



VORWORT

TAG 1

BITTE EINSCHALTEN

Der Elektronik-Adventskalender enthält 24 Experimente rund um Transistoren und LEDs. Hier findet man die beiden wichtigsten Arten von Transistoren, nämlich bipolare Transistoren und Feldeffekttransistoren. Damit lassen sich zahlreiche spannende Schaltungen aufbauen.

Zu jedem Versuch gibt es ein Aufbaubild und ein Schaltbild. Auf eine kompakte Information zum Aufbau und zur Funktion folgt jeweils noch eine knappe Information zu den technischen Hintergründen. In erster Linie geht es um Spiel und Spaß. Wer es aber genauer wissen will, findet die entscheidenden Stichwörter, mit denen die Suche nach tieferen Informationen möglich wird.

Der Kalender richtet sich an Interessierte aller Altersstufen. Ideal ist es, wenn man die Schaltungen in der Familie oder gemeinsam mit Freunden aufbaut und ausprobiert. So werden Erfahrungen ausgetauscht, und neue Ideen können entstehen.

Der Kalender enthält reichlich Bauteile, sodass man jederzeit auch Varianten der Schaltungen testen kann. Wichtig ist, dass man von Anfang an alle Teile sorgfältig aufhebt, denn sie werden mehrfach eingesetzt. Und das Material reicht auch, um am Ende ganz eigene Ideen umzusetzen.

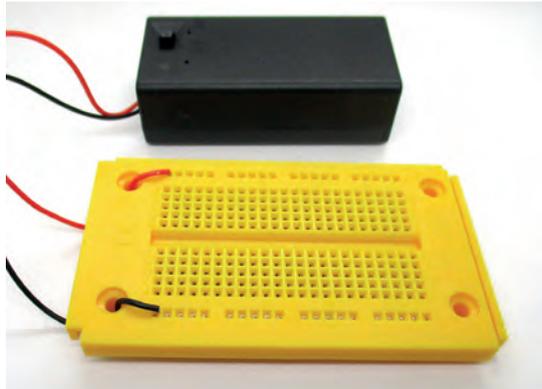
Viel Erfolg beim Experimentieren!

Heute im Kalender:

*2 Widerstände 10 k Ω , 1 LED rot
Batteriefach, Steckplatine*

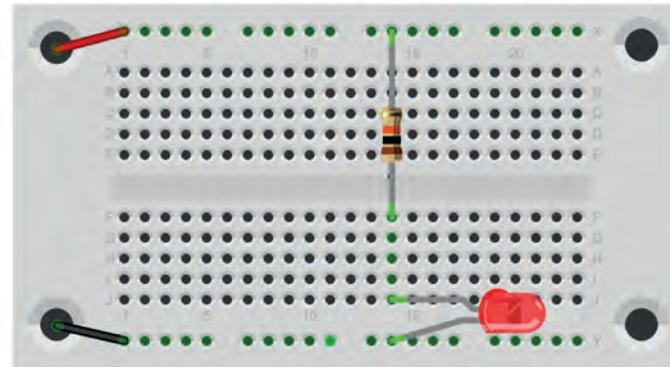
Hinter dem ersten Türchen des Kalenders finden sich ein Batteriefach mit Schalter, eine Steckplatine, eine rote Leuchtdiode (LED) und zwei Widerstände mit 10 k Ω (Kilohm). Sobald alle Bauteile entsprechend dem Aufbaubild zusammengesteckt sind und man eine 9-V-Batterie in das Batteriefach einsetzt, entsteht ein Stromkreis. Die LED kann nun mit dem Schalter des Batteriefachs ein- und ausgeschaltet werden.

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 Kontaktfeder-



streifen mit je 20 Kontakten bestehen. Das Steckfeld verfügt damit über zwei unabhängige Versorgungsschienen, die hier für den Pluspol (oben) und den Minuspol (unten) der Batterie verwendet werden.

Das Einsetzen von Bauteilen erfordert 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 verzinnten Enden des Batterieclips



einsetzen, ohne dass man sie knickt. Manchmal hilft es auch, die Kontakte zuerst mit einer Nadel etwas zu weiten.

Das Batteriefach hat am Ende verzinnte Drähte, die leicht abnutzen könnten, wenn man sie öfter in die Platine steckt. Damit diese Kabel für alle Versuche stabil halten, sollten sie durch die Befestigungslöcher geführt werden. Dazu muss man die untere Folie mit einer Nadel durchstechen.

Ganz wichtig ist es, die Leuchtdiode richtig herum einzubauen. Der kurze Draht ist der Minuspol (die Kathode), der lange Draht der

Pluspol (die Anode). Und genauso wichtig ist es, dass eine LED niemals ohne einen Widerstand eingebaut wird. Dieser Vorwiderstand verhindert, dass die LED überlastet wird, indem er den Strom begrenzt.

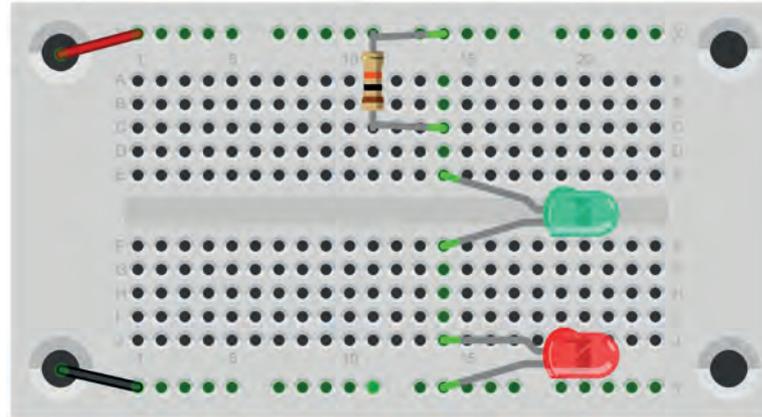
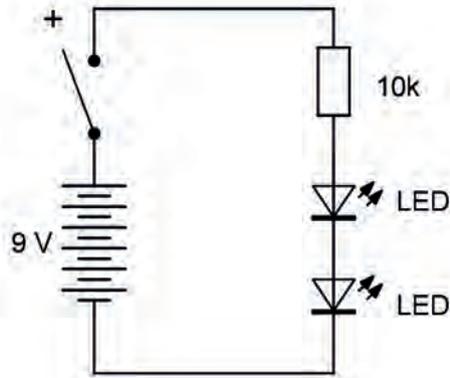
Der Widerstand trägt Farbringe in den Farben Braun (1), Schwarz (0) und Orange (000). Ein letzter, goldener Ring sagt aus, dass diese 10.000Ω ($10.000 \text{ Ohm} = 10 \text{ Kiloohm} = 10 \text{ k}\Omega$) mit einer Genauigkeit von 5 % eingehalten werden. Der zweite Widerstand muss für nachfolgende Versuche aufbewahrt werden. In dieser Schaltung fließt ein Strom von rund $0,7 \text{ mA}$. Zum Vergleich: Die LED kann bis zu 20 mA vertragen.



TAG 2

MEHR FARBE

Heute im Kalender:
2 LEDs grün



Das zweite Fach enthält zwei grüne LEDs. Eine davon soll nun in Reihe zur roten LED eingebaut werden. Damit erhält man gleichzeitig rotes und grünes Licht. Lässt man beide Lichtkegel auf ein weißes Blatt Papier scheinen, entsteht im Übergang die Mischfarbe Gelb.

In der Reihenschaltung fließt an jeder Stelle ein Strom der gleichen Stromstärke. Ein einfacher Test liefert den Beweis: Man vertauscht beide LEDs und findet die gleichen Helligkeiten wie vorher. Der Strom ist übrigens geringer als im ersten Versuch. Jede LED braucht rund 2 V. Da bleiben noch 5 V für den Widerstand.

Daraus lässt sich die Stromstärke von 0,5 mA berechnen ($5 \text{ V} / 10 \text{ k}\Omega = 0,5 \text{ mA}$).

Wer jetzt schon voll durchblickt, kann auch einmal testen, wie sich drei LEDs und der Widerstand in einer Reihenschaltung verhalten. Die Stromstärke wäre dann etwa 0,3 mA, und das sollte auch noch reichen. Und noch sparsamer wird der Versuch, wenn man darüber hinaus beide Widerstände in Reihe schaltet.



TAG 3

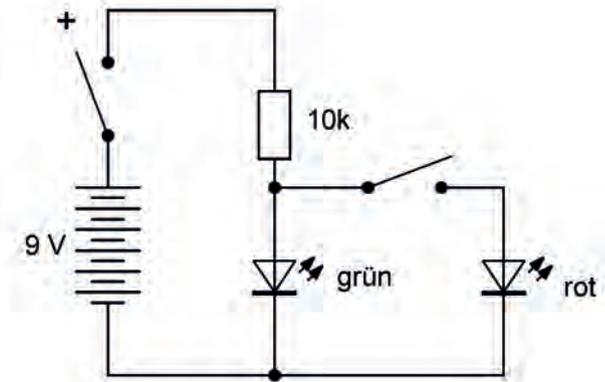
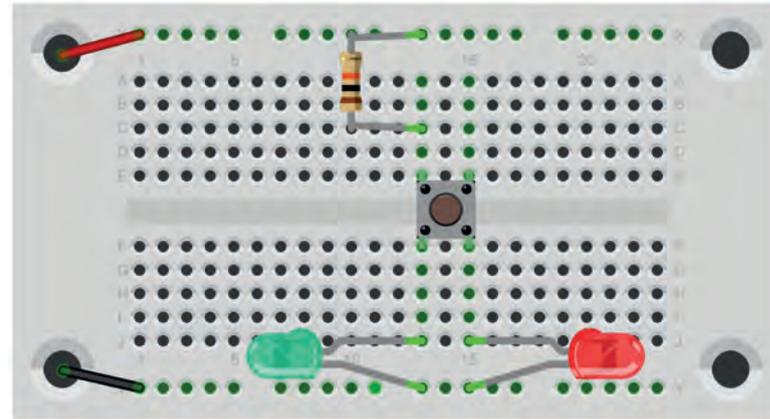
GRÜN ODER ROT

Heute im Kalender:

2 Tastschalter

Ein Schalter befindet sich ja schon im Batteriepack. Zwei weitere kommen nun hinzu. Es sind Tastschalter, deren Einbaurichtung man genau beachten muss. Je zwei der vier Kontakte sind im Inneren verbunden. Dazwischen gibt es einen Schaltkontakt, der beide Seiten verbindet. Mit einem dieser Schalter wird nun eine Parallelschaltung der beiden LEDs gebildet. Zuerst leuchtet nur die grüne LED. Wenn man auf den Schalter drückt, geht die rote an – klar. Was aber etwas überraschen kann, ist, dass die grüne LED im selben Moment ausgeht. Der Taster wirkt wie ein Umschalter: Grün, Rot, Grün, Rot ...

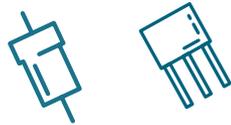
Die Erklärung findet sich im Verhalten der beiden LEDs. Wie bei jeder Diode steigt der Strom mit steigender Spannung erst ab einer bestimmten Spannung steil an. Für die grüne LED liegt diese Spannung höher als für die rote. Wenn also der durch den Widerstand begrenzte Strom durch die rote LED fließt, sinkt die Spannung so weit ab, dass sie für die grüne LED nicht mehr ausreicht. Ein Test mit zwei grünen LEDs zeigt es: Beide können in Parallelschaltung leuchten.



TAG 4

SCHALTIMPULSE UND

GERÄUSCHE

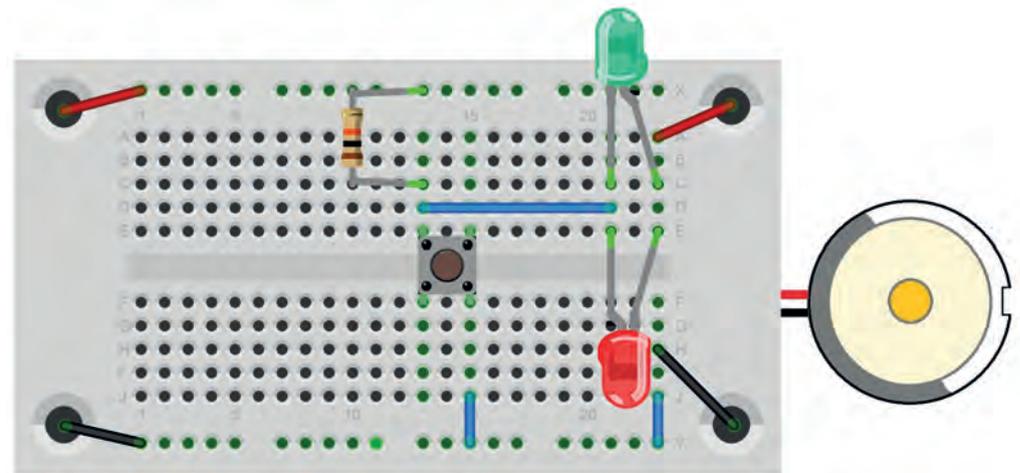


Heute im Kalender:

Piezoschallwandler und Draht

Hinter Türchen Nummer vier kommen etwas Draht und ein piezokeramischer Schallwandler zum Vorschein, der wie ein kleiner Lautsprecher eingesetzt werden kann. Auch seine Anschlusskabel sind sehr empfindlich, daher sollten sie vorsichtig durch die Löcher in der Steckplatine geführt und dann passend für alle folgenden Versuche eingesteckt werden. Auch wenn das Bauteil für einen Versuch nicht eingesetzt wird, sollten die Anschlüsse eingesteckt bleiben.

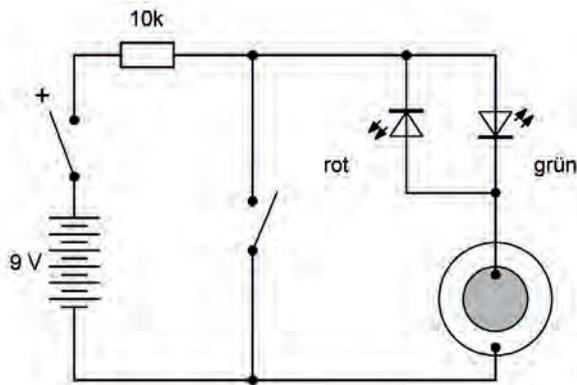
Der isolierte Schaltdraht wird für Verbindungen auf der Steckplatine gebraucht. Man schneidet mit einer Zange oder einer alten Schere jeweils passende Stücke ab und entfernt die Isolierung an den Enden auf einer Länge von 5 mm. Die Isolierung lässt sich mit den Fingernägeln abziehen. Dabei kann ein Messer helfen, mit dem man die Isolierung leicht anritzt, aber nicht zu tief, um den Kupferdraht nicht anzuschneiden.



Achtung, der Versuch dieses Tages gelingt nur mit geschärften Sinnen. Es sollte sehr still und auch nicht zu hell sein. Beim ersten Einschalten hört man vielleicht schon über den Lautsprecher ein leises Klicken. Bei Druck auf den Tastschalter leuchtet die rote LED kurz auf, und wenn man ihn wieder loslässt, erscheint ein schwacher, grüner Lichtblitz. Bei beiden Ereignissen ertönt ein Klicken aus dem Lautsprecher, das man leicht überhören kann, weil

der Schalter selbst auch ein Geräusch macht. Deutlicher hört man es, wenn man den Schalter ganz still mit einem Draht überbrückt.

Da geht aber noch mehr! Man schalte die Batterie aus und halte den Taster gedrückt. Wenn man dann leicht auf die Membran des Piezolausprechers klopft, entstehen Lichtblitze. Der Piezoschallwandler wird zu einem Mikrofon oder zu einem Generator.



Und noch ein Versuch: Die Batterie ist abgeschaltet, der Tastschalter bleibt geöffnet. Eine Berührung mit dem Finger soll nun die Piezoscheibe etwas erwärmen. Dann drückt man auf den Taster und erhält einen Lichtblitz. Nach einer Abkühlung von einigen Minuten bringt ein neuer Tastendruck einen Lichtblitz der anderen Farbe.

Zur Erklärung: Die Piezoscheibe ist aufgebaut wie ein Kondensator mit zwei Metallflächen und einem Isolator dazwischen. Im Inneren der Keramikscheibe besteht ein elektrisches Kraftfeld. Jede Änderung der elektrischen Spannung verformt die Scheibe durch elektrische Kräfte, wobei ein Geräusch entsteht. Umgekehrt verändert jede Verformung durch mechanische Kräfte oder durch Temperaturänderungen auch die Ladung, sodass elektrische Energie erzeugt wird.

TAG 5

GESPEICHERTE

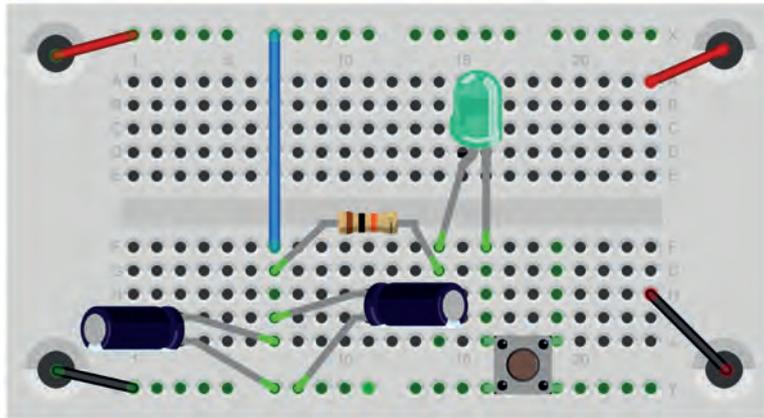
ENERGIE

Heute im Kalender:

2 Elkos 100 μ F und 10 μ F

Nun kommen zwei Elektrolytkondensatoren (Elkos) ins Spiel, ein größerer mit 100 μ F und ein kleinerer mit 10 μ F. Beim Einbau muss man auf die Richtung achten. Der Minuspol ist auf dem Gehäuse durch einen weißen Strich gekennzeichnet und hat den kürzeren Draht. Achtung, eine falsche Polung kann einen Elko zerstören und im Extremfall sogar platzen lassen. Der Piezoschallwandler aus dem letzten Versuch darf eingebaut bleiben, ist aber nicht verbunden.



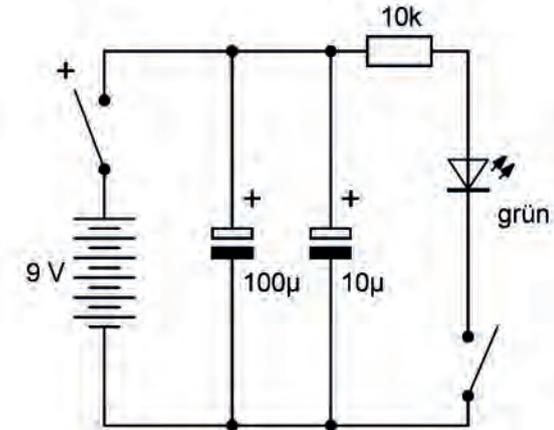


Die Elkos werden hier als Energiespeicher eingesetzt. Wenn man den Schalter am Batteriefach schließt, werden sie geladen. Dann schaltet man die Batterie ab und drückt auf den Tastschalter. Die LED leuchtet bis zu zehn Sekunden lang und wird dabei langsam immer schwächer. Deutlich zu sehen ist, wie die gespeicherte Energie verbraucht wird.

Man kann eigentlich keinen Zeitpunkt angeben, an dem die LED ganz aus ist, denn das hängt von der Empfindlichkeit des Auges ab.

Im Dunkeln scheint die LED länger zu leuchten. Wer am Nachthimmel die meisten Sterne erkennt, sieht auch das Licht der LED am längsten.

Den Versuch kann man beliebig oft wiederholen. Anders als ein Akku nutzt sich ein Kondensator auch nach vielen Ladezyklen nicht ab. Interessant ist ebenfalls, wie lange ein Elko seine Ladung speichern kann. Ist nach einer Stunde noch die volle Ladung vorhanden? Außerdem kann man untersuchen, was sich ändert, wenn



man einen von beiden Elkos aus der Schaltung entfernt. Mit dem kleineren Elko von $10\ \mu\text{F}$ leuchtet die LED sehr viel kürzer.

Ein Elko enthält zwei Alufolien und eine leitende Flüssigkeit. Die eigentliche Isolierschicht ist eine sehr dünne Schicht aus Aluminiumoxid. Je dünner die Schicht ist, desto stärker wird das elektrische Feld, und desto größer ist die Kapazität, die man in Farad misst. Kleinere Kapazitäten werden in Mikrofarad (μF), Nanofarad (nF) und Pikofarad (pF) angegeben.

TAG 6

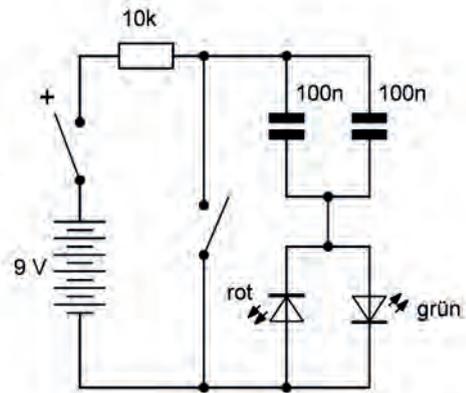
FARBIGE

MINIBLITZE

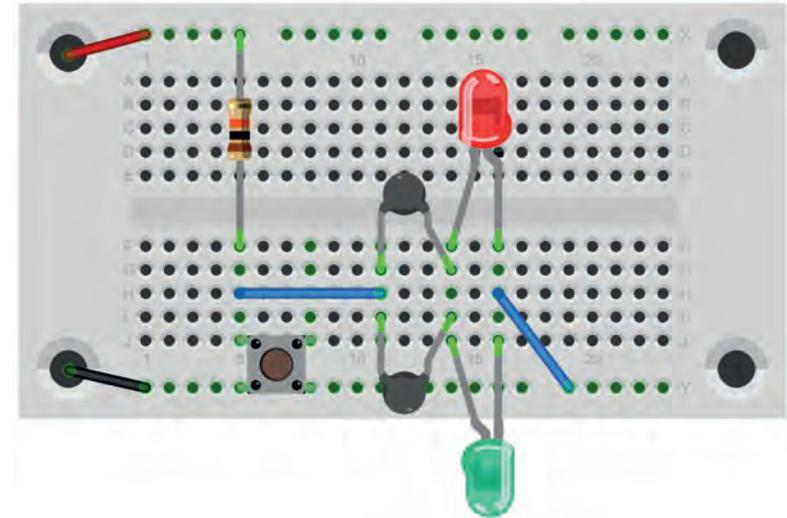
Heute im Kalender:

2 Kondensatoren 100 nF

Zwei ganz andere Kondensatoren kommen hinter Fach Nummer sechs zum Vorschein – nämlich keramische Scheibenkondensatoren. Sie ähneln im Aufbau schon eher der Piezoscheibe und haben zwei Metallflächen auf einer dünnen Keramikscheibe. Die Kapazität beträgt nur 100 nF (100 Nanofarad), die mit dem Aufdruck 104 (für 10 0000 pF) gekennzeichnet wird. Die Kapazität ist 1.000-mal kleiner als die des Elkos mit 100 μ F aus dem letzten Fach.



Der Versuch zeigt, wie diese Kondensatoren in sehr kurzen Momenten geladen und entladen werden. Es sollte nicht zu hell im Raum sein. Wenn man auf den Taster drückt, blitzt die rote LED auf, weil die Kondensatoren entladen werden. Lässt man den Taster los, werden die Kondensatoren wieder geladen, wobei die grüne LED kurz aufleuchtet. Nimmt man einen Kondensator heraus, erhält man schwächere Blitze. Zwei parallel geschaltete Kondensatoren mit 100 nF verhalten sich wie einer mit 200 nF.



Ein etwas anderer Versuch: Man schaltet die Batterie ein, um den Kondensator zu laden, und dann wieder aus. Nach ein paar Minuten betätigt man den Taster. Die Ladung war noch vorhanden, es blitzt rot. Dann schaltet man die Batterie wieder ein, wobei ein grüner Lichtblitz zu sehen ist. Ein Wiederholtes Aus- und Einschalten bringt aber keinen neuen Lichtblitz mehr, weil der Kondensator ja schon geladen ist.



TAG 7

GESAMMELTE

SOLARENERGIE

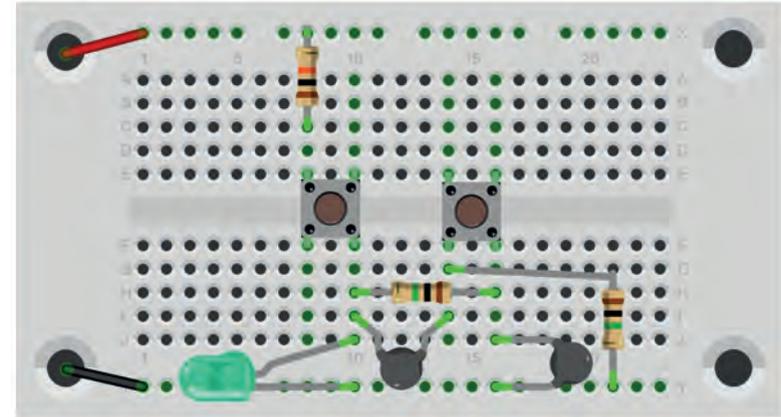
Heute im Kalender:

2 Widerstände 1 M Ω

Bisher gab es nur Widerstände mit 10 k Ω , jetzt aber kommen zwei Widerstände mit einem Megaohm (1 M Ω = 1.000 k Ω , Braun, Schwarz, Grün) hinzu. Sie werden in eine Schaltung eingebaut, die ganz ohne Batterie funktioniert. Die Batterie bleibt also abgeschaltet. Diesmal soll die grüne LED wie eine kleine Solarzelle arbeiten und die Energie für ihren eigenen Betrieb selbst erzeugen. Ist genügend Energie gesammelt worden, drückt man auf den Taster, und ein kleiner Lichtblitz entsteht.

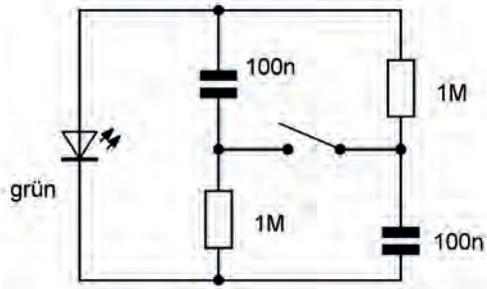
Für einen ersten Test gibt es den linken Taster und einen zusätzlichen Widerstand. Beide gehören nicht zum eigentlichen Versuch und sind deshalb nicht im Schaltbild enthalten. Man kann aber kurz auf den linken Taster drücken, um die Kondensatoren schnell aufzuladen. Dann drückt man auf den rechten Taster und erhält den gesuchten Lichtblitz. Damit ist klar, dass alles korrekt aufgebaut wurde.

Wenn möglich, stellt man die Schaltung für ein paar Minuten in sehr helles Sonnenlicht. Im Sommer braucht man nur eine Ladezeit von wenigen Sekunden, aber in der dunklen Jahreszeit wird die Energie der Sonne knapp. Deshalb kann man die Schaltung auch eini-



ge Minuten bis eine Stunde unter eine helle Lampe stellen. Nach dem Aufladen muss man erst einen Ort mit schwacher Beleuchtung aufsuchen und sich einige Minuten lang an das geringere Licht gewöhnen. Dann ist der Lichtblitz deutlich zu sehen. Er ist nicht sehr hell, aber immerhin wird er mit selbst erzeugter Energie betrieben.

Jede LED kann wie eine kleine Fozelle arbeiten. Bei vollem Sonnenlicht kann eine grüne LED eine Spannung von bis zu 2 V erzeugen. Deshalb werden beide Kondensatoren auch

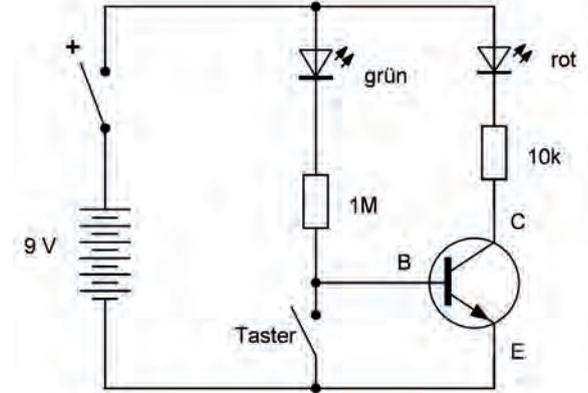


bei schwächerem Licht bis über 1 V geladen. Das reicht aber nicht, um die LED als Lichtquelle zu betreiben. Mit dem Taster werden beide Kondensatoren daher in einer Reihenschaltung verbunden. Dabei liefern sie für einen kurzen Moment die doppelte Spannung, die für den Lichtblitz ausreicht. Im Vergleich zu einer mittelgroßen Solarzelle hat die LED eine millionenfach kleinere aktive Fläche. Deshalb liefert sie auch nur einen sehr kleinen Ladestrom. Aber langsam und sicher lädt sie die Kondensatoren auf. Man muss nur etwas mehr Geduld haben. Mühsam ernährt sich das Eichhörnchen.

TAG 8 VERSTÄRKTER STROM

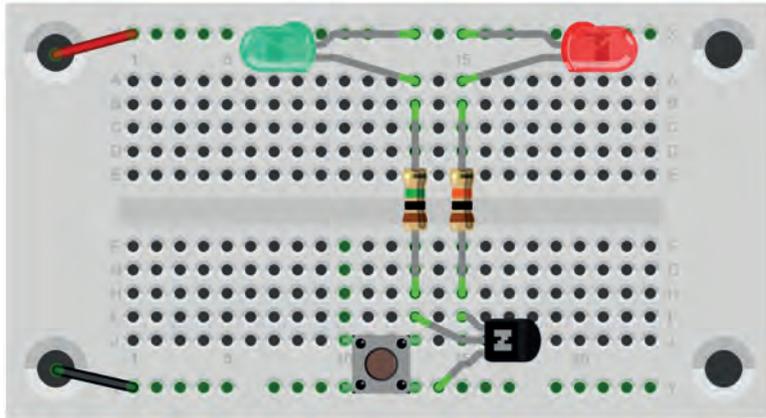
*Heute im Kalender:
2 Transistoren BC547C*

Hinter dem achten Türchen kommen zwei Transistoren vom Typ BC547 zum Vorschein. Sie haben drei Anschlüsse mit den Bezeichnungen Emitter (E), Basis (B) und Kollektor (C). Wenn man von vorn auf die Beschriftung schaut, liegen der Emitter rechts, die Basis in der Mitte und der Kollektor links. Ein Transistor arbeitet als Verstärker. Wenn ein kleiner Strom durch die



Basis fließt, dann fließt ein sehr viel größerer Strom durch den Kollektor. Im ersten Versuch wird das mit zwei LEDs getestet. Die grüne LED leuchtet nur schwach, weil der große Widerstand von 1 MΩ den Basisstrom sehr klein hält. Die rote LED zeigt den verstärkten Strom und leuchtet viel heller.





Wenn man nun auf den Taster drückt, leuchtet die grüne LED weiter, aber die rote LED geht aus. Der Steuerstrom wird bei geschlossenem Schalter abgeleitet, also der Basisstrom abgeschaltet, sodass auch kein Kollektorstrom mehr fließt. Sobald man aber den Taster loslässt, geht die grüne LED wieder an.

Der verwendete Transistor kann den Strom ungefähr 300-fach verstärken. In dieser Schaltung fließt ein Basisstrom von rund $7 \mu\text{A} = 0,007 \text{ mA}$. Der Kollektorstrom könnte um etwa das 300-Fache größer

werden, also 2,1 mA erreichen. Allerdings sorgt der Kollektorwiderstand für eine Begrenzung auf 0,7 mA. Der Transistor ist deshalb voll eingeschaltet und erfüllt seine Aufgabe als Schalter.

Die Transistoren BC547 sind NPN-Transistoren, bestehen also aus drei Halbleiterschichten mit unterschiedlicher Polarität: negativ, positiv und wieder negativ. Man nennt sie deshalb auch bipolare Transistoren. Neben NPN-Transistoren gibt es auch PNP-Transistoren, die aber in diesem Kalender nicht verwendet werden.

TAG 9

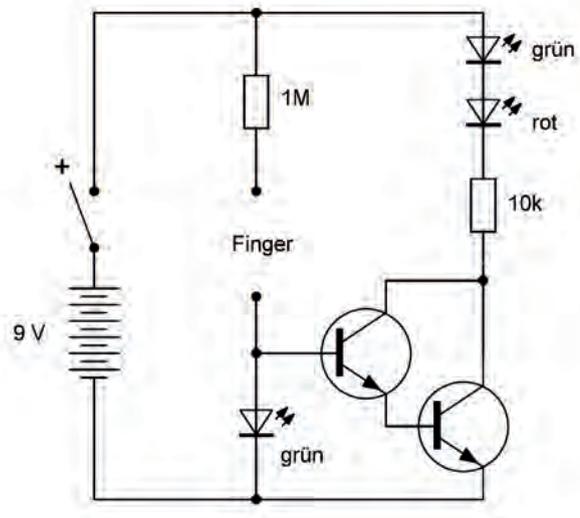
LICHT- UND

BERÜHRUNGS-

-SENSOR

Heute im Kalender:
2 Kabel

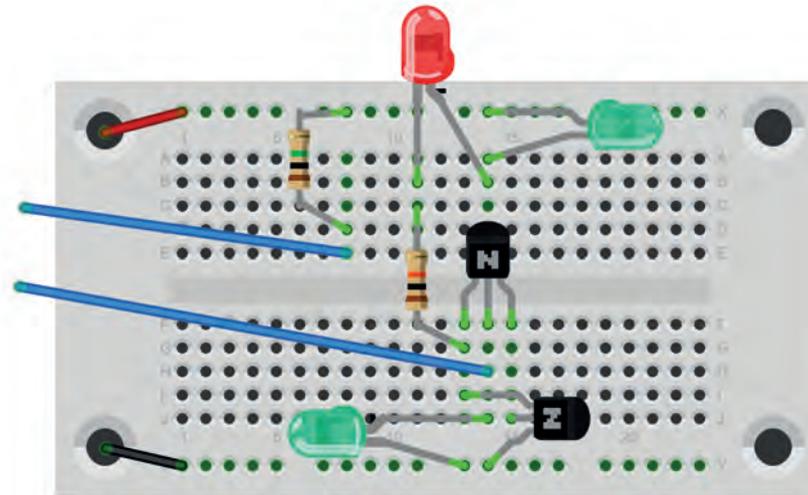
Heute enthält der Kalender zwei weiche Kabel mit Steckern. Nun hat man es etwas leichter, auch kompliziertere Schaltungen aufzubauen. Hier werden sie als Kabel nach außen und als Berührungskontakte verwendet. Diesmal sollen zwei Transistoren zusammen



eingesetzt werden, um noch mehr Verstärkung zu erzielen. Damit ist es möglich, sogar den extrem kleinen Strom, den eine LED als Fotoelement liefern kann. Dazu muss man die linke grüne LED mit einer Lampe bestrahlen. Wenn mehr oder weniger Licht auf diese LED fällt, leuchten die anderen beiden LEDs mehr oder weniger stark auf.

Die Schaltung hat noch eine weitere Funktion. Wenn man die beiden freien Kabel mit dem Finger berührt, gehen die LEDs ebenfalls an. Durch die Finger fließt dann ein sehr kleiner, nicht spürbarer Strom, den die Transistoren so weit verstärken, dass die LEDs eingeschaltet werden. Für den Einsatz als Berührungsschalter wird die linke grüne LED nicht gebraucht und kann herausgenommen werden.

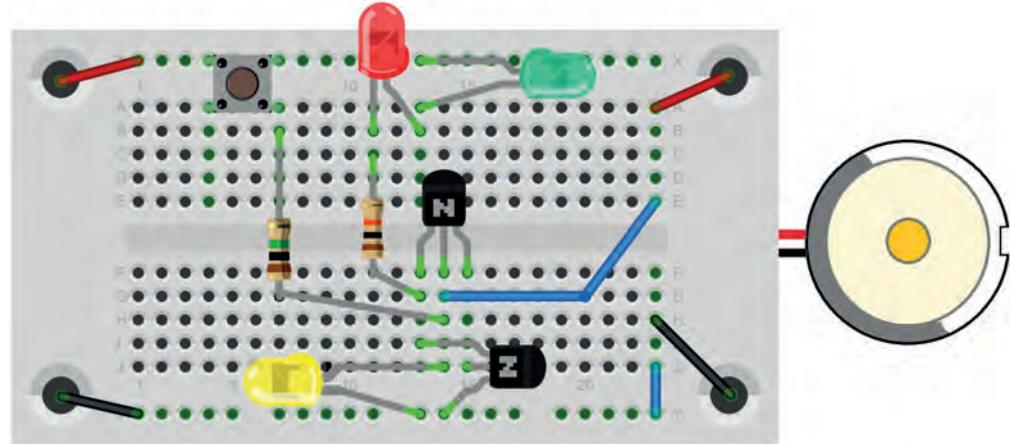
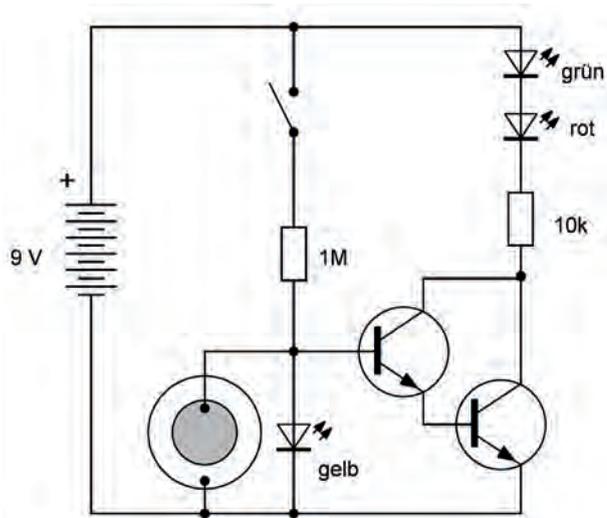
Diese Schaltung mit zwei Transistoren nennt man Darlington-Schaltung. Der durch den ersten Transistor verstärkte Strom wird vom zweiten Transistor noch einmal verstärkt. Insgesamt erreicht man damit eine Stromverstärkung von rund 90.000.



TAG 10

DER NÄHERUNGSSENSOR

Heute im Kalender:
2 LEDs gelb



Im zehnten Fach kommen zwei gelbe LEDs zum Vorschein. Sie eignen sich ebenfalls als Fotodioden. Aber der eigentliche Versuch dreht sich um den Piezowandler, der hier als Infrarotsensor eingesetzt werden soll. Wieder sorgen zwei Transistoren für die nötige Verstärkung. Die gelbe LED liefert einen sehr kleinen Basisstrom für den Verstärker. Man wartet zunächst, bis sich eine mittlere Helligkeit

der beiden LEDs einstellt. Dann hält man eine Hand in 2 cm Abstand zum Sensor. Die Helligkeit wird sich dadurch ändern. Die Wärmestrahlung der Hand wird erkannt.

Der Piezowandler ist zugleich auch ein Kondensator, deshalb dauert es einige Zeit, bis sich die richtige Spannung einstellt, bei der die Transistoren gerade anfangen zu leiten. Damit

es nicht zu lange dauert, gibt es den Tastschalter und 1 M Ω Widerstand. Ein kurzer Druck auf den Taster lädt den Wandler so weit auf, dass die LEDs leuchten. Eventuell muss man dann noch etwas warten, bis die mittlere Helligkeit gering genug ist. Die Empfindlichkeit des Wärmesensors steigt nämlich deutlich an, wenn nur sehr wenig Strom fließt. Deshalb kann man den besten Arbeitspunkt auch durch Ändern der Umgebungshelligkeit einstellen.

Die Wirkung des Sensors kann noch verbessert werden, indem man die Silberfläche des Wandlers mit einem weichen Bleistift schwärzt. Die Wärmestrahlung der Hand wird an dieser Fläche absorbiert und führt zu einer geringen Temperaturänderung des Sensors, der daraufhin eine kleine Spannung erzeugt. Den Rest erledigen die Transistoren.

TAG 11

LICHTEMPFLINDLICHER

SCHALTER

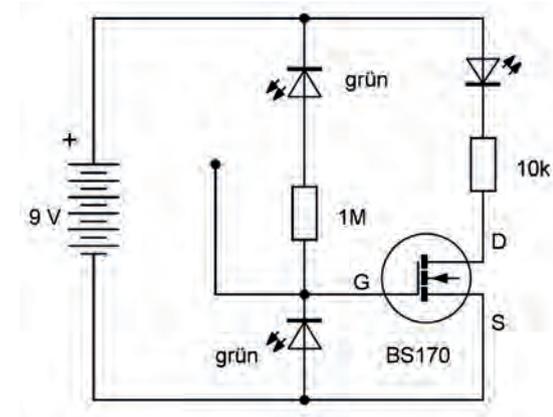
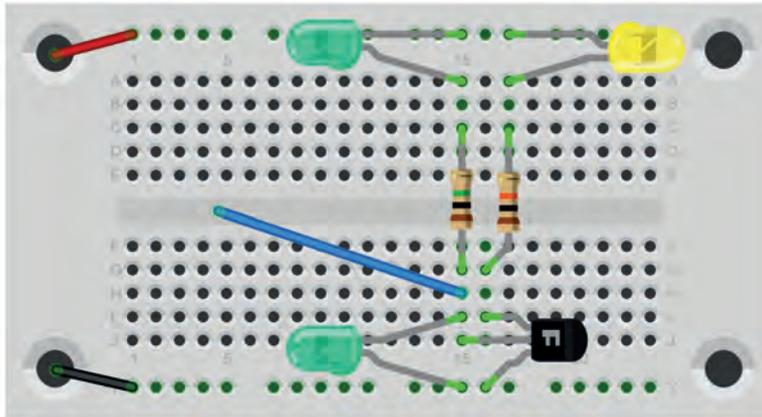
*Heute im Kalender:
2 Transistoren BS107*

Hinter dem elften Türchen finden sich zwei ganz andere Transistoren: Transistoren vom Typ BS170. Es sind Feldeffekttransistoren (FETs), genauer MOSFETs (Metall Oxide Semiconductor, Metall-Oxid-Halbleiter). Ihre Anschlüsse heißen Source (S), Gate (G) und Drain (D) und sind mit den Anschlüssen E, B und C eines NPN-Transistors

vergleichbar. Der entscheidende Unterschied besteht darin, dass ein NPN-Transistor durch einen Strom gesteuert wird, der MOSFET dagegen durch eine Spannung.

In diesem Versuch sind zwei LEDs als Fotodioden in Sperrrichtung an das Gate angeschlossen. Wenn man nur die obere von beiden beleuchtet, wird der Transistor leitend und schaltet die gelbe LED an. Wenn nur die untere beleuchtet wird, geht die gelbe LED aus. Die Schaltung arbeitet also wie ein Schalter, der durch Licht und Schatten gesteuert wird.





Zusätzlich ist ein Kabel wie eine Antenne am Gate angeschlossen. Wenn sich ein Mensch elektrisch aufgeladen hat, bleibt dies normalerweise unbemerkt. Führt er aber seine Hand in die Nähe des Drahts, ändert sich die Helligkeit der gelben LED. Man kann auch die Hand in einem Abstand von 2 cm dort halten und einen Fuß vom Boden heben. Meist ändert sich dann ebenfalls die Spannung. Oder man nimmt die ganze Schaltung in die Hand und geht damit durch den Raum. Je nach Bodenbelag kann man dann ein deutliches Blinken im Takt der Schritte beobachten.

Der MOSFET besteht aus einem N-leitenden Halbleiter, der mit einer isolierenden Oxidschicht bedeckt ist. Darauf gibt es eine Metallschicht, das Gate. Der Aufbau erinnert an einen Kondensator, und tatsächlich kann sich das Gate aufladen und seine Ladung lange behalten. Eine Spannung zwischen Gate und Source führt zu einem elektrischen Feld, das den Stromfluss durch den Halbleiter steuert. Beim BS170 beginnt Strom zu fließen, wenn die Gate-Source-Spannung rund 2 V übersteigt. Man muss aber sehr aufpassen, dass

keine zu hohe Spannung angelegt wird, denn damit würde der Transistor zerstört. Die beiden LEDs schützen das Gate vor hoher Spannung, wenn jemand stark aufgeladen ist und den Draht berührt. In ihrer Funktion als Fotodioden laden sie das Gate langsam auf oder entladen es, je nachdem, welche LED stärker beleuchtet wird.



TAG 12

EIN INFORMATIONSSPEICHER

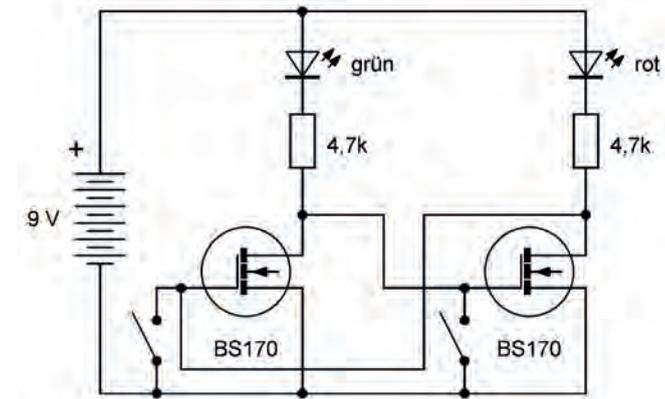
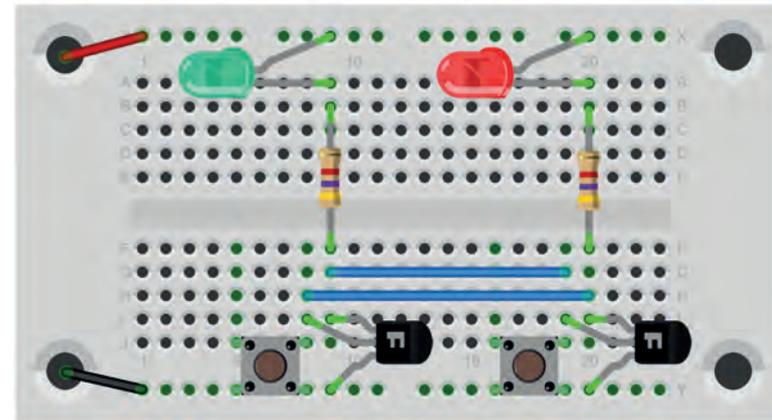
SPEICHER

Heute im Kalender:

2 Widerstände 4,7 k Ω

Auch die Widerstände können etwas Abwechslung gebrauchen, und deshalb gibt es nun zwei Widerstände mit 4,7 k Ω (Gelb, Violett, Rot). Diesmal werden zwei BS170 eingesetzt, die sich gegenseitig ein- und ausschalten. Immer nur ein Transistor leitet, aber mit den Tastern kann man den Zustand umschalten. Rot oder Grün, ja oder nein, 1 oder 0 – der jeweilige Zustand bleibt beliebig lange gespeichert.

Diese Schaltung nennt man auch Kipp-schaltung oder Flipflop, weil der Zustand immer zu einer Seite kippt. In diesem Fall ist es ein RS-Flipflop, RS steht dabei für die beiden Zustände Reset und Set. Die Schaltung zeigt, wie ein Datenspeicher in einem Computer aufgebaut ist. Allerdings wird hier nur ein Bit gespeichert. Größere Speicher enthalten sehr viele MOSFETs.



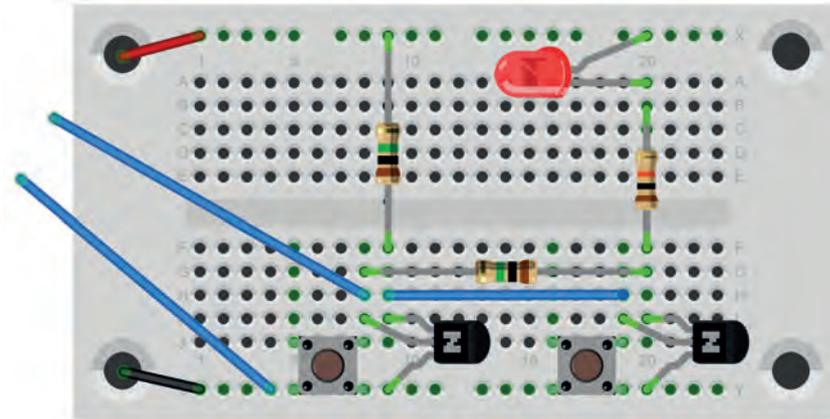
TAG 13

EIN/AUS-TASTER

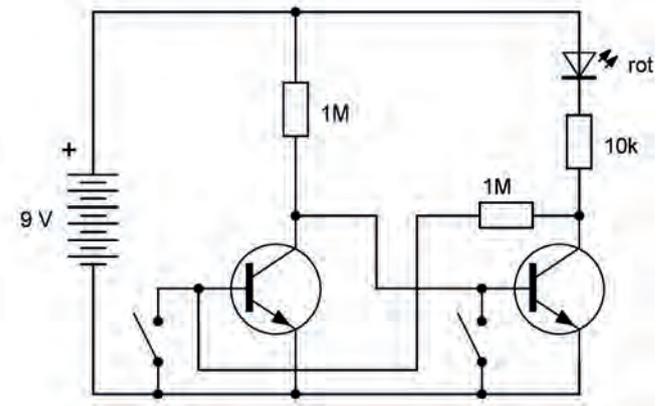
Heute im Kalender:

2 Kabel

Hinter Türchen Nummer 13 kommen zwei weitere Kabel zum Vorschein. Die Schaltung des heutigen Tages ist wieder ein RS-Flipflop, aber diesmal ist sie mit bipolaren Transistoren aufgebaut. Die rote LED ist entweder an oder aus. Der Zustand kann mit den beiden Tastern verändert werden. Zusätzlich sind zwei Kabel angeschlossen, mit denen man ebenfalls den An-Zustand erzwingen kann. Eine solche Schaltung kann wie ein Feuermelder mit mehreren Alarmknöpfen verwendet werden. Jeder kann einen Alarm auslösen, aber nur der Feuerwehrmann kann ihn wieder löschen, denn nur er hat den Schlüssel zum Schaltschrank und kann dann auf den richtigen Taster drücken.



Wer genau hinsieht, erkennt im Aus-Zustand ein schwaches Restleuchten. Dann fließt nämlich immer noch der geringe Basisstrom des linken Transistors durch die LED. Bei der vergleichbaren Schaltung mit Feldeffekttransistoren war die LED dagegen vollständig aus. Hier sieht man wieder den entscheidenden Unterschied: Bipolare Transistoren werden durch einen Strom gesteuert, unipolare Transistoren dagegen durch eine Spannung.



TAG 14

TIPP-UMSCHALTER

Heute im Kalender:

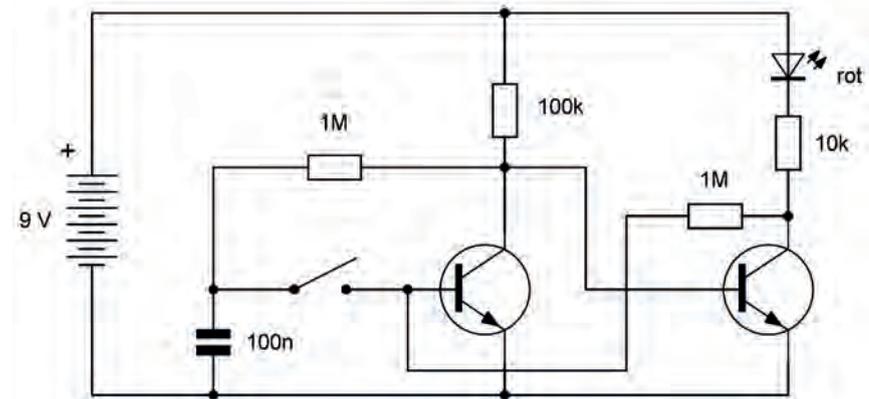
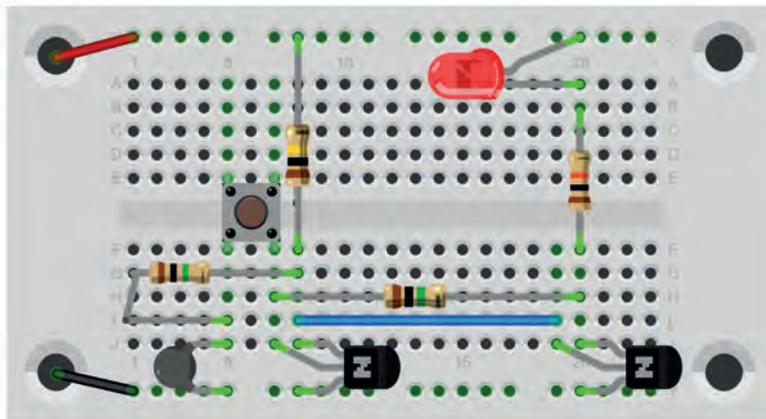
2 Widerstände 100 k Ω



Heute wird die Sammlung der Bauteile um zwei Widerstände mit 100 k Ω (Braun, Schwarz, Gelb) erweitert. Die Schaltung des Tages ist auch wieder ein Ein/Aus-Schalter, aber diesmal mit nur einem Tastschalter. Jede Betätigung ändert den Zustand: an, aus, an, aus und immer so weiter.

Man erkennt die Ähnlichkeit mit dem RS-Flipflop. Aber diesmal gibt es einen Kondensator, der sich mit geringer Verzögerung

auf die Spannung am Kollektor des linken Transistors auflädt. Wenn die Basisspannung gerade hoch ist, ist die Kollektorspannung gerade klein, und umgekehrt. Deshalb wird beim Schließen des Kontakts eine Änderung des Zustands erzwungen. Eine solche Schaltung nennt man Toggle-Flipflop. Sie ist zugleich ein Frequenzteiler. Wenn man zehnmal auf den Taster drückt, geht die LED nur fünfmal an.

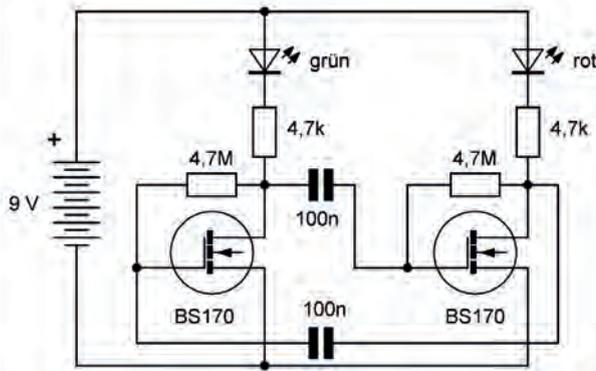


TAG 15

DER ROT-GRÜN-WECHSELBLINKER

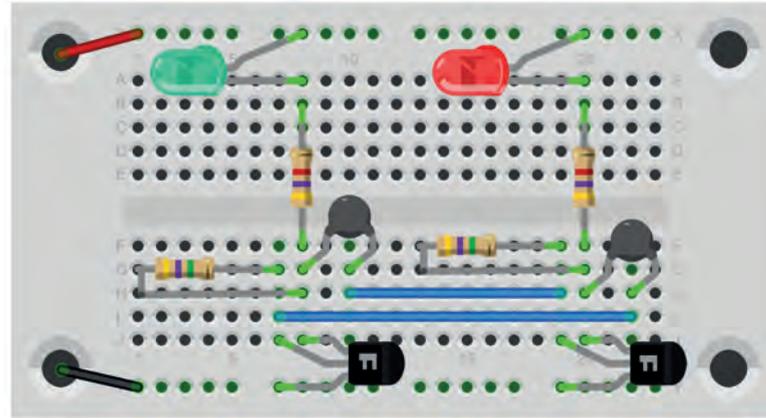
Heute im Kalender:

2 Widerstände $4,7\text{ M}\Omega$



In Fach Nummer 15 liegen die beiden mit $4,7\text{ M}\Omega$ (Gelb, Violett, Grün) größten Widerstände dieses Kalenders. Sie werden für einen Wechselblinker mit zwei Feldeffekttransistoren BS170 gebraucht. Die beiden LEDs wechseln sich ständig ab: Rot, Grün, Rot, Grün ...

Diese Schaltung nennt man astabiles Flipflop. Sie kennt zwar auch zwei stabile Zustände, aber nur für die relativ kurze Zeit, in der sich die Kondensatoren auf den neuen Zustand



umladen. Die Widerstände mit $4,7\text{ M}\Omega$ wurden so groß gewählt, damit die relativ kleinen Kondensatoren von 100 nF langsam genug umgeladen werden.

Bei dieser Schaltung hat man übrigens den seltenen Fall, dass die Feldeffekttransistoren ohne weitere Änderungen durch bipolare Transistoren ersetzt werden können. Der Wechselblinker funktioniert dann immer noch, allerdings mit wesentlich höherer Blinkfrequenz.

TAG 16

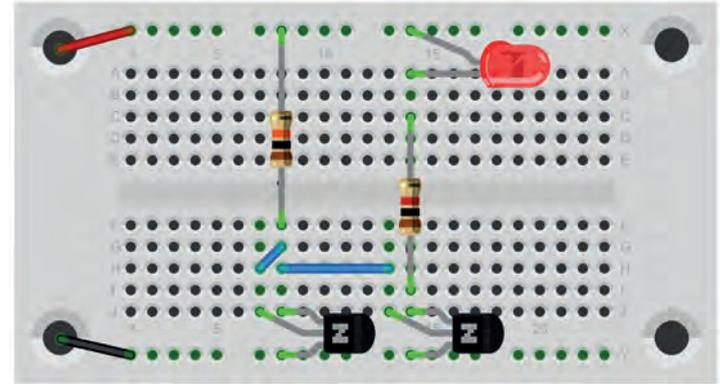
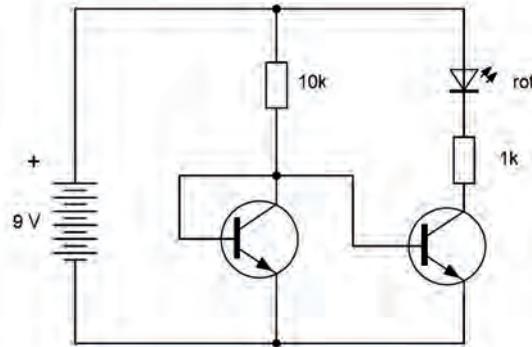
TEMPERATUR-

SENSOREN

Heute im Kalender:

2 Widerstände 1 k Ω

Heute kommen zwei Widerstände mit 1 k Ω (Braun, Schwarz, Rot) zum Vorschein. Mit einem Vorwiderstand von nur 1 k Ω könnte man erwarten, dass die LED besonders hell leuchtet. Tatsächlich aber wird die Helligkeit durch den linken Widerstand von 10 k Ω bestimmt. Und der LED-Strom wird außerdem von den Temperaturunterschieden zwischen beiden Transistoren beeinflusst. Das lässt sich leicht mit einer Berührung testen, weil die Fingertemperatur meist deutlich über der Raumtemperatur liegt. Fasst man den linken Transistor an, wird die LED dunkler, fasst man den



rechten Transistor an, wird sie heller. Noch deutlicher wird der Unterschied, wenn man einen Eiswürfel oder einen erhitzten Löffel an die Transistoren hält.

In dieser Schaltung sind die Basis und der Kollektor des linken Transistors direkt mit der Basis des rechten Transistors verbunden. Das bedeutet gleiche Basisspannung, und bei genau gleichen Transistoren auch gleicher Kollektorstrom. Der Kollektorstrom des linken Transistors wird durch seinen Kollektorwiderstand von 10 k Ω bestimmt. Der gleiche Strom erscheint dann „gespiegelt“ am rechten Transistor. Man bezeichnet diese Schaltung daher auch als Stromspiegel.

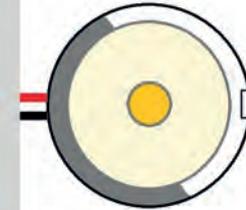
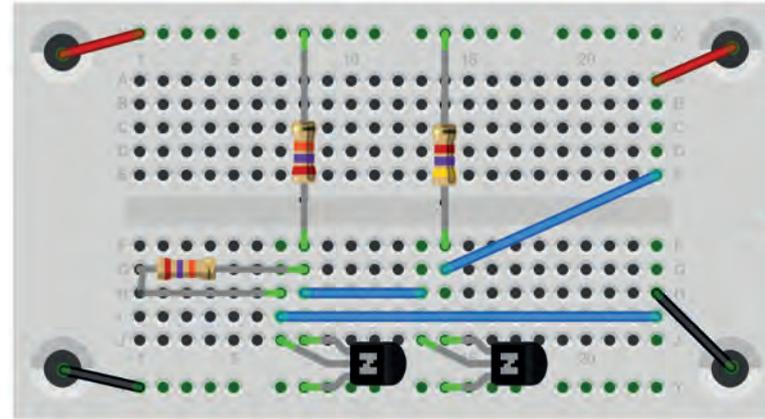
Bipolare Transistoren sind aber auch temperaturabhängig. Bei gleicher Basisspannung steigt der Kollektorstrom mit der Temperatur an. Umgekehrt sinkt die Basisspannung, wenn der linke Transistor erwärmt wird, weil sein Kollektorstrom durch den Widerstand von 10 k Ω begrenzt wird. Durch den rechten Kollektor und die LEDs kann dagegen ein wesentlich größerer Strom fließen. Erst bei maximaler Helligkeit wird der LED-Strom durch den Widerstand von 1 k Ω begrenzt.



TAG 17

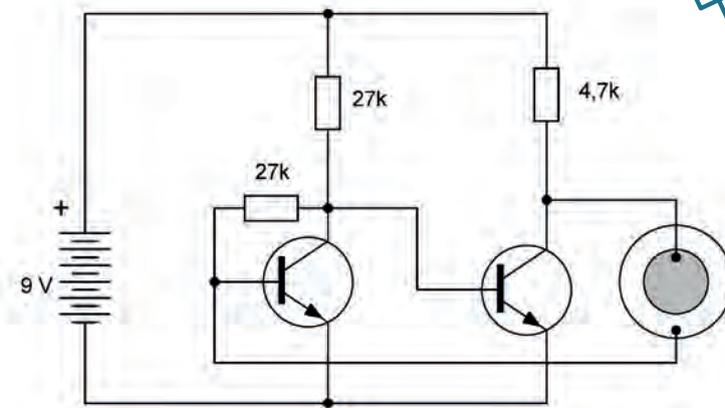
TONSIGNALE

Heute im Kalender:
2 Widerstände 27 kΩ



Für die Schaltung dieses Tages liegen zwei Widerstände mit 27 kΩ (Rot, Violett, Orange) bereit. Das Ergebnis ist ein Tongenerator, dessen Töne sich beeinflussen lassen. Wenn man den Summer mit seinem Schalloch mehr oder weniger nah an eine harte Oberfläche hält, mit dem Finger berührt oder das Schalloch zuhält, ändert sich die Frequenz.

Die Schaltung mit zwei bipolaren Transistoren bildet ein astabiles Flipflop. Der Piezolausprecher ist zugleich der frequenzbestimmende Kondensator. Außerdem wird die Frequenz durch Eigenresonanzen des Lautsprechers beeinflusst, die man durch Reflexionen an einer harten Oberfläche oder durch Berührungen verändern kann.



TAG 18

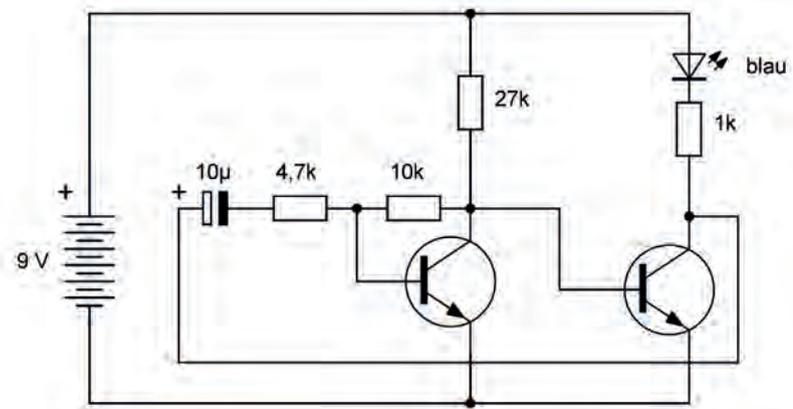
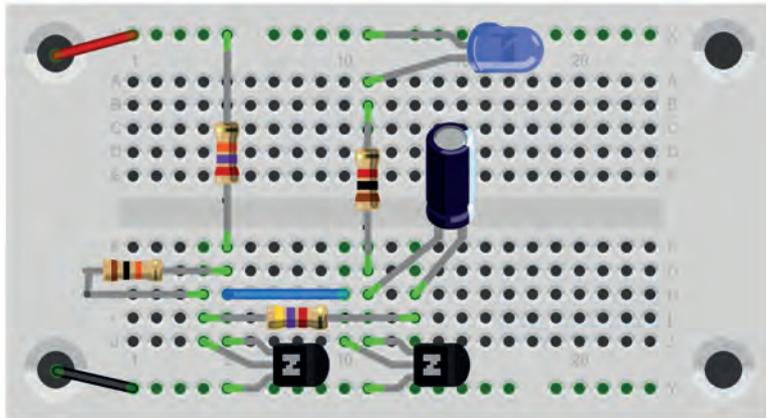
BLAULICHT

Heute im Kalender:
LED blau



Heute kommt eine blaue LED zum Vorschein. Sie soll nun in einem Blinklicht eingesetzt werden. Mit dem Elko von $10\ \mu\text{F}$ und etwas anderen Widerständen ist der bisherige Tongenerator schnell zu einem Blinker umgebaut. Das baue Blinken erinnert an die Feuerwehr im Einsatz. Man sieht es lieber auf der Steckplatine als vor dem eigenen Haus.

In dieser Schaltung wurde ein besonders kleiner Vorwiderstand von $1\ \text{k}\Omega$ eingesetzt, um eine große Helligkeit zu erzielen. Gleichzeitig bedeutet das aber einen größeren Verbrauch. Man kann daher auch Widerstände bis $10\ \text{k}\Omega$ testen, damit die Batterie länger hält. Und auch der Kondensator kann verändert werden. Mit einem Elko von $100\ \mu\text{F}$ wird das Blinken zehnmal langsamer.



TAG 19

EIN AKUSTISCHER TEMPERATURSENSOR

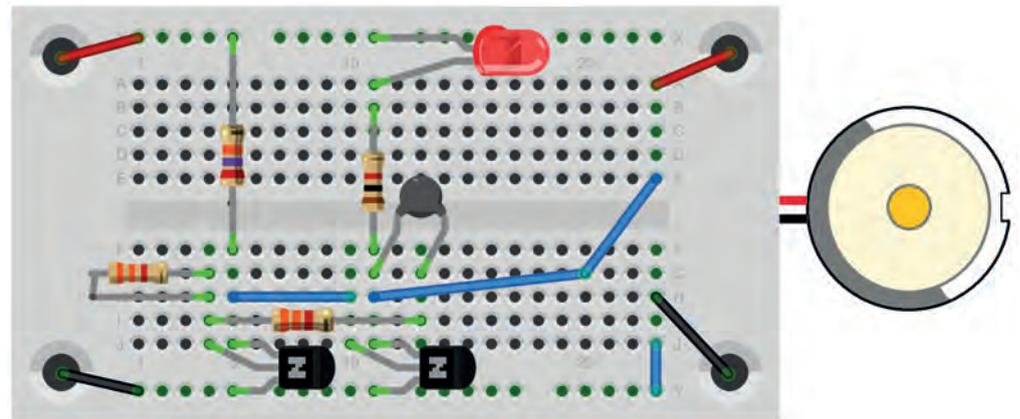
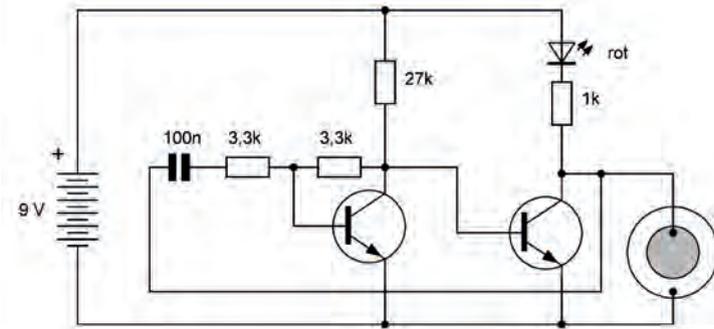
Heute im Kalender:

2 Widerstände 3,3 k Ω



Zwei 3,3-k Ω -Widerstände (Orange, Orange, Rot) werden für den heutigen Versuch benötigt. Die Schaltung ist ähnlich aufgebaut wie die des Blinkers aus dem vorherigen Versuch. Durch den kleineren Kondensator wird daraus ein Tongenerator. Man hört einen tiefen Ton. Wenn man aber den Kondensator berührt, wird der Ton höher. Mit diesem Versuch lässt sich schnell ermitteln, wer die wärmsten Finger hat.

Die LED scheint gleichmäßig zu leuchten, aber tatsächlich wird sie etwa 300-mal pro Sekunde ein- und ausgeschaltet. Wenn man den Blick schnell über den Versuch schweifen lässt oder den ganzen Aufbau bewegt, sieht man, dass sich das Leuchten in einzelne Striche auflöst.



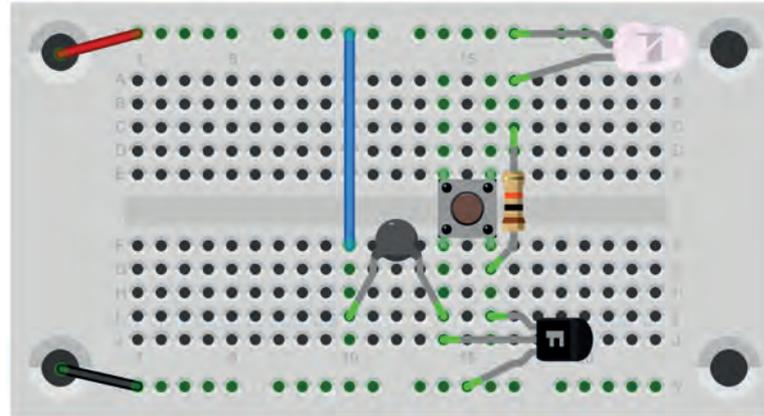
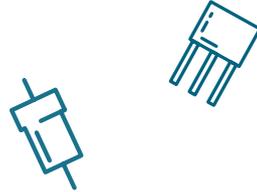
Die Frequenz des Generators lässt sich ändern, indem man die Temperatur des Kondensators ändert. Bei einer Berührung mit dem Finger steigt sei-

ne Temperatur, wobei die Kapazität etwas kleiner wird. Deshalb steigt die Frequenz hörbar an.

TAG 20

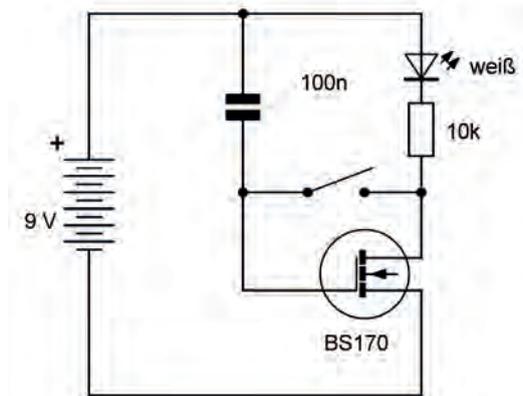
KALTE FINGER?

Heute im Kalender:
LED weiß



Eine weiße LED hatte bisher noch gefehlt. Sie soll nun das Ergebnis eines einfachen Temperaturtests anzeigen. Der eigentliche Temperatursensor ist wieder der keramische Kondensator. Zuerst drückt man kurz auf den Taster und erhält eine mittlere Helligkeit. Wenn man dann den Kondensator berührt, wird das Licht meist schwächer. Das zeigt an, dass die Fingertemperatur über der Raumtemperatur liegt. Kommt dagegen jemand aus der winterlichen Kälte und hat vielleicht sogar gerade einen Schneemann gebaut, wird die LED heller.

Der Kondensator verringert seine Kapazität mit steigender Temperatur. Nachdem er mit dem Tastendruck auf eine mittlere Spannung von rund 7 V geladen wurde, steigt diese Spannung mit der Temperatur an, weil kein Strom fließt und damit die elektrische Ladung konstant bleibt. Gleichzeitig sinkt dabei die Spannung zwischen Gate und Source, so dass der LED-Strom geringer wird. Umgekehrt führt eine Abkühlung zu größerer Kapazität, kleinerer Kondensatorspannung und mehr LED-Strom. Dieser Versuch zeigt die Stärken des Feldeffekttransistors, der keinen Steuerstrom benötigt.



TAG 21

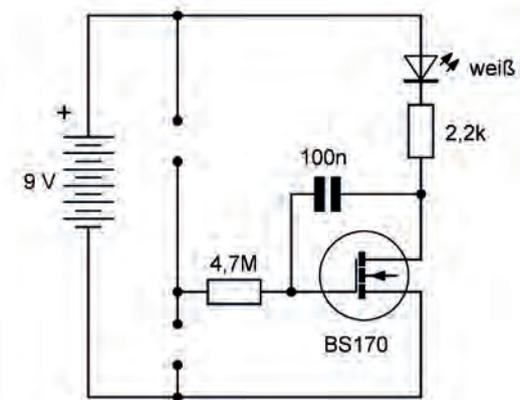
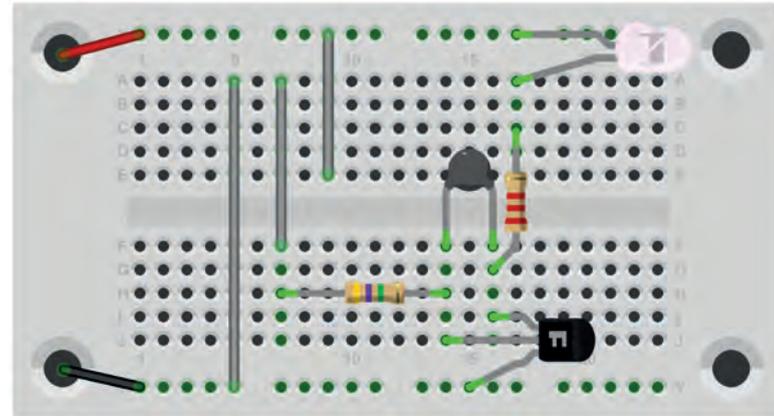
DER TOUCH-DIMMER

Heute im Kalender:

2 Widerstände 2,2 k Ω

Heute kommen zwei Widerstände mit 2,2 k Ω (Rot, Rot, Rot) in die Sammlung. Weniger Widerstand bedeutet mehr Strom und mehr Helligkeit der LED. Umso wichtiger wird es, dass man die Helligkeit auch reduzieren kann. Für diesen Zweck wurde der Dimmer erfunden. Der Touch-Dimmer wird durch die Berührung von Kontakten gesteuert, die aus blanken Drähten gebildet werden. Dazu muss man die Isolierung des Schaltdrahts abziehen. Hält man den Finger auf den mittleren und den rechten Draht, wird es heller. Mit dem mittleren und dem linken Kontakt wird die LED dunkler gesteuert.

Wenn der obere Kontakt berührt wird, steigt die Spannung am Gate des BS170, und es fließt mehr Strom durch die LED. Gleichzeitig sinkt aber die Spannung am Drain, sodass der Kondensator zwischen Gate und Drain der Änderung entgegenwirkt. Die Veränderung der Helligkeit wird dadurch verlangsamt. Zugleich sorgt der Kondensator dafür, dass die eingestellte Helligkeit sehr lange unverändert erhalten bleibt.



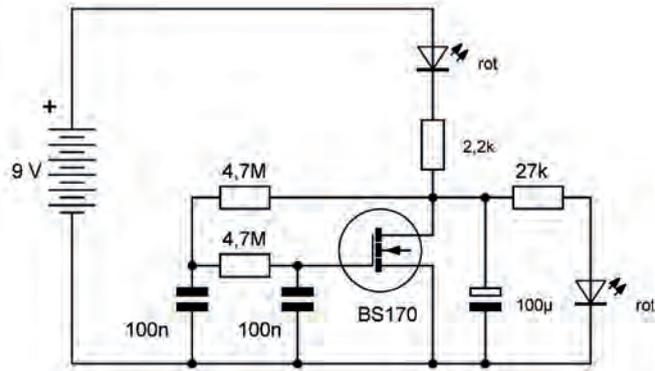
TAG 22

DAS ROTE HERZ

Heute im Kalender:

LED rot

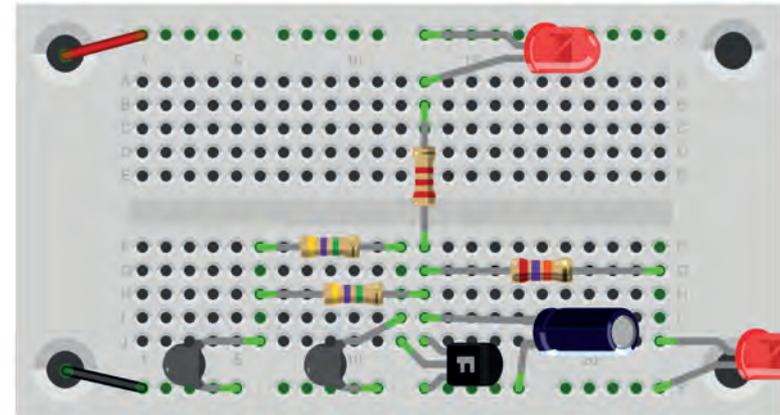
Die rote LED aus Fach Nummer 22 soll heute ein schlagendes Herz darstellen. Dazu braucht man einen weichen Blinker, genauer gesagt, einen Sinusgenerator. Ein einzelner FET kann diese Aufgabe erfüllen, wenn er von ein paar Kondensatoren und Widerständen unterstützt



wird. Die zweite rote LED blinkt im Gegenteil und soll die Funktion der rechten Herzkammer darstellen. Man müsste einmal einen Kardiologen fragen, ob das realistisch ist.

Wenn alles richtig aufgebaut wurde, schlägt das Herz recht schnell und kräftig. Das liegt an der Aufregung kurz vor Weihnachten. Wenn man aber den Widerstand von 2,2 kΩ gegen einen mit 10 kΩ austauscht, wird der Herzschlag langsamer und schwächer, so wie bei einem Bären im Winterschlaf. Ganz klar, Bären feiern kein Weihnachten.

Diese Schaltung ist ein Phasenschieberoszillator. Bisherige Oszillatorschaltungen benötigten zwei Transistoren, weil jeder Transistor die Phase umkehrt und deshalb zwei Umkehrungen für die richtige Phase der Rückkopplung sorgen. Bei einem Phasenschieberoszillator sorgen drei Kondensatoren und zugehörige Widerstände für eine Phasendrehung von zusammen 180 Grad, also für die erforderliche Phasenumkehr.



TAG 23

FARBWECHSEL-

LED

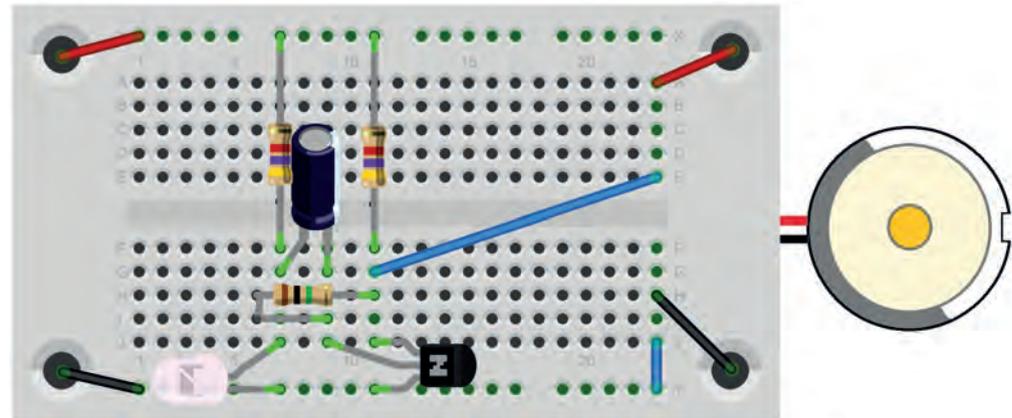
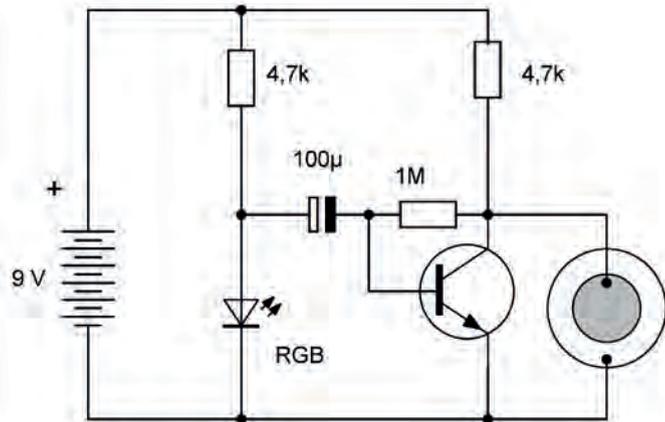


Heute im Kalender:
Farbwechsel-LED

Heute erscheint eine ganz besondere LED, die automatisch ihre Farbe wechselt. Die Farbwechsel-LED im transparenten Gehäuse enthält tatsächlich drei LEDs in den Farben Rot, Grün und Blau. Wenn man (Vorsicht, Augenschutz, nur im ausgeschalteten Zustand!) genau hinsieht, kann man die drei Kristalle erkennen. Außerdem sieht man einen LED-Controller und die feinen Verbindungs-

drähte. Ansonsten wird diese LED wie jede andere mit einem Vorwiderstand angeschlossen. Man sieht dann langsame Farbwechsel mit weichen Übergängen.

Zusätzlich hat die Schaltung einen Transistorverstärker und einen Piezolausprecher. Aus dem Lautsprecher hört man immer dann Töne, wenn gerade von einer Farbe auf eine



andere überblendet wird und dabei Mischfarben entstehen. Die Töne geben einen Hinweis darauf, wie der Controller arbeitet. Anders als die analogen Schaltungen im letzten Versuch schaltet der Controller die einzelnen LEDs in schneller Folge ein und wieder aus. Die jeweilige Impulslänge bestimmt die Helligkeit. Dieses Verfahren nennt man Pulsweitenmodulation (PWM), und es ist in der digitalen Elektronik stark verbreitet. Die Frequenz des PWM-Signals liegt im Bereich von um 500 Hz, ist also gut hörbar. Das Auge dagegen ist zu träge und sieht nur eine mittlere Helligkeit.

TAG 24

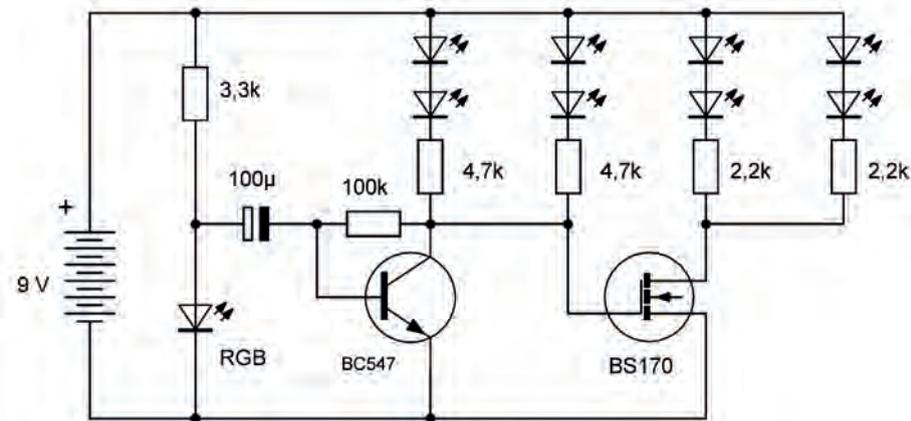
WEIHNACHTSLICHT

Heute im Kalender:

1 LED pink

1 LED orange

Am letzten Tag des Advents kommen noch zwei LEDs mit besonderen Farben zum Vorschein, Orange und Pink. Ziel ist es, fast alle LEDs zu einem fröhlichen Leuchten und Flackern zu bringen. An erster Stelle steht die automatische Farbwechsel-LED, die den Takt vorgibt.



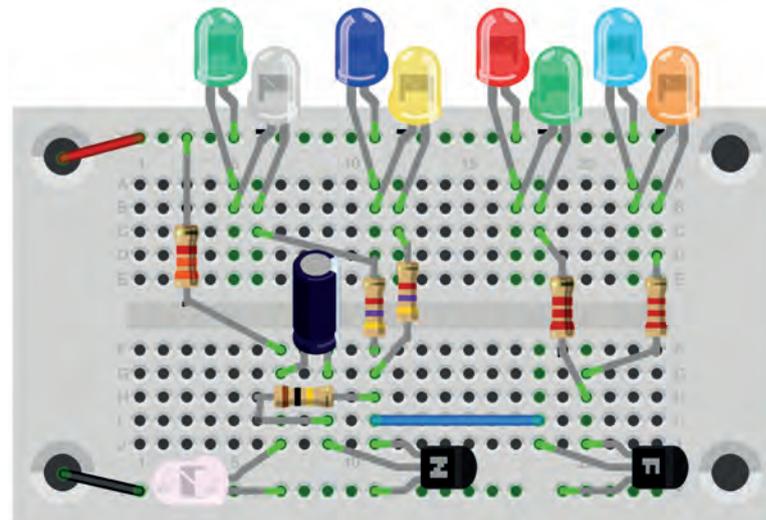
Alle anderen LEDs können ganz nach Belieben eingesetzt werden. Und man kann die Widerstände mit 2,2 k Ω , 3,3 k Ω und 4,7 k Ω austauschen, um einige LEDs etwas heller und andere etwas schwächer zu machen.

Die LEDs lassen sich wie ein Strauß Blumen kunstvoll arrangieren, sodass ihre Farben gut harmonisieren. Wenn das Ergebnis überzeugt, darf die ganze Steckplatine an den Weihnachtsbaum gehängt werden oder durch das Fenster die dunkle Nacht erleuchten.

Die Farbwechsel-LED erzeugt kleine Spannungsschwankungen, die der NPN-Transistor verstärkt. Die Impulse steuern die Helligkeit der LEDs im Kollektorkreis. Immer wenn der bipolare Transistor gerade nicht leitet, steigt seine Kollektorspannung an. Damit wird der FET leitend. Die rechte Gruppe der LEDs wird daher im Gegentakt zur linken gesteuert.

Wer die Versuche dieses Kalenders aufmerksam durchgeführt hat, kennt nun die Funktion bipolarer und unipolarer Transistoren. Damit ist es nicht mehr schwer, Schaltungen zu verändern und für andere Einsatzzwecke anzupassen.

Und auch ganz neue Schaltungen können entwickelt werden. Genügend Bauteile sind vorhanden, der Kreativität sind keine Grenzen gesetzt!



IMPRESSUM

© 2021 Franzis Verlag GmbH,
Richard-Reitzner-Allee 2,
85540 Haar bei München • www.franzis.de

Autor: Burkhard Kainka
Lektorat: Sibylle Feldmann
Art & Design Cover: Thomas Preischl
Layout & Satz: Nelli Ferderer

GTIN 9783645674005

2021/01

BILDNACHWEIS

Shutterstock.com: 2, 3, 6 oben, 7 rechts,
13, 17, 23, 26 oben, 32 rechts., 47 rechts.

Zeichnungen erstellt mit <http://fritzing.org/>.

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

Die meisten Produktbezeichnungen 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.

Alle in diesem Buch vorgestellten Schaltungen wurden mit der größtmöglichen Sorgfalt entwickelt, geprüft und getestet. Trotzdem können Fehler im Buch 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.

CE 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 Produkts 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 der Anleitung und diesem Hinweis 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.

