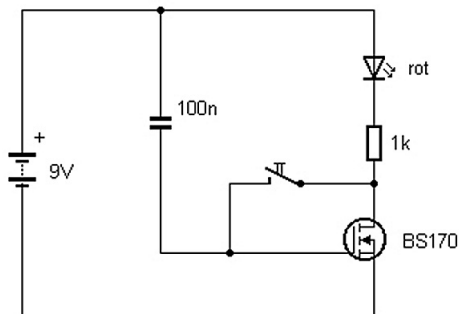


Abb. 46: Auswertung der Kondensatorspannung

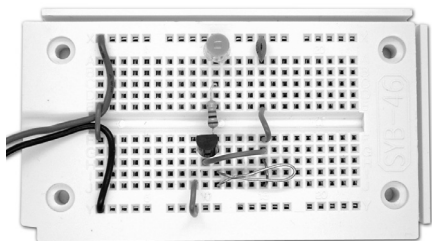


Abb. 47: Der Temperatursensor

## 20. Minutenlicht

Das Licht wird mit einem Druck auf den Tastschalter eingeschaltet und bleibt dann für etwa eine Minute an. Der Übergang zwischen hell und dunkel ist weich, aber relativ schnell. Mit dem Tastendruck wird der Elko auf 9 V aufgeladen. Er entlädt sich über den 470-k $\Omega$ -Widerstand. Solange die Gate-Spannung über ca. 2,6 V liegt, leitet der FET und liefert den Basisstrom für den NPN-Transistor, der die LED einschaltet. Wenn die Eingangsspannung absinkt, leitet der FET schwächer. Sobald die Basisspannung des NPN-Transistors unter ca. 0,6 V abgesunken ist, fließt kein merklicher Kollektorstrom mehr, die LED geht also aus.

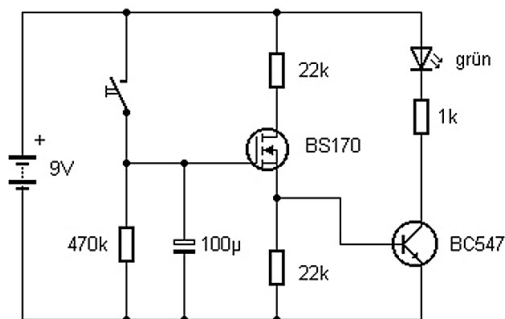


Abb. 48: Langsame Kondensatorentladung

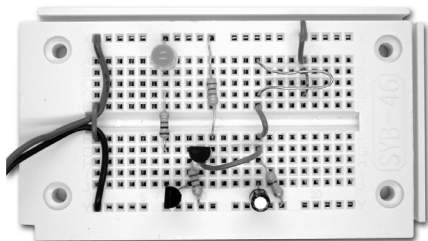
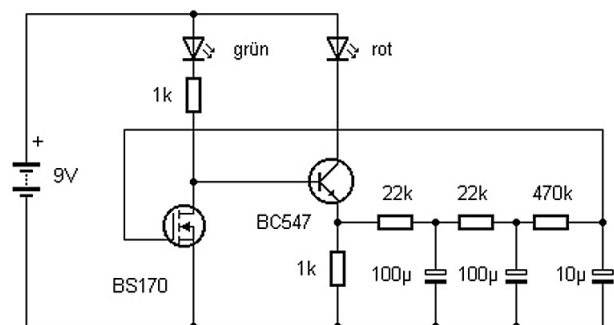


Abb. 49: Das Minutenlicht

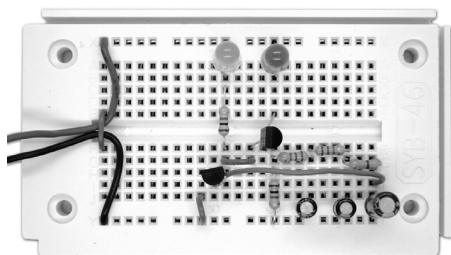
## 21. Weicher Blinker

Ein LED-Blinker mit weich an- und abscwellender Helligkeit kann bei geeigneter Frequenz zur Entspannung des Betrachters beitragen. Die Helligkeit folgt einem Sinusverlauf. Diese Schaltung steuert zwei LEDs genau gegenphasig an. Das Licht wechselt also laufend mit weichen Übergängen zwischen Rot und Grün.



**Abb. 50:** Ein Phasenschieberoszillator

Beim Start der Schaltung sind die Elkos noch entladen. Der BS170 sperrt daher, und der NPN-Transistor leitet. Es leuchtet also zunächst nur die rote LED. Dann versucht sich die Schaltung auf einen mittleren Strom einzupendeln, überschwingt aber ständig und erzeugt ein sinusförmiges Signal, bei dem einmal der eine und einmal der andere Transistor leitet.



**Abb. 51:** Der Soft-Blinker



### Die Franzis Akademie

100% Know-how vom ältesten Technikverlag Deutschlands für die Aus- und Weiterbildung in allen Bereichen der Elektronik und Elektrotechnik. Die Franzis Akademie informiert über neueste Entwicklungen, Trends und Techniken. Die Anmeldung erfolgt kostenlos über: [www.elo-web.de](http://www.elo-web.de)

### Das Franzis Know-how-Zertifikat

Experimentieren, lernen, weiterbilden! Testen Sie Ihr erworbenes Wissen in kleinen spezifischen Tests und erwerben Sie Ihr persönliches Franzis Zertifikat unter: [www.elo-web.de/zertifikat](http://www.elo-web.de/zertifikat)



### Schnell und einfach zum Ziel!

Sie beantworten bis zu fünf Fragen in einem Onlinetest. Die Fragen können Sie leicht und schnell beantworten, wenn Sie die Experimente in diesem Lernpaket erfolgreich durchgeführt haben.

Mit diesem offiziellen und unvergleichbaren Zertifikat der Franzis Akademie weisen Sie Ihr Wissen in diesem „Spezialgebiet“ nach. Sie erhöhen damit Ihre Chance im Job. Dieses einmalige Zertifikat können Sie Ihrer Bewerbung nach dem Studium, im Beruf oder auf einen Ausbildungsplatz beifügen.

Erwerben Sie das persönliche Zertifikat kostenlos unter [www.elo-web.de/zertifikat](http://www.elo-web.de/zertifikat). Sie erhalten das Zertifikat nach dem erfolgreichen Bestehen des Onlinetests per E-Mail von der Franzis Akademie zugeschickt.