

CE

CONRAD

Vorwort

Wie in den letzten Jahren gibt es auch jetzt wieder einen Conrad-Elektronik-Kalender mit 24 Experimenten für den 1. bis 24. Dezember. Das Thema ist diesmal die digitale Elektronik. Es hört sich vielleicht kompliziert an, ist aber ganz einfach, wenn man die vorgestellten Versuche mit dem CMOS-Baustein 4093 durchführt. Dieses IC enthält gleich vier einzeln einsetzbare digitale Schaltungen, sogenannte NAND-Gatter mit Schmitt-Trigger-Eingängen. Diese doppelte Funktionalität ermöglicht ganz unterschiedliche und sehr vielseitige Anwendungen, die nicht nur lehrreich sind, sondern auch Spaß machen. Am Ende steht dann eine Schaltung, die als Darstellung funkender Sterne an den Weihnachtsbaum gehängt werden kann.

Es gibt ganz unterschiedliche Arten, den Elektronik-Kalender zu verwenden. Der eine möchte vielleicht einfach nur alles genau nach Plan aufbauen und den Erfolg genießen. Der andere will das, was er tut, auch möglichst genau verstehen. Die Versuchsbeschreibungen sollen beiden gerecht werden. Deshalb wird der eigentliche Versuch jeweils nur ganz einfach beschrieben. Im Anschluss werden die technischen Hintergründe in knapper Form erläutert. So findet man die entscheidenden Stichworte, mit denen man auf die Suche nach noch tieferen Informationen gehen kann. Am meisten Spaß machen die Experimente übrigens, wenn man mit anderen zusammenarbeitet. Eltern und Großeltern können vielleicht wertvolle Erfahrungen weitergeben und das Interesse der Kinder und Jugendlichen wecken.

Mit den vorhandenen Bauteilen lassen sich noch wesentlich mehr Schaltungen bauen, als hier gezeigt werden können. Wer die vorgegebenen Versuche mit Interesse durcharbeitet, findet schnell auch Schaltungsvarianten und ähnliche Anwendungsbereiche. Und auch ganz neue Schaltungen lassen sich entwickeln. Ihrem Erfindungsreichtum sind keine Grenzen gesetzt!

Wir wünschen viel Freude und eine frohe Weihnachtszeit!

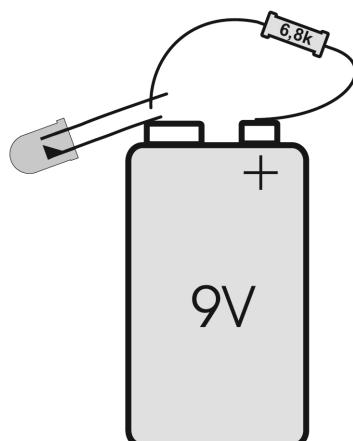
Alle Versuche im Überblick

1 Gelbes LED-Licht	4
2 Verwendung der Steckplatine	4
3 Ein Schaltkontakt	5
4 CMOS-IC schaltet LED	5
5 Berührungssensor	6
6 UND-Schaltung	7
7 UND-Nicht	8
8 Sensor-Umschalter	8
9 A oder B	9
10 Entweder ODER	10
11 Blinklicht	10
12 Wechselblinker	11
13 Lichtsensor-Umschalter	12
14 Lichtgesteuerter Blinker	12
15 Flackerlicht	13
16 Leitfähigkeitssensor	14
17 LED-Flimmern	14
18 Speicher-Flipflop	15
19 Blitzlichtalarm	16
20 Optisches Flipflop	16
21 Sensor-Umschalter	17
22 Sensor-Zeitschalter	18
23 Frequenzteiler	18
24 Funkelnde Sterne	19



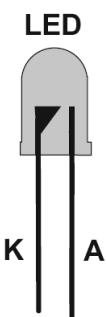
1 Gelbes LED-Licht

1. Tag



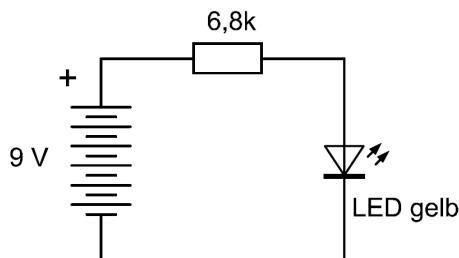
Öffnen Sie Türchen Nr. 1. Hier finden Sie eine gelbe LED und einen Widerstand. Eine LED besitzt zwei unterschiedlich lange Anschlüsse und muss in der korrekten Richtung eingebaut werden.

Der kurze Draht ist der Minuspol (Kathode), der längere Draht ist der Pluspol (Anode). Wenn eine LED eingebaut ist, kann man nur noch schlecht unterscheiden, welcher der kurze Draht ist. Es gibt jedoch noch eine zweite Kennzeichnung. Der breitere untere Rand ist an der Kathodenseite abgeflacht. Außerdem trägt der Kathodendraht einen kleinen Halter, auf dem der LED-Kristall montiert ist.



Der Widerstand ist mit Farbringern versehen. Die Ringe tragen die Farben Blau, Grau, Rot und stehen für $6.800\ \Omega$ (Ohm) bzw. $6,8\ k\Omega$ (Kilohm). Ein zusätzlicher goldener Ring steht für die Toleranzklasse 5 %.

Eine LED darf grundsätzlich nicht direkt mit einer Batterie verbunden werden, es ist immer ein Vorwiderstand nötig, um den Strom zu begrenzen. Der Widerstand von $6,8\ k\Omega$ ist recht groß, sodass der Strom mit rund 1 mA relativ klein ist. Die LED leuchtet nicht mit voller Helligkeit, aber immer noch sehr gut sichtbar. Einige Versuche in diesem Elektronik-Kalender arbeiten mit Vorwiderständen von $6,8\ k\Omega$, weil der geringe Strom Vorteile bei CMOS-Schaltungen bringt. Auch die Batterielebensdauer verlängert sich mit kleinerem LED-Strom. Später werden Sie aber auch kleinere Widerstände finden, die einen größeren Strom ermöglichen.



Für den ersten Versuch benötigen Sie zusätzlich eine 9-V-Blockbatterie. Der Versuch muss besonders vorsichtig ausgeführt werden. Sorgen Sie dafür, dass nie beide LED-Anschlüsse gleichzeitig die Batterieanschlüsse berühren! Es muss immer der Widerstand in Reihe angeschlossen werden. Halten Sie beide Bauteile an die Batterie, wie es die Zeichnung zeigt. Der Stromkreis ist damit geschlossen, die LED leuchtet.

Elektronische Schaltungen stellt man übersichtlich in Schaltbildern dar. Für jedes Bauteil gibt es ein spezielles Symbol. Die LED besteht aus einem Dreieck für die Anode und einem geraden Strich für die Kathode. Das deutet die Stromrichtung an. Zwei kurze Pfeile nach außen stehen für das abgegebene Licht.

Der Widerstand ist als rechteckiges Kästchen gezeichnet. Das Schaltbild zeigt den geschlossenen Stromkreis mit Batterie, Widerstand und LED.



2 Verwendung der Steckplatine

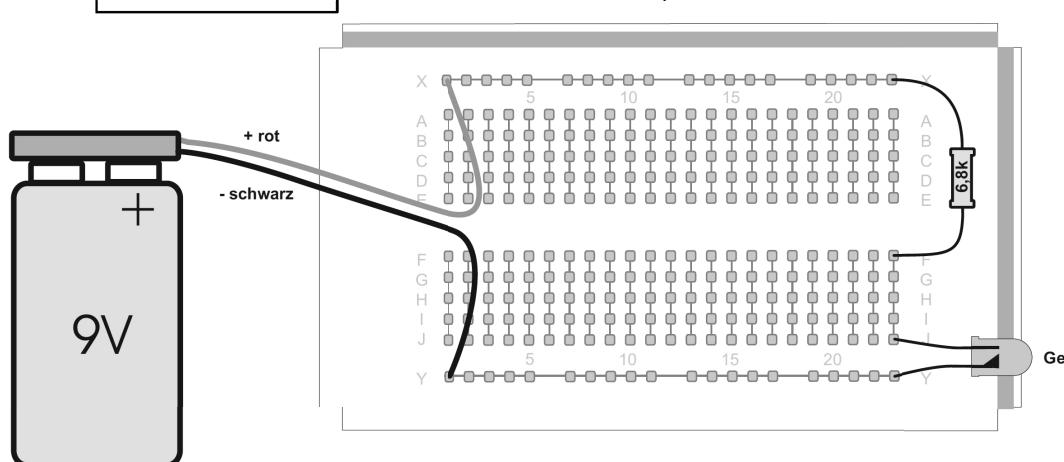
2. Tag

Öffnen Sie das 2. Türchen und nehmen Sie einen Batterieclip und eine Steckplatine aus dem Fach. Damit vereinfacht sich der Aufbau komplizierter Schaltungen. Das Steckfeld mit insgesamt 270 Kontakten im 2,54-mm-Raster sorgt für eine sichere Verbindung der Bauteile.

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 2 horizontalen Kontaktfederstreifen mit 20 Kontakten bestehen. Das Steckfeld verfügt damit über zwei unabhängige Versorgungsschienen.

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

Bauen Sie die Schaltung aus dem ersten Versuch noch einmal auf der Steckplatine auf. Wieder handelt es sich um eine Reihenschaltung mit Widerstand und LED. Das Schaltbild zeigt die gleiche Schaltung wie im ersten Versuch, jedoch mit einer etwas anderen Anordnung der Bauteile, die dem realen Versuch möglichst ähnlich ist.



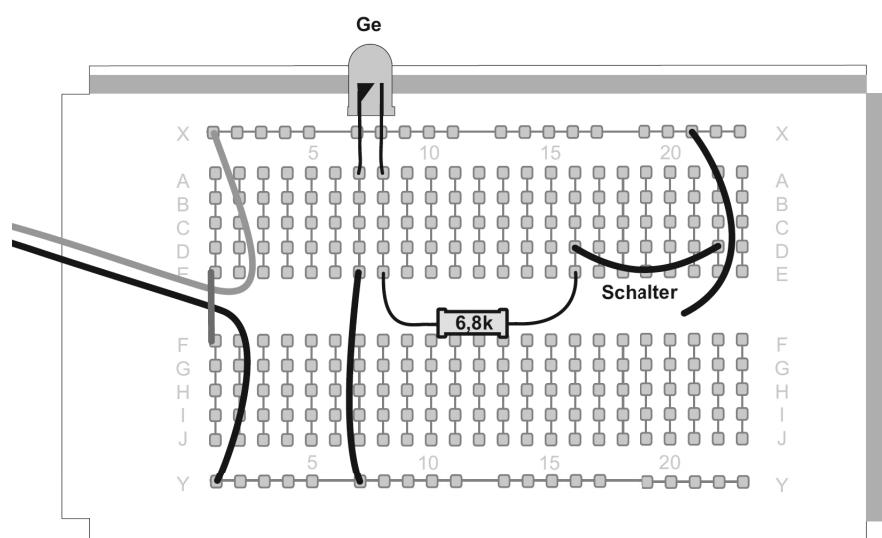
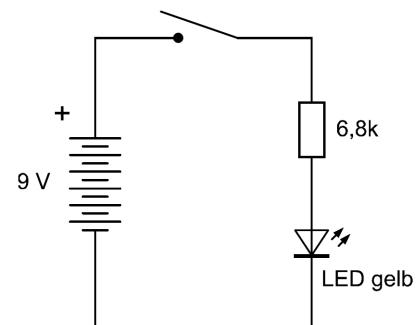
3 Ein Schaltkontakt

Bauen Sie einen Schalter aus blankem Draht. Den passenden Schaltdraht finden Sie hinter dem 3. Türchen. Schneiden Sie mit einer Zange ein passendes Stück von ca. 3 cm Länge ab und entfernen Sie an den Enden etwa 5 mm der Isolierung. Zum Abisolieren der Drahtenden hat es sich als praktisch erwiesen, die Isolierung mit einem scharfen Messer rundherum einzuschneiden. Achtung, dabei sollte der Draht selbst nicht angeritzt werden, weil er sonst an dieser Stelle leicht bricht.

Der Schalter besteht aus zwei blanken Drahtstücken, die sich erst bei einem Fingerdruck berühren. Schneiden Sie dazu Drahtstücke von 2 cm Länge ab und entfernen Sie die Isolierung komplett. Ein zusätzlicher kurzer Draht wird als Zugentlastung eingebaut, um die weichen Anschlussdrähte zu schonen. Der Batterieclip sollte immer verbunden bleiben, damit sich die Anschlüsse nicht übermäßig abnutzen.

Schließen Sie die Batterie an und testen Sie die Schaltung. Im Ruhezustand bei geöffnetem Schalter leuchtet die LED nicht. Drücken Sie jedoch auf den Kontakt, geht die LED an.

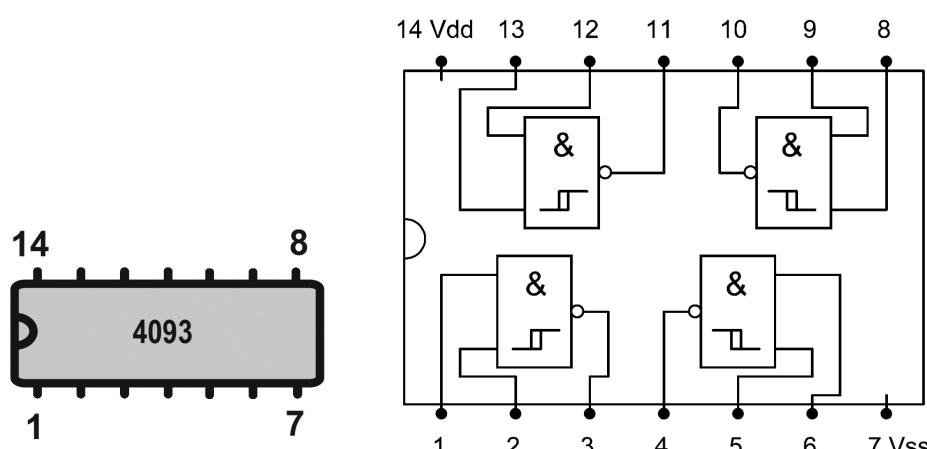
3. Tag



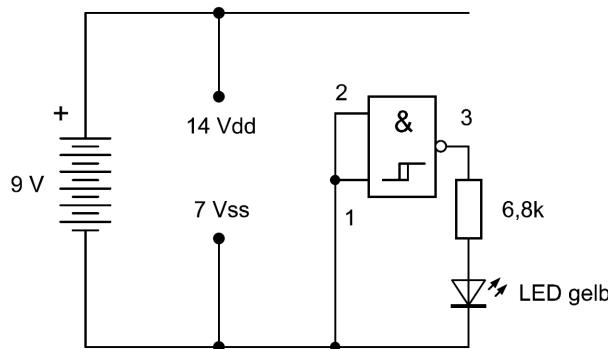
4 CMOS-IC schaltet LED

Öffnen Sie Türchen Nr. 4. Dahinter finden Sie das wichtigste Bauteil dieses Kalenders, den CMOS-IC 4093. Dieses IC enthält insgesamt vier NAND-Schaltungen mit Schmitt-Trigger-Eingängen. Die Funktion einer solchen Schaltung wird in den folgenden Versuchen Stück für Stück erläutert. Der erste Versuch zeigt, wie eine LED an einen der vier Ausgänge angeschlossen wird.

4. Tag



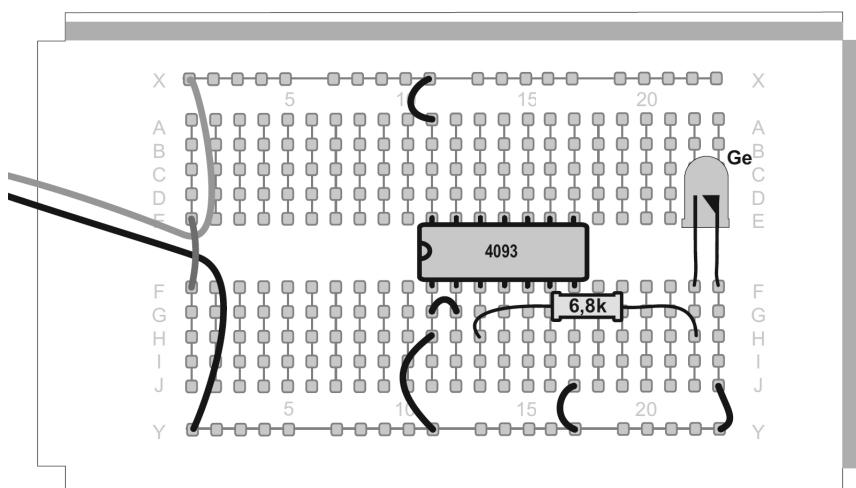
Integrierte Schaltungen müssen mit Vorsicht behandelt werden, weil sie durch hohe Spannungen zerstört werden können. Statische elektrische Aufladungen können zu einer Gefahr werden. Alle CMOS-Typen der 4000er-B-Reihe enthalten jedoch interne Schutzschaltungen, die das Arbeiten sehr sicher machen. Dazu gibt es interne Schutzdioden, die Spannungen über der positiven Betriebsspannung Vdd und unterhalb der negativen Betriebsspannung Vss



begrenzen. Das IC ist damit relativ gut gegen statische Entladungen geschützt. Gleichzeitig führen diese Schutzdioden aber dazu, dass eine falsch gepolte Betriebsspannung einen großen Strom verursacht, der das IC zerstören kann. Achten Sie deshalb genau auf den richtigen Anschluss der Batterie.

Vor dem ersten Einsetzen des ICs müssen die Anschlüsse genau parallel ausgerichtet werden, weil sie nach der Produktion noch etwas zu weit nach außen stehen. Drücken Sie alle Beinchen einer Seite zusammen auf eine harte Tischfläche, um sie passend auszurichten. Setzen Sie das IC dann richtig herum auf die Steckplatine. Achtung, wenn er falsch herum eingesetzt wird, sind die Anschlüsse 7 und 14 vertauscht, sodass die Betriebsspannung verpolt angeschlossen wird und das IC zerstört. Die Anschlüsse 1 und 14 liegen an der linken Seite. Diese ist durch eine Einkerbung gekennzeichnet.

Nach diesen Vorüberlegungen und dem sorgfältigen Einsetzen des ICs kommt der erste Versuch. Hier wird das erste NAND-Gatter an den Anschlüssen 1 bis 3 verwendet. Beide Eingänge werden zusammengeschaltet und an GND (logisch Null) gelegt. Am Ausgang liegt die LED mit ihrem Vorwiderstand. Wurde alles richtig aufgebaut, leuchtet die LED. Das IC hat also die Spannung am Ausgang eingeschaltet (logisch Eins) und damit den Eingangszustand invertiert.

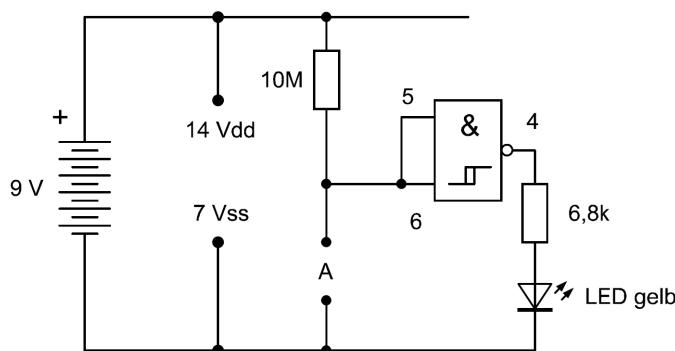


Ändern Sie die Schaltung einmal so, dass Sie den Draht von Pin 1 an GND herausnehmen. Damit hat man einen „offenen Eingang“. Es ist unsicher, ob Eins oder Null anliegt. Das Ergebnis ist zufällig und kann durch Annähern mit dem Finger beeinflusst werden. Bereits in einem Abstand von einigen Zentimetern kann sich der Zustand des Gatters ändern. Verantwortlich dafür sind statische Ladungen und die damit verbundenen elektrischen Felder.

5 Berührungsensor

5. Tag

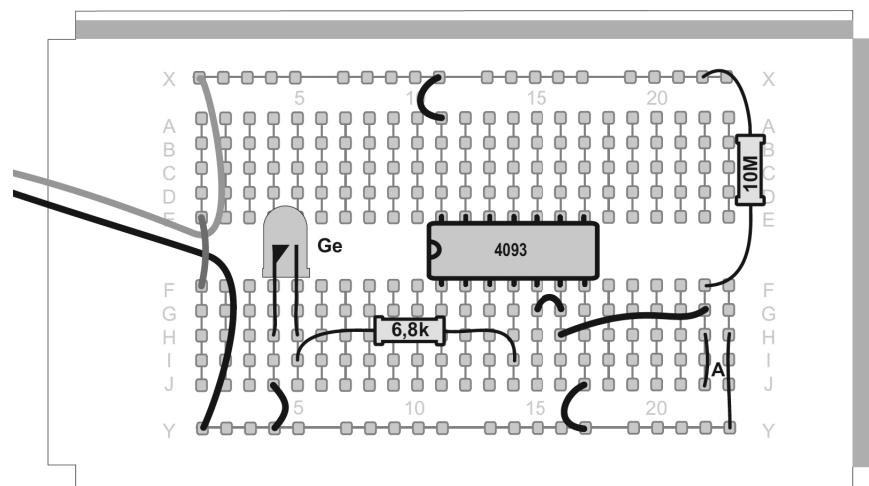
Öffnen Sie das 5. Türchen und nehmen Sie einen Widerstand heraus. Er ist mit 10 Megaohm (10 MΩ, Braun, Schwarz, Blau) besonders hochohmig, was in diesem Fall wichtig ist, weil sein Widerstand deutlich größer sein soll als der Hautwiderstand eines Fingers. So kann man nämlich einen Schalter durch einen Berührungs kontakt ersetzen. Zwei blanke Drahtstücke liegen dicht beieinander, sodass man beide mit dem Finger berühren kann. Der Berührungs kontakt A stellt dann so etwas wie einen Widerstand dar, der je nach Hautfeuchtigkeit zwischen 10 kΩ und 1 MΩ haben kann.



Diesmal wird das zweite NAND-Gatter an den Anschlüssen 4 bis 6 verwendet. Die Schaltung funktioniert aber genauso mit jedem der vier möglichen Gatter. Ohne Berührung zieht der 10-MΩ-Widerstand die Spannung am Eingang des Gatters hoch (Eins). Eine Berührung mit dem Finger zieht die Spannung dagegen herunter (Null). Am Ausgang erscheint dann eine Eins. Die LED leuchtet also, wenn der Kontakt berührt wird.

Wenn man die Funktion der Schaltung genau durchdenkt, taucht zunächst ein scheinbarer Widerspruch auf. Eine Berührung schaltet die LED ein, es ist also nicht unmittelbar einsichtig, dass hier ein Inverter arbeitet. Das Problem klärt sich, wenn man bedenkt, dass die Berührung den Eingang auf Null zieht. Der

Berührungsensor ist also selbst schon als Inverter geschaltet, und der zweite Inverter hebt die Invertierung wieder auf. Berühren erzeugt eine logische Null am Eingang, die durch die Invertierung zu einer logischen Eins wird.



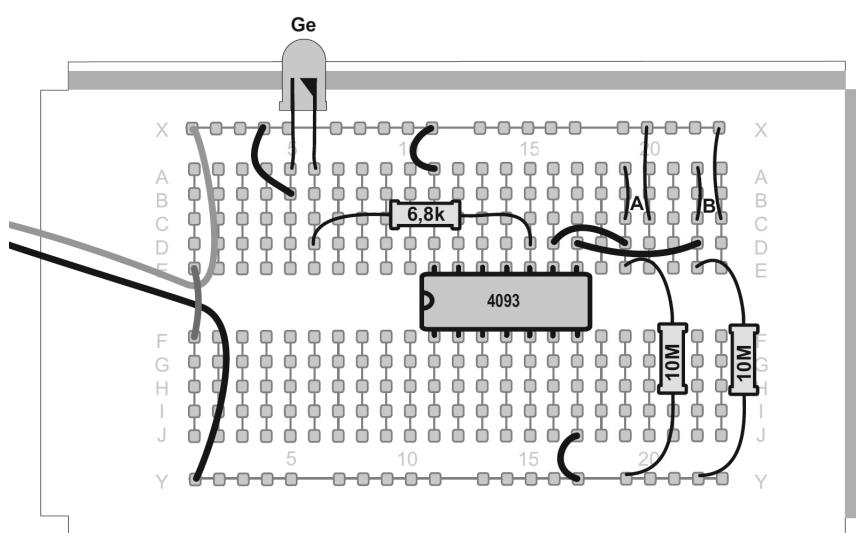
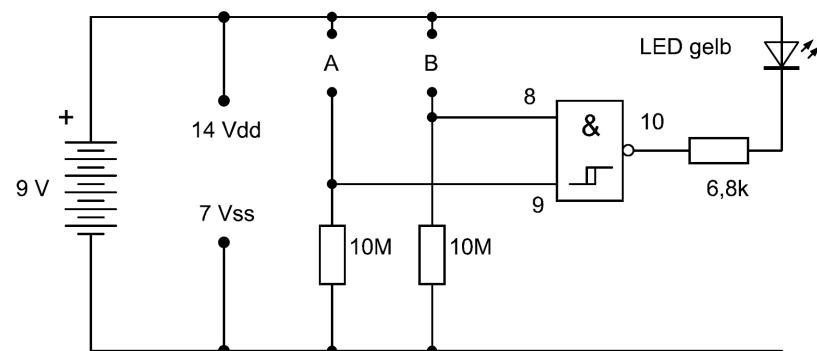
6 UND-Schaltung

Noch ein Widerstand mit $10\text{ M}\Omega$ (Braun, Schwarz, Blau) findet sich hinter dem Türchen Nr. 6. Nun lassen sich zwei Berührungsensoren bauen. Diesmal sind die Sensordrähte an der positiven Versorgungsspannung Vcc angeschlossen, die Widerstände an GND. Bei einer Berührung entsteht also ein Eins-Zustand, während der Ruhezustand Null ist. Anders als beim letzten Experiment sind die beiden Eingänge des Gatters nun nicht mehr zusammengeschaltet, stattdessen erhält jeder Eingang seinen eigenen Eingangszustand.

Wurde alles korrekt aufgebaut, bleibt die LED ohne Berührung der Sensorkontakte zunächst aus. Berühren Sie Kontakt A, bleibt die LED weiterhin aus. Wenn aber A und B gleichzeitig berührt werden, geht die LED an. Eine Berührung von B allein lässt die LED aus. Das Ergebnis ist die logische UND-Funktion: Nur wenn A UND B den Zustand Eins haben, geht die LED an.

Eine solche Schaltung wird manchmal als Sicherheitssystem für Maschinen verwendet, bei denen verhindert werden muss, dass jemand eine Hand im Gefahrenbereich hat. Man muss dann nämlich mit zwei Händen zwei Schalter drücken, um die Maschine zu starten.

6. Tag

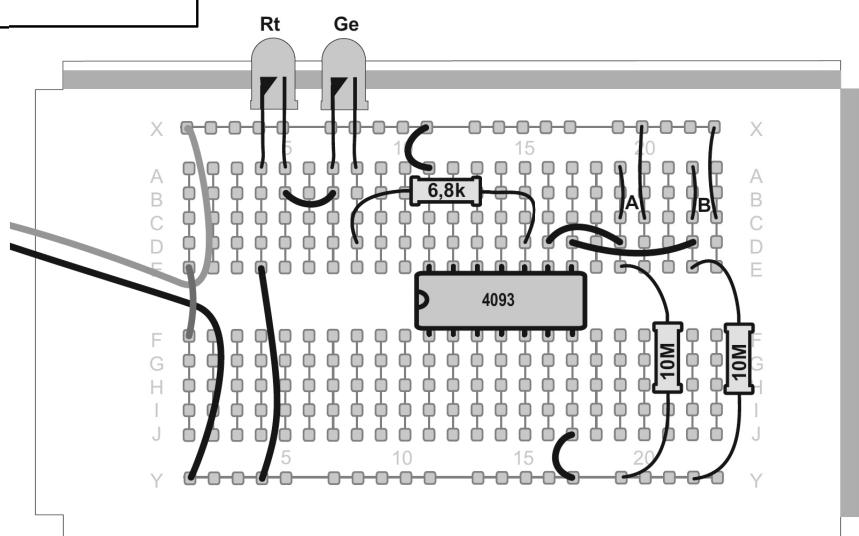
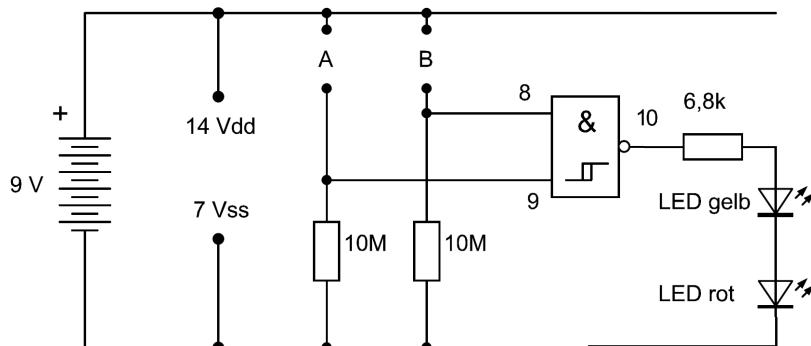


Hier entsteht eine UND-Funktion (AND), obwohl ein NAND-Gatter verwendet wird. Wenn man aber genau hinsieht, erkennt man die zweite Invertierung: Die LED ist hier gegen Vcc angeschlossen und leuchtet deshalb immer dann, wenn am Ausgang des NAND-Gatters eine Null liegt.

7 UND-Nicht

7. Tag

Im Fach Nr. 7 finden Sie eine rote LED. Zwei LEDs, aber nur ein Vorwiderstand – da hilft die Reihenschaltung weiter. Am Ausgang des NAND-Gatters liegen nun beide LEDs und ein gemeinsamer Vorwiderstand mit $6,8\text{ k}\Omega$. Im Ruhezustand sind beide LEDs an. Nur wenn Sie beide Kontakte (A UND B) berühren, gehen die LEDs aus. Diesmal passiert also genau das, was das IC verspricht: eine NAND-Funktion, also UND-Nicht.

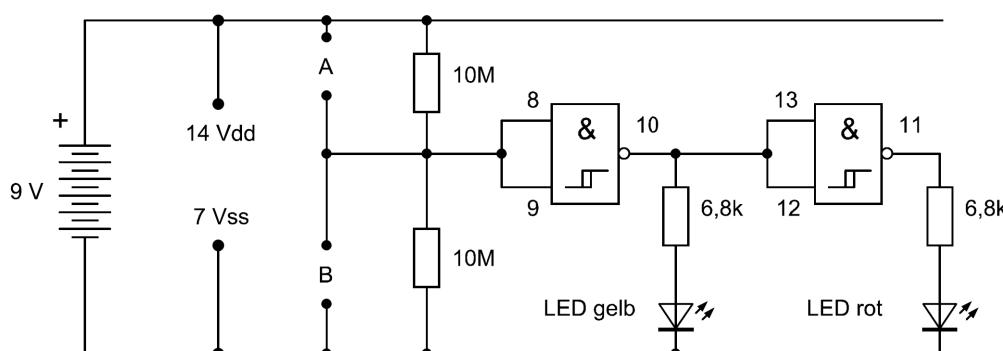


8 Sensor-Umschalter

8. Tag

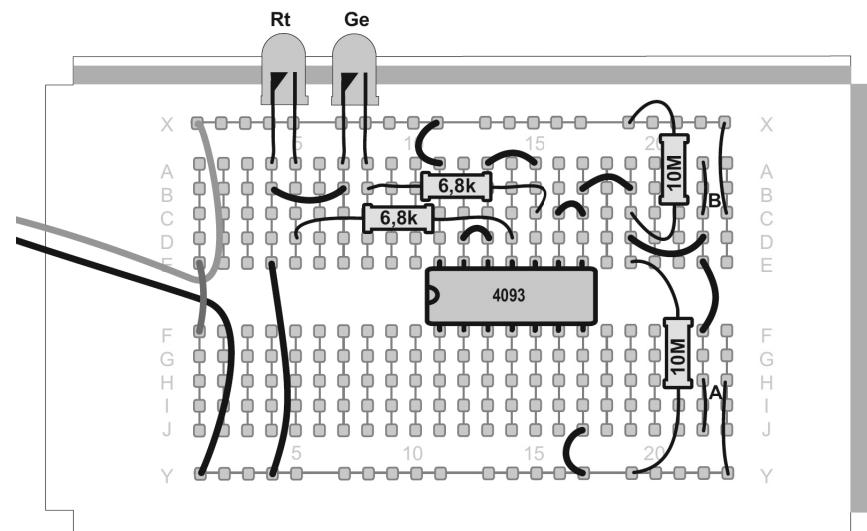
Einen Widerstand mit $6,8\text{ k}\Omega$ (Kilohm, Blau, Grau, Rot) finden Sie hinter dem Türchen Nr. 8. Er wird als weiterer Vorwiderstand für eine LED eingesetzt. Nun gibt es zwei LEDs an zwei Ausgängen. Weil die zweite Stufe als Inverter geschaltet ist, ist jeweils entweder die gelbe oder die rote LED eingeschaltet. Mit den beiden Sensorkontakten A und B kann der Zustand umgeschaltet werden. Ein Druck auf A schaltet die rote LED an, ein Druck auf B die gelbe. Der letzte Zustand bleibt jeweils gespeichert.

Die beiden $10\text{-M}\Omega$ -Widerstände bilden einen Spannungsteiler. Am Eingang des ersten Inverters liegt im Ruhezustand eine Spannung von ca. $4,5\text{ V}$. Bei dieser mittleren Eingangsspannung bleibt der zuletzt eingeschaltete Zustand unverändert erhalten. Eine Änderung wird erst wirksam, wenn die Eingangsspannung um etwa 1 V in Richtung höherer oder kleinerer Spannung verändert wird, was durch die Berührung der Sensorkontakte erreicht wird. Das ist die besondere Eigenschaft des Schmitt-Trigger-Eingangs. Das Umschalten wird erst beim Erreichen gewisser Spannungsschwellen getriggert. Das macht den Inverter zugleich zu einer bistabilen Schaltung, die man auch als Flipflop bezeichnet. Diese Schaltung ist damit gleichzeitig ein digitaler Speicher mit der Speichergröße 1 Bit.



Schließen Sie einmal einen längeren Draht bis etwa 1 m an den Eingang an Pin 8 an. Damit wird das IC zugleich zu einem Funkempfänger. Starke elektromagnetische Impulse können die Triggerschwelle erreichen und den Zustand der Schaltung umschalten. Solche Impulse können z. B. bei Gewittern entstehen oder wenn Sie

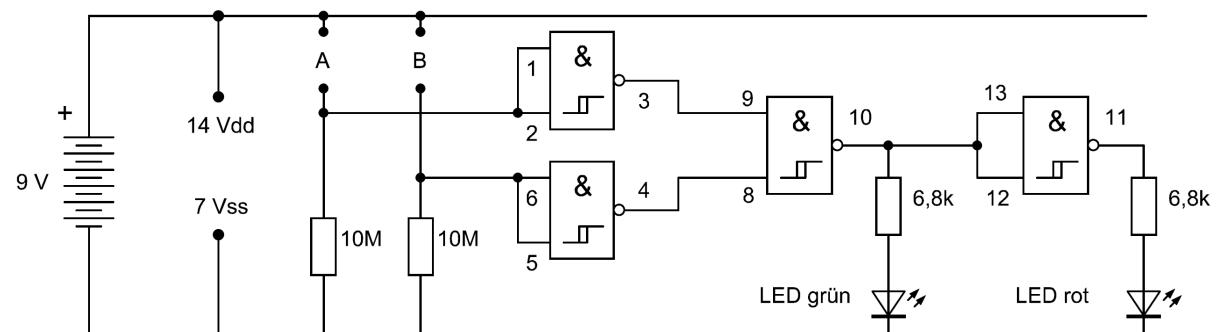
einen Lichtschalter in der Nähe betätigen. Das Endergebnis ist zufällig. Manchmal schaltet der Zustand um, manchmal nicht. Testen Sie die Funktion zuerst nahe an einem Lichtschalter, der nicht weiter als 0,5 m entfernt ist. Wenn die Schaltung auf den Schalter reagiert, können Sie die Entfernung vergrößern und so die Reichweite ermitteln.



9 A oder B

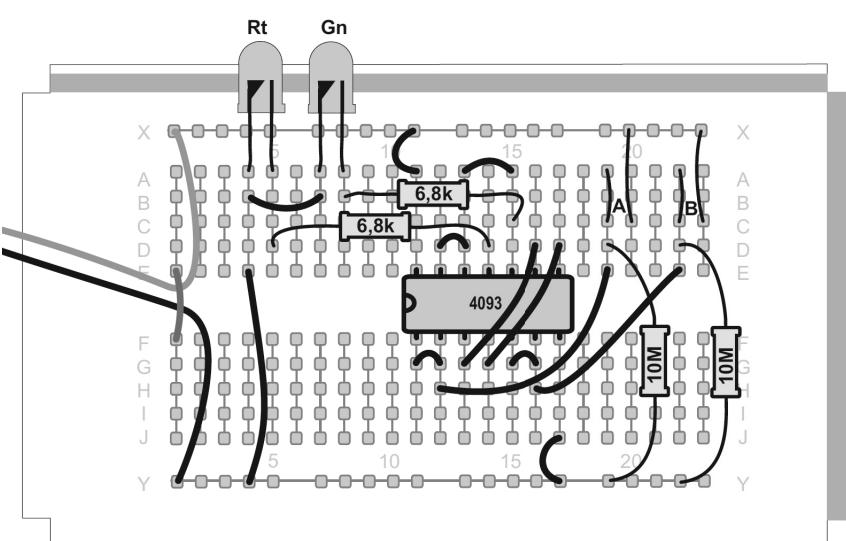
Hinter dem 9. Türchen finden Sie eine grüne LED. Sie soll hier zusammen mit der roten eingesetzt werden. Es leuchtet entweder die rote oder die grüne LED. Die logische Regel der Schaltung folgt diesmal der ODER-Funktion. Wenn entweder einer der Sensorkontakte A ODER B oder auch beide berührt werden, geht die grüne LED an. Nur wenn keiner der beiden Kontakte berührt wird, bleibt die grüne LED aus. Der nachfolgende Inverter sorgt aber dafür, dass dann die rote LED an ist. Als typische Anwendung kann man sich vorstellen, dass zwei Benutzer unabhängig voneinander auf einen eigenen Schalter drücken können, um z. B. einen Lüfter einzuschalten. Auch wenn beide unabhängig voneinander auf die gleiche Idee kommen und jeder auf seinen Schalter drückt, ändert das nichts am Ergebnis: Der Lüfter ist an.

9. Tag



Aus einem NAND-Gatter

mit zwei vorgesetzten Invertern wird also ein OR-Gatter (ODER). Mit einem nachgeschalteten Inverter wird aus dem OR-Gatter ein NOR-Gatter (Nicht-ODER). Die Schaltung liefert beides, eine ODER-Funktion an der grünen LED und eine Nicht-ODER-Funktion an der roten LED. Der Versuch zeigt, wie man aus vielen gleichartigen Schaltungen andere Funktionen zusammensetzen kann. Dies ist ein Grundprinzip vieler digitaler Schaltungen bis hin zu komplexen Mikroprozessoren.

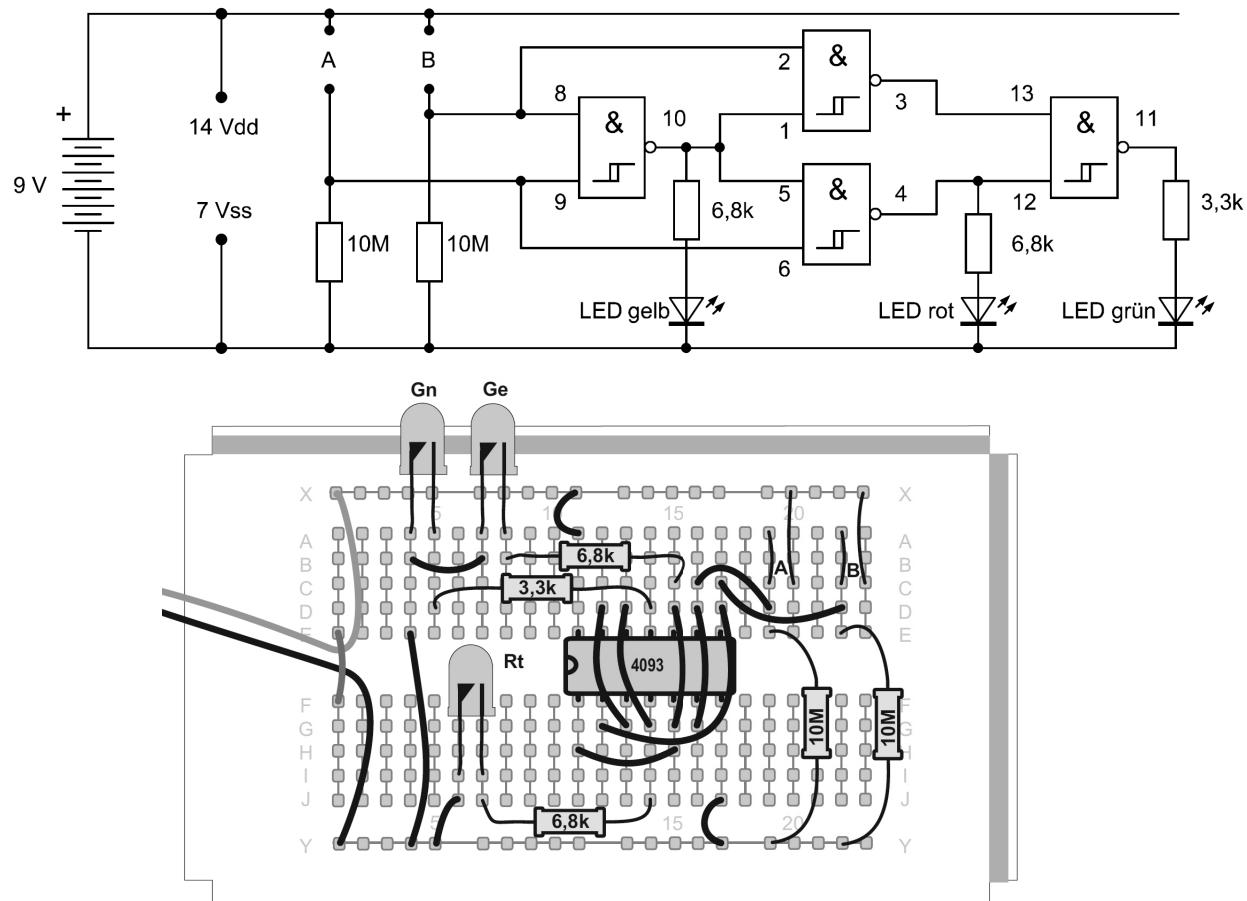


10. Tag

10 Entweder ODER ...

Inzwischen haben Sie bereits drei LEDs, aber nur zwei passende Widerstände. Öffnen Sie deshalb das 10. Türchen und nehmen Sie einen weiteren Widerstand heraus, der ebenfalls als Vorwiderstand eingesetzt werden kann. Dieser Widerstand hat $3,3\text{ k}\Omega$ (Orange, Orange, Rot) und bringt damit einen größeren Strom und etwas mehr Helligkeit an der grünen LED in dieser Schaltung. Sie zeigt das Endergebnis einer relativ komplexen logischen Schaltung, der Exklusiv-ODER-Schaltung (XOR). Nur wenn sich die Eingangszustände A und B unterscheiden, soll die grüne LED angehen. Die Schaltung führt also einen Vergleich durch. Wenn Gleichheit erkannt wird, bleibt die grüne LED aus.

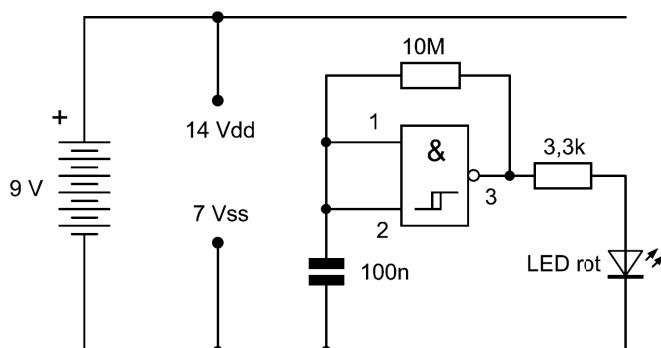
Mit etwas Mühe kann man die Funktion der Schaltung nachvollziehen. Dazu muss man für jeden der möglichen Eingangszustände überlegen, welche Ausgangszustände die einzelnen Gatter annehmen. Als Hilfe zum Verständnis der Schaltung werden zwei Zwischenergebnisse an der gelben und der roten LED angezeigt.



11 Blinklicht

11. Tag

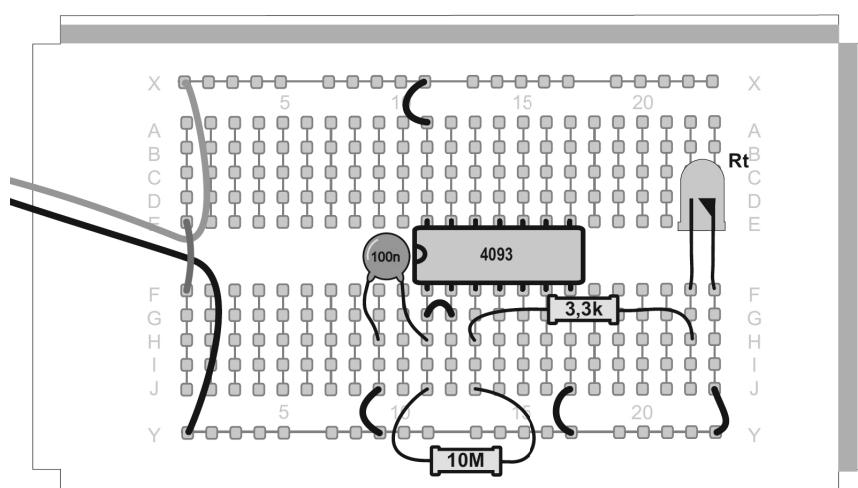
Hinter dem 11. Türchen verbirgt sich ein Kondensator, genauer ein keramischer Scheibenkondensator mit 100 nF . Die Beschriftung lautet 104 und steht für 100.000 pF (Picofarad), also 100 nF (Nanofarad). Dank der Schmitt-Trigger-Eingänge des 4093 kann ein sehr einfacher Blinker mit nur einem Gatter aufgebaut werden. Die LED geht etwa zweimal in der Sekunde an und wieder aus.



Um die Schaltung zu verstehen, muss man wissen, wie der Eingang auf wechselnde Spannungen reagiert. In der digitalen Elektronik gibt es meist nur die volle Betriebsspannung und Null, aber keine Zwischenwerte. Trotzdem muss definiert sein, bis zu welcher Spannung an einem Eingang Null gelesen wird und ab welcher Spannung eine Eins. Andere vergleichbare Gatter schalten z. B. bei der halben Betriebsspannung um. D. h.: Alles unter $4,5\text{ V}$ gilt als Null, alles oberhalb von $4,5\text{ V}$ als Eins. Ein Schmitt-Trigger reagiert aber anders. Bei $4,5\text{ V}$ wird der letzte Zustand beibehalten, was Sie ja schon von Schaltung Nr. 8 kennen. Erst wenn die Spannung über etwa $5,5\text{ V}$ steigt, wird eine Eins erkannt. Umgekehrt muss die Spannung dann wieder unter ca. $3,5\text{ V}$ absinken, um als Null zu gelten. Zwischen

den beiden Triggerpunkten liegt eine Lücke von rund 2 V, die man als Hysteresen bezeichnet. Das Symbol unterhalb des UND-Zeichens im NAND-Gatter symbolisiert das Verhalten des Schmitt-Triggers.

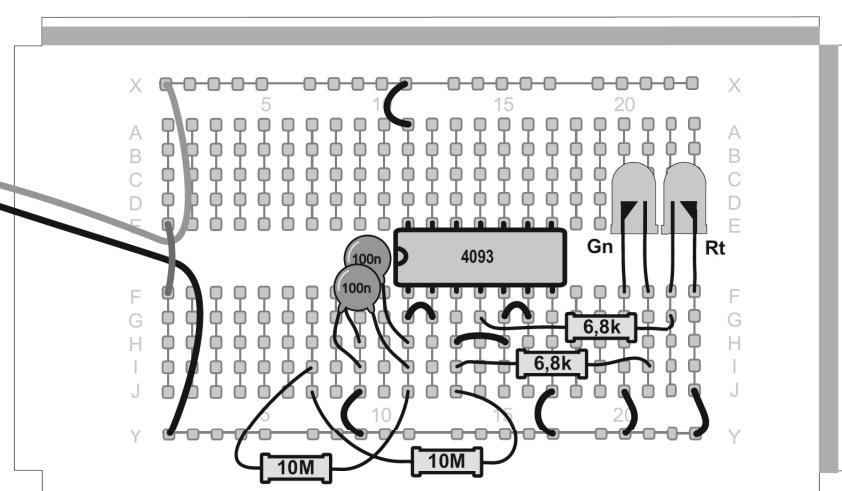
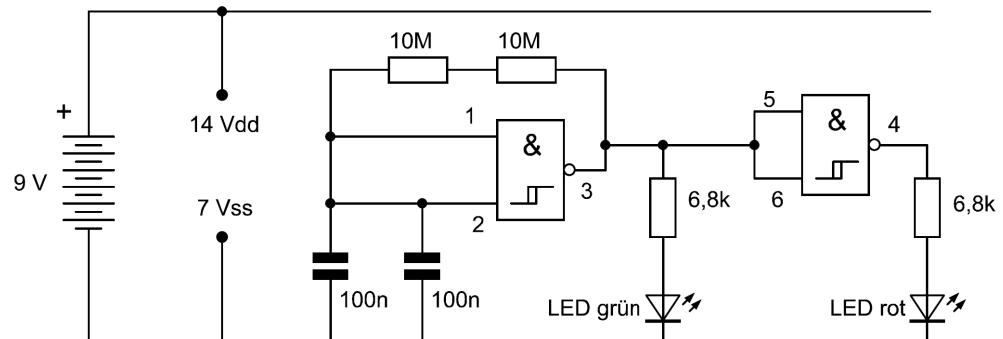
Zusammen mit einem Kondensator am Eingang und einem Widerstand zwischen Ausgang und Eingang bildet man einen Rechteckgenerator. Der Kondensator wird immer wieder bis zum oberen Triggerpunkt aufgeladen und dann bis zum unteren Triggerpunkt entladen. Da der Ladevorgang wegen des großen Ladewiderstands nur langsam erfolgt, entsteht ein langsames Blinken mit einer Frequenz von etwa 2 Hz.



12 Wechselblinker

12. Tag

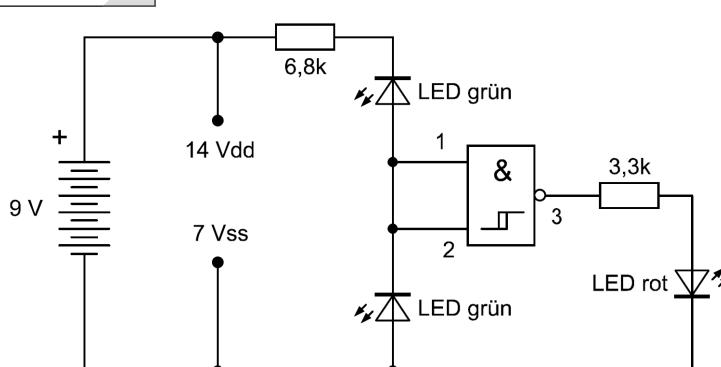
Einen weiteren Kondensator mit 100 nF finden Sie im 12. Fach. Damit kann die Blinkfrequenz verringert werden, denn zwei parallel geschaltete Kondensatoren mit jeweils 100 nF bilden zusammen einen Kondensator mit 200 nF. Um den Blinker noch langsamer laufen zu lassen, wird auch der Widerstand aus einer Reihenschaltung aus zwei 10-MΩ-Widerständen aufgebaut, was zusammen einen Widerstand von 20 MΩ ergibt. Insgesamt läuft der Blinker also nun viermal langsamer als der in Versuch Nr. 11. Zusätzlich ist diesmal ein Inverter mit einer zweiten LED angeschlossen. Beide LEDs blinken nun abwechselnd.



13. Tag

13 Lichtsensor-Umschalter

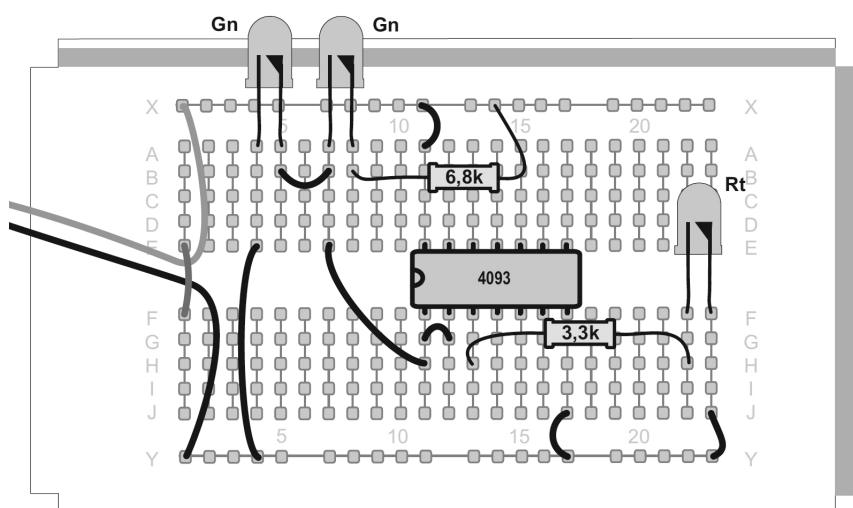
Hinter Türchen Nr. 13 finden Sie eine weitere grüne LED. Beide grünen LEDs sollen nun als Lichtsensor eingesetzt werden. Achten Sie beim Einbau genau auf die korrekte Richtung. Die grünen LEDs werden in Sperrrichtung verwendet.



Sie leiten und leuchten also nicht. Der Vorwiderstand ist nur zur Sicherheit eingebaut, damit die LEDs nicht beschädigt werden, falls jemand sie versehentlich falsch herum einbaut. In dieser Schaltung funktionieren die grünen LEDs jedoch als Lichtsensoren. Richten Sie den Lichtstrahl einer hellen Taschenlampe mal auf die eine und mal auf die andere LED, um den Ausgangszustand umzuschalten. Die rote LED kann so gezielt ein- und ausgeschaltet werden. Bei genügend hellem Umgebungslicht können Sie den gleichen Effekt auch erzielen, indem Sie jeweils eine der beiden LEDs mit der Hand abschatten.

Üblicherweise verwendet man sogenannte Fotodioden als Lichtsensoren in Schaltungen wie dieser. Eine Fotodiode ist wesentlich empfindlicher und liefert schon bei kleiner Helligkeit einen relativ großen Fotostrom. Dies erreicht man durch eine große aktive Fläche der Fotodiode. Eine

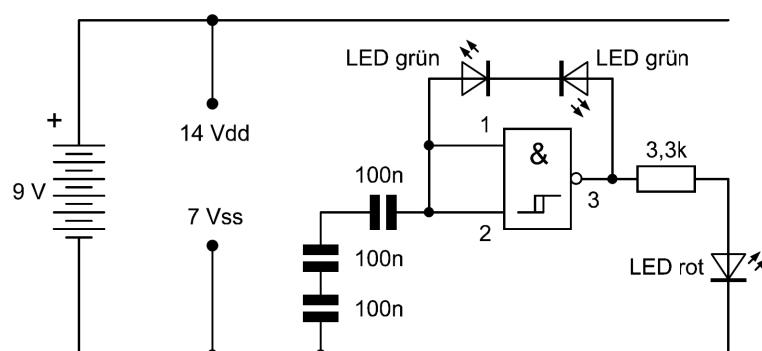
LED ist vom Aufbau her mit einer Fotodiode vergleichbar, hat jedoch meist eine sehr kleine aktive Fläche. Das ist der Grund für die geringere Empfindlichkeit. Bei hellem Licht fließt nur ein Fotostrom in der Größenordnung von ca. 100 nA (Nanoampere), was aber für die Funktion völlig ausreicht. Bei schwachem Licht kann die Umschaltung auch noch funktionieren, sie reagiert dann aber langsam.



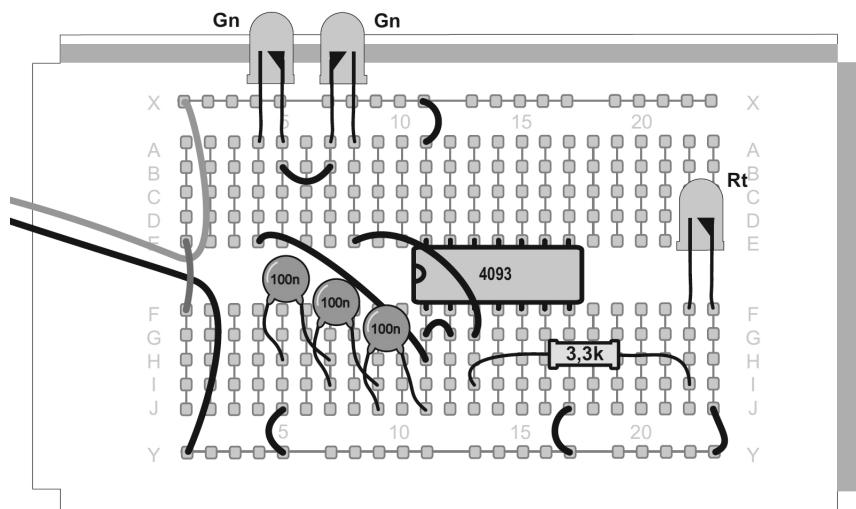
14. Tag

14 Lichtgesteuerter Blinker

Einen weiteren Kondensator mit 100 nF (104) finden Sie hinter dem 14. Türchen. Er wird für die folgende Blinkschaltung benötigt. Drei Kondensatoren in Reihenschaltung bilden zusammen einen kleineren Kondensator mit ca. 33 nF. Anstelle des in Schaltung 11 verwendeten Widerstands sind diesmal zwei LEDs eingesetzt. Sie bilden zusammen so etwas wie einen veränderlichen Widerstand. Die Leitfähigkeit dieses Sensors ist bei mittlerer Helligkeit sehr gering, sodass der Blinker trotz des kleinen Kondensators seinen Zustand nur extrem langsam ändert. Erst bei sehr heller Beleuchtung erreicht der Blinker die gewohnte Geschwindigkeit.



Beide LEDs sind so in Reihe geschaltet, dass immer eine von beiden in Sperrrichtung liegt. Tatsächlich arbeitet deshalb in jeder Phase nur eine der beiden LEDs als Fotodiode, die jeweils andere als Diode in Durchlassrichtung.

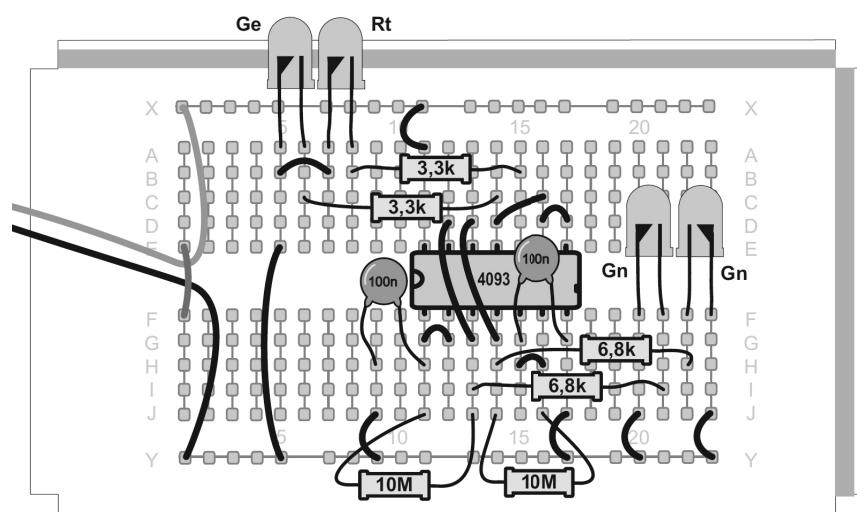


15 Flackerlicht

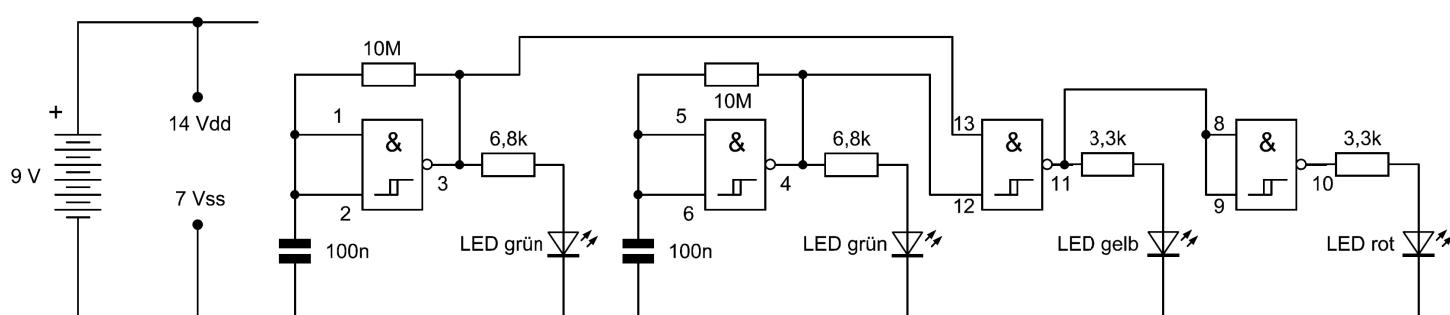
Das 15. Türchen bringt einen weiteren Widerstand mit $3,3\text{ k}\Omega$ (Orange, Orange, Rot) zum Vorschein. Nun können vier LEDs unabhängig voneinander mit eigenen Vorwiderständen betrieben werden. Die Schaltung dieses Tages besteht aus zwei gleich aufgebauten Blinkschaltungen, deren Ausgangssignale einem NAND-Gatter zugeführt werden. Die gelbe LED zeigt ein besonderes Blinkmuster, das sich laufend verändert. Nach nochmaliger Invertierung wird die rote LED angesteuert, die kürzere Blinkimpulse zeigt.

15. Tag

Die beiden letzten Gatter bilden zusammen ein AND-Gatter. Die rote LED am Ausgang leuchtet immer dann, wenn gerade beide grünen LEDs der beiden Blinker an sind. Die Frequenzen der Blinker sind jedoch niemals exakt gleich, weil es unvermeidliche Unterschiede in der genauen Kapazität der Kondensatoren, in den Widerständen und in den Triggerschwellen der einzelnen Gatter gibt. Die rote LED leuchtet daher in Phasen immer wieder kürzer und länger. An der mittleren Helligkeit der roten LED kann man direkt die Frequenzabweichung beider Oszillatoren ablesen. Beide Signale werden multipliziert, wobei eine Interferenz entsteht und die Differenzfrequenz sichtbar wird.



Durch Berühren eines Kondensators mit dem Finger können Sie die Kapazität in geringem Maße verändern, denn eine Erwärmung führt zu einer kleineren Kapazität. Mit etwas Geschick lassen sich die Frequenzen und damit auch die Interferenz beeinflussen. Versuchen Sie z. B. einmal, beide Oszillatoren auf exakt gleiche Frequenz zu bringen. Die rote LED zeigt Ihnen dabei immer den aktuellen Phasenunterschied. In einer sogenannten PLL (Phase Locked Loop, Phasenregelschleife) verwendet man dieses Verfahren zur automatischen Nachsteuerung einer Frequenz. Moderne Radios mit PLL-Tuner zeichnen sich durch die besonders genaue und zuverlässige Einstellung der Frequenz aus.

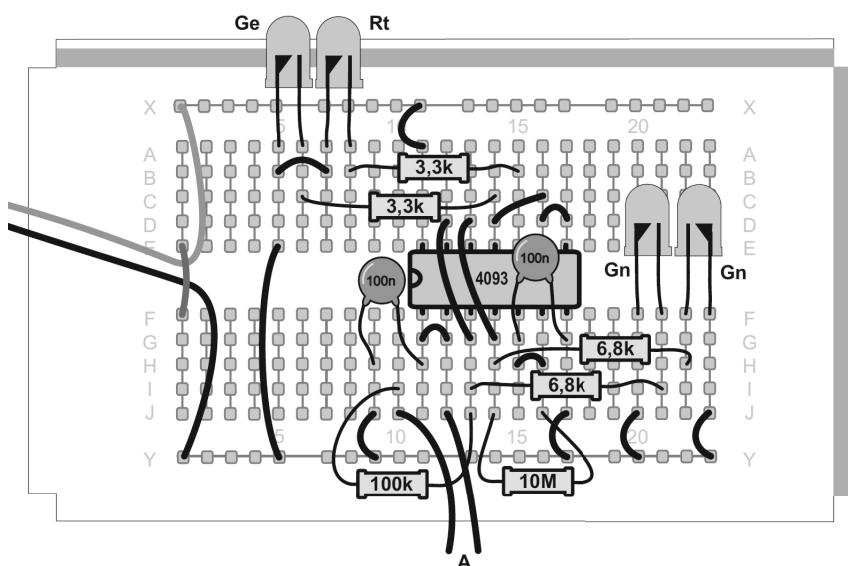
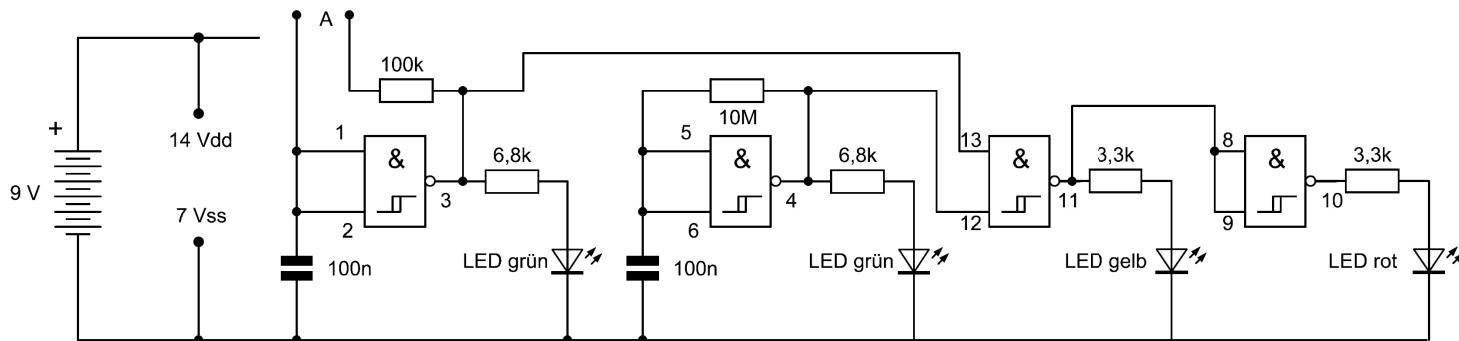


16 Leitfähigkeitssensor

16. Tag

Hinter dem Türchen Nr. 16 finden Sie einen weiteren Widerstand mit $100\text{ k}\Omega$ (Braun, Schwarz, Gelb). Setzen Sie diesen in die Schaltung vom Vortag ein und bilden Sie einen Berührungs kontakt mit zwei offenen Drähten. Durch vorsichtiges Berühren beider Drähte können Sie nun die Blinkfrequenz des ersten Blinkers deutlich verändern. Eine festere Berührung führt dabei zu einer höheren Frequenz. Versuchen Sie nun, beide Blinker auf eine exakt gleiche Frequenz zu bringen.

Wenn Sie die Drähte fest anfassen, ergibt sich ein kleiner Übergangswiderstand und damit eine hohe Frequenz. Die stark unterschiedlichen Blinkfrequenzen führen zu interessanten Blinkmustern an der roten und der gelben LED.

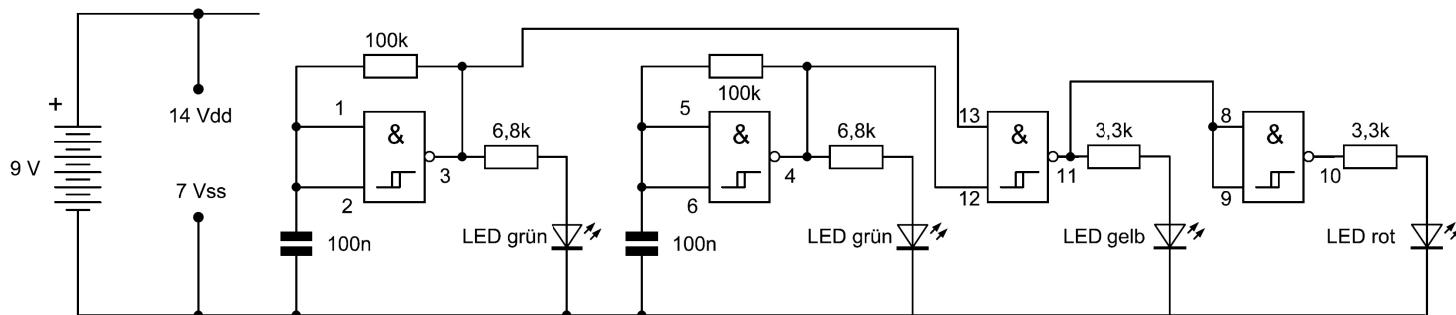


17 LED-Flimmern

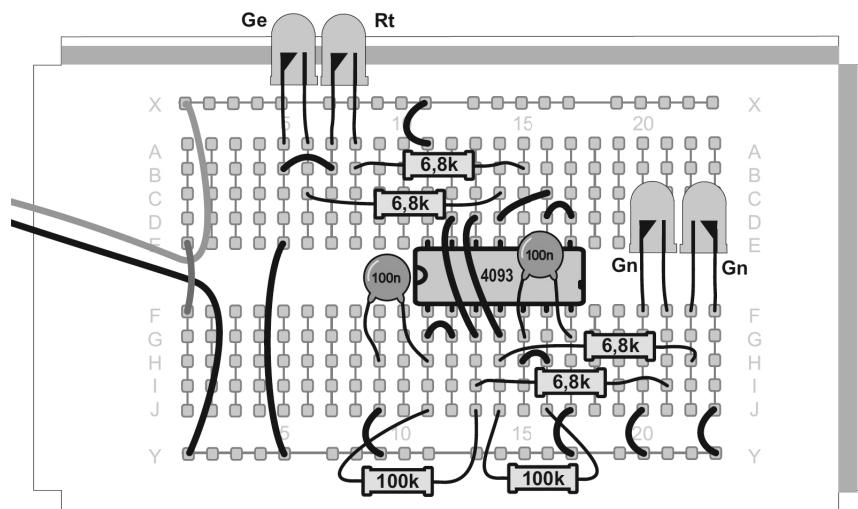
17. Tag

Ein weiterer Widerstand mit $100\text{ k}\Omega$ (Braun, Schwarz, Gelb) verbirgt sich hinter Türchen Nr. 17. Nun können zwei schnelle Oszillatoren aufgebaut werden. Das Blinken der beiden grünen LEDs geht in ein Dauerleuchten über. Nur mit einer schnellen Schwenkbewegung der Augen ist noch erkennbar, dass auch diese LEDs an- und ausgeschaltet werden. Die gelbe und die rote LED zeigen wieder die Differenzfrequenz, wobei sich ihre mittlere Helligkeit scheinbar allmählich ändert.

Versuchen Sie wieder, die beteiligten Kondensatoren durch Berühren so zu erwärmen, dass sich eine möglichst geringe Differenzfrequenz ergibt. Meist zeigt die rote LED zuerst ein schnelles Flimmern. Testen Sie zunächst, welchen



der beiden Kondensatoren Sie berühren müssen, um das Flimmern zu verlangsamen. Sobald Sie dies herausgefunden haben, können Sie durch mehr oder weniger intensives Berühren einen Feinabgleich erreichen.

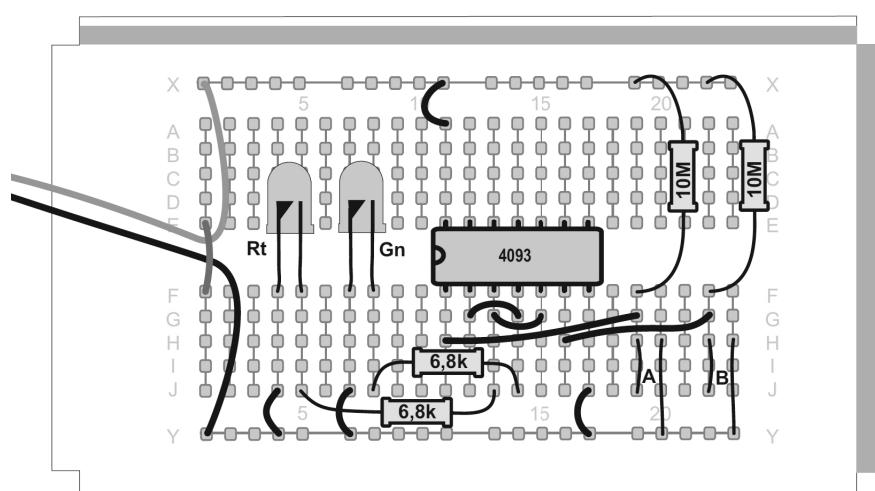
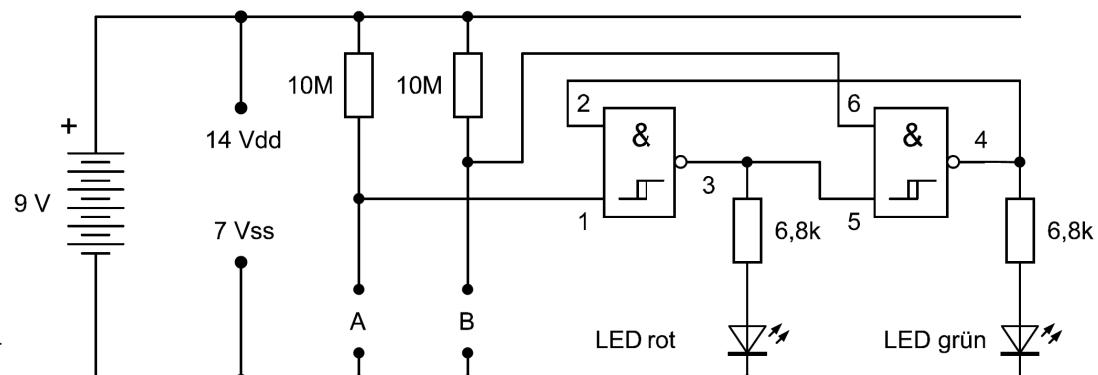


18 Speicher-Flipflop

Hinter dem Türchen Nr. 18 findet sich eine weitere rote LED. Die Schaltung dieses Tages ist ein sogenanntes RS-Flipflop, also eine bistabile Schaltung, die man in den ausgeschalteten Zustand (Reset, R) und in den eingeschalteten Zustand (Set, S) umschalten kann. Zwischen den beiden NAND-Gattern sorgen Verbindungen für eine Rückkopplung, die den gerade eingenommenen Zustand einfrieren. Tippen Sie auf die Kontakte A und B, um den jeweiligen Zustand umzuschalten. Wenn man die grüne LED betrachtet, ist A die Reset-Taste und B die Set-Taste.

18. Tag

Das Flipflop ist völlig symmetrisch aufgebaut. Deshalb ist es nicht möglich, den Zustand beim ersten Einschalten vorherzusagen. Der erste Zustand ist also vom Zufall abhängig. Die Funktion der Schaltung erinnert an die in Versuch Nr. 8, die jedoch auf den besonderen Eigenschaften des Schmitt-Triggers beruhte. Die hier vorgestellte Schaltung basiert dagegen nur auf der Grundfunktion des NAND-Gatters.

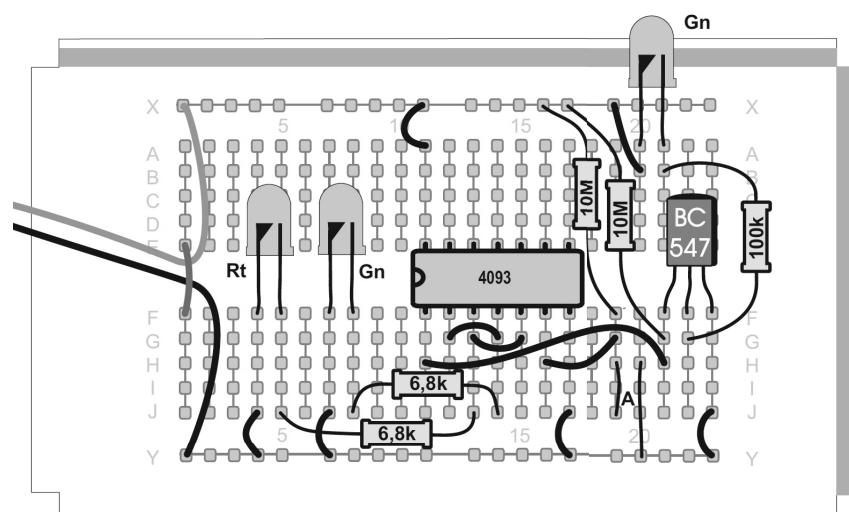
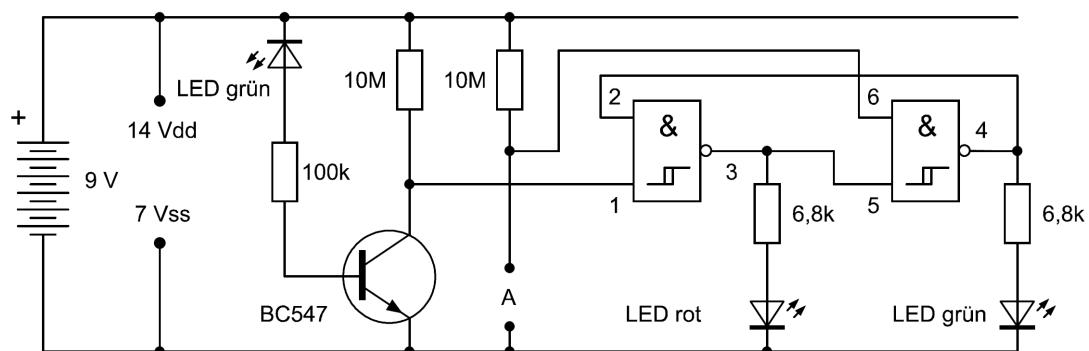


19. Tag

19 Blitzlichtalarm

Das Türchen Nr. 19 bringt einen Transistor BC547 zum Vorschein. Er wird hier als Verstärker für den Lichtsensor eingesetzt. Die Schaltung soll ein Blitzlicht erkennen und einen Alarm anzeigen, bis er mit einem Sensorkontakt wieder gelöscht wird. Ein solches Gerät könnte z. B. in einem Museum stehen, wo das Fotografieren mit Blitzlicht verboten ist. Oder man unterstreicht damit die Ablehnung von Fotoblitzen auf privaten Feiern.

Ein Blitzlicht erzeugt einen kleinen Stromimpuls durch die in Sperrrichtung geschaltete grüne LED. Der Transistor verstärkt diesen Impuls und schaltet damit das nachfolgende Flipflop um, sodass die rote LED leuchtet. Das RS-Flipflop kann durch den Sensorkontakt A wieder gelöscht werden. Dann leuchtet die grüne LED am Ausgang.



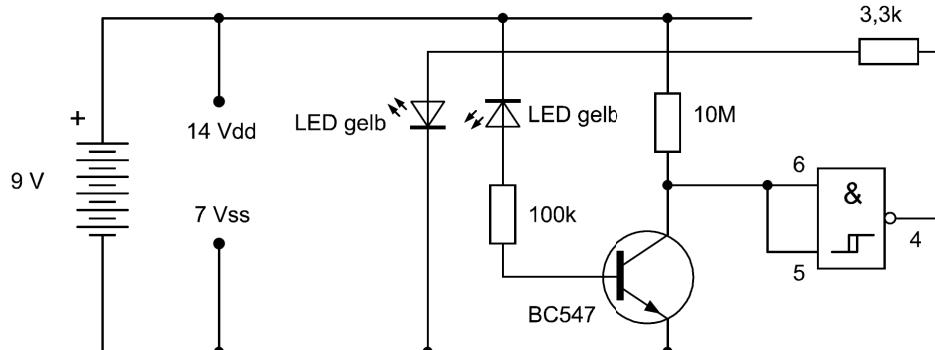
20. Tag

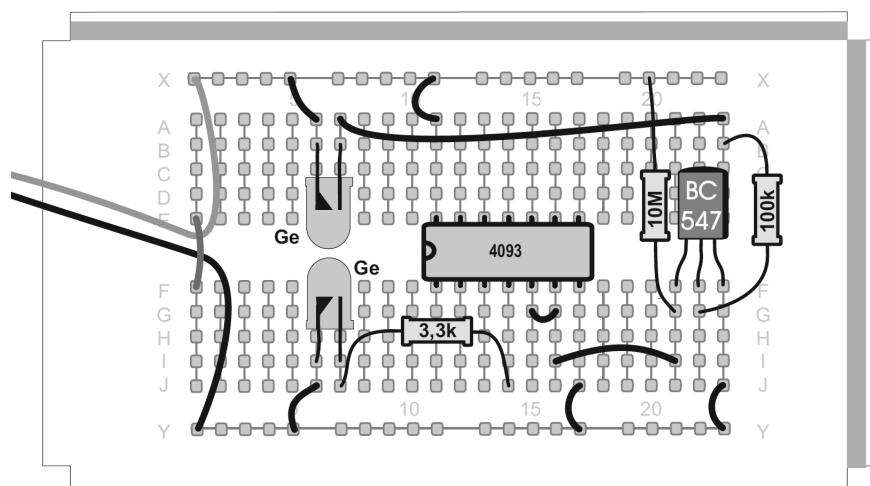
20 Optisches Flipflop

Öffnen Sie Fach Nr. 20 und nehmen Sie eine weitere gelbe LED heraus. Sie soll nun als Lichtsensor eingesetzt werden und das von der zweiten LED ausgesandte gelbe Licht empfangen. Dazu müssen beide eng nebeneinander stehen und aufeinander gerichtet sein. Ein Transistor ist nötig, um den geringen Fotostrom zu verstärken.

Insgesamt gelingt mit dieser Schaltung die Rückkopplung über eine optische Strecke. Damit ergibt sich wieder ein

Flipflop. Die LED ist entweder an oder aus, wobei der Zustand beliebig lange erhalten bleiben kann. Neu ist aber, dass der Zustand durch Licht oder Abschattung verändert werden kann. Helles Licht auf die Sensor-LED schaltet das Flipflop ein. Umgekehrt lässt es sich ausschalten, wenn man das Licht auf dem Weg von der leuchtenden LED zur Sensor-LED blockiert, also z. B. ein Stück Papier zwischen beide LEDs hält. Beim Test der Schaltung sollte die Umgebungshelligkeit gering sein.



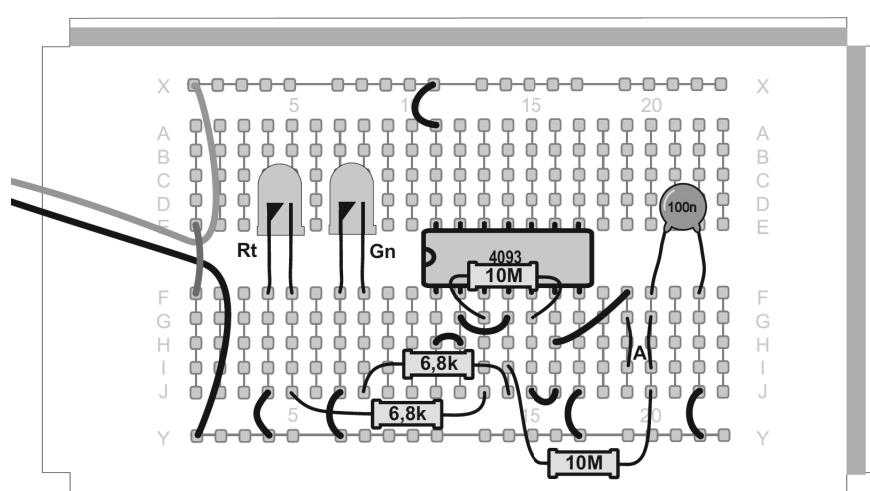
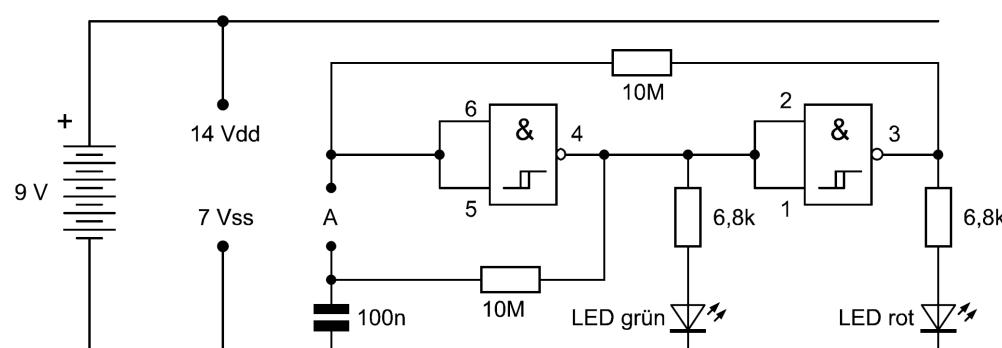


21 Sensor-Umschalter

Ein weiterer Kondensator mit 100 nF befindet sich hinter Türchen Nr. 21. Die Schaltung dieses Tages bildet einen Umschalter, der seinen Zustand mit jeder kurzen Berührung des Sensorkontakts A ändert. Damit schaltet man abwechselnd die grüne und die rote LED ein. Vor jeder neuen Betätigung muss eine Wartezeit von einer Sekunde eingehalten werden.

21. Tag

Ein Widerstand von 10 MΩ vom Ausgang zum Eingang der zweistufigen Schaltung sorgt für eine Rückkopplung, die im Normalfall den erreichten Zustand festhält. Es handelt sich also um ein Flipflop mit zwei stabilen Zuständen. Der Kondensator am Sensorkontakt A lädt sich jedoch innerhalb etwa einer Sekunde auf den invertierten Zustand auf. Durch die Berührung des Kontakts legt man diesen invertierten Zustand an den Eingang, sodass der Zustand des Flipflops umkippt. So werden mit jeder Berührung die Ausgänge umgeschaltet. Eine solche Schaltung nennt man auch ein Toggle-Flipflop.

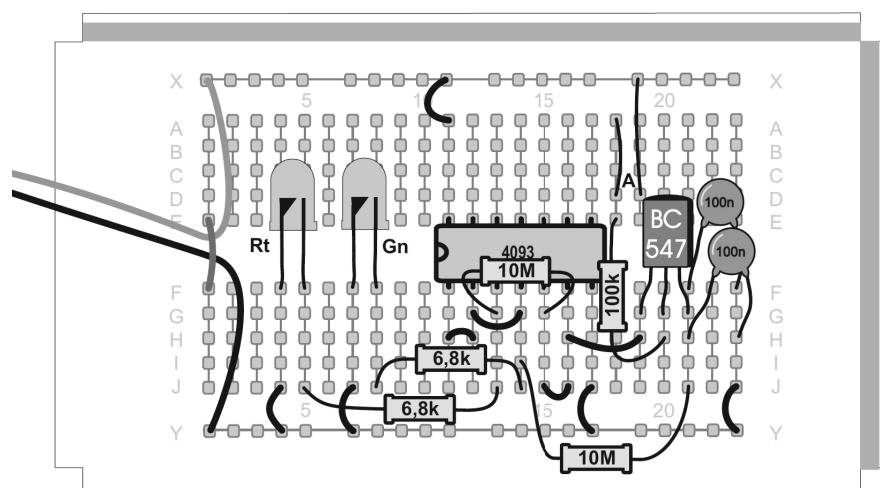


22. Tag

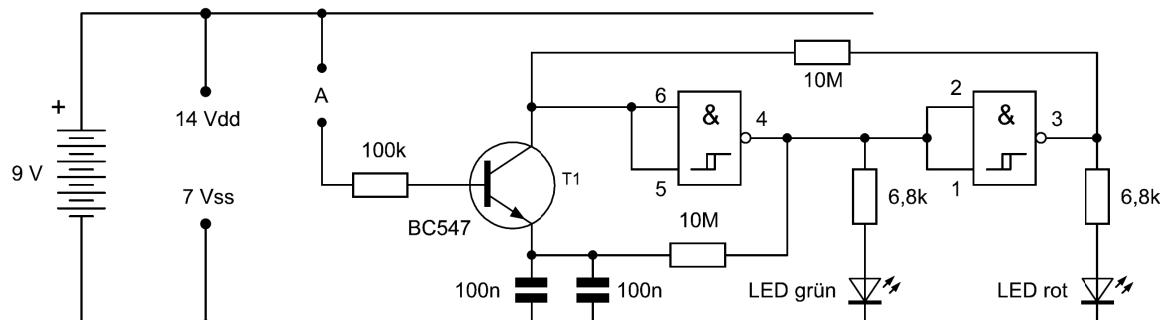
22 Sensor-Zeitschalter

Ein weiterer Kondensator mit 100 nF (104) kommt hinter dem Türchen Nr. 22 zum Vorschein. Mit geringen Änderungen wird aus der letzten Schaltung ein elektronischer Sensorschalter, der einen Zustand mit jeder lang andauernden Berührung nur für eine kurze Zeit umschaltet. Im Ruhezustand leuchtet die rote LED. Berühren Sie nun den Sensorkontakt und halten Sie den Finger dort. Dabei geht die grüne LED für kurze Zeit an, danach wird wieder auf die rote LED zurückgeschaltet. Wie lange die grüne LED angeht, hängt stark von der Hautfeuchtigkeit und dem ausgeübten Druck ab.

Im Ruhezustand ist die grüne LED aus, und der Kondensator wird entladen. Im ersten Moment der Berührung schaltet der Transistor den Ladekondensator mit insgesamt 200 nF an den Eingang und schaltet ihn damit in den Null-Zustand. Dann aber wird der Ladekondensator über den Sensorkontakt und den Widerstand langsam aufgeladen, sodass nach einer gewissen Zeit eine positive Spannung am Eingang des ersten Gatters liegt. Wie lange die Grünphase dauert, hängt vom Übergangswiderstand am Sensorkontakt ab.



Bei einem Flipflop ist der Zustand nach dem ersten Einschalten meist zufällig. Bei dieser Schaltung ist es anders. Nach dem ersten Einschalten der Betriebsspannung leuchtet grundsätzlich die grüne LED. Das liegt daran, dass der Transistor selbst auch wie ein kleiner Kondensator wirkt und über den noch ungeladenen Speicher kondensator einen kurzen Impuls an den Eingang legt. Erst nach der ersten Betätigung stellt sich der normale Ruhezustand Rot ein. Dieses Verhalten können Sie jedoch leicht ändern. Legen Sie die beiden Kondensatoren nicht an Masse, sondern an die Betriebsspannung. Dann wird nach dem ersten Einschalten die rote LED leuchten, also der normale Ruhezustand erreicht.

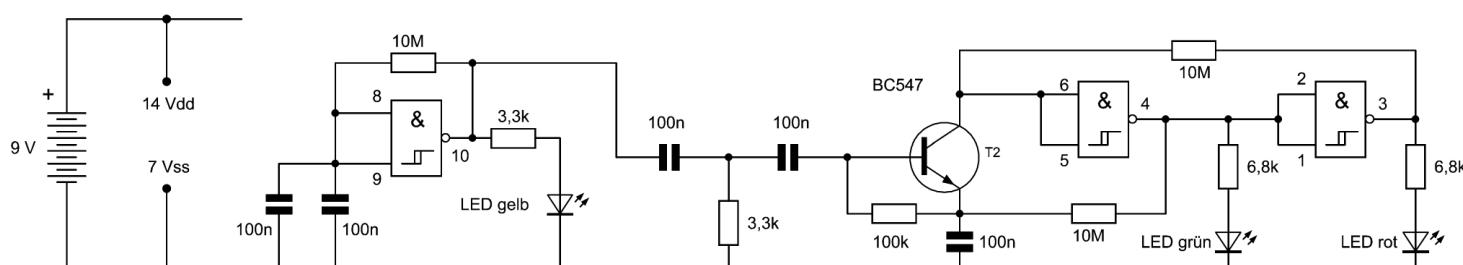


23 Frequenzteiler

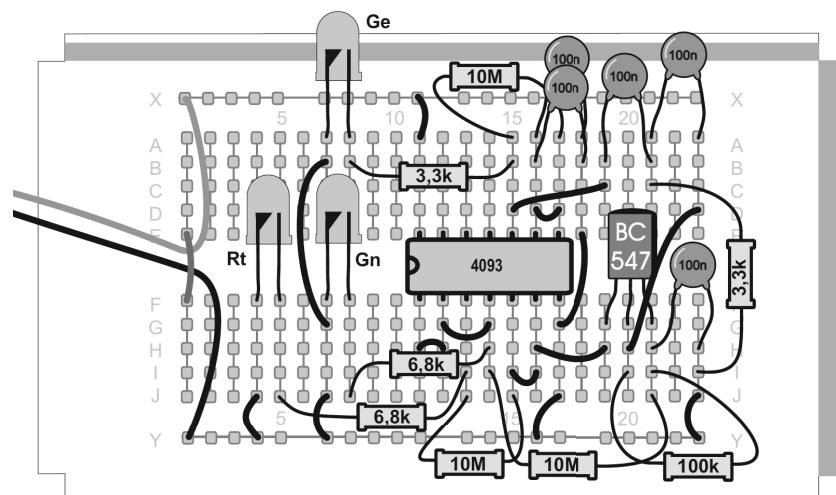
23. Tag

In Fach Nr. 23 finden Sie noch einen Widerstand mit 10 MΩ (Braun, Schwarz, Blau). Hier wird ein Blinker mit zwei Frequenzen gebaut, bei dem die tiefere Frequenz durch Teilung aus der höheren abgeleitet wird. Die gelbe LED blinkt schnell, die rote und die grüne LED blitzen dagegen langsamer und im Gegentakt. Auf jeweils zwei Blinkphasen der gelben LED kommt eine der beiden anderen LEDs.

Die Schaltung besteht aus einem Blinkoszillator in seiner gewohnten Schaltung und einem Toggle-Flipflop, das mit jedem Impuls seinen Zustand umschaltet. Bei jeder positiven Schaltflanke am Ausgang des Oszillators wird ein kurzer Impuls gebildet, der den Transistor ansteuert. Dieser schaltet den Zustand des Toggle-Flipflops um. Die grüne und



die rote LED blinken deshalb genau halb so schnell wie die gelbe LED. Toggle-Flipflops werden in vielen Bereichen der Elektronik und Computertechnik als Frequenzteiler oder Zähler eingesetzt.



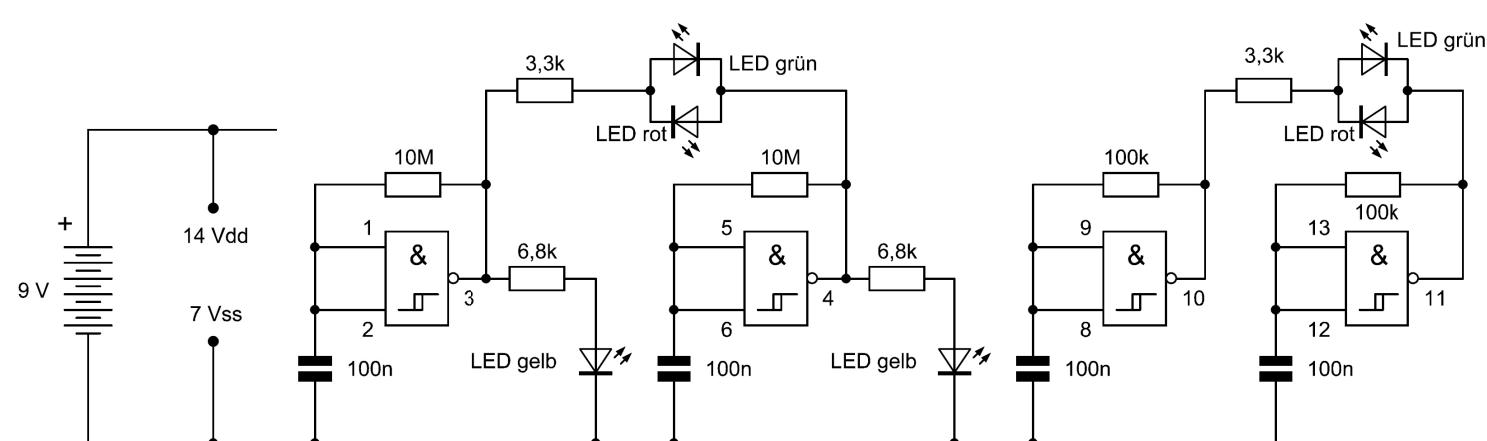
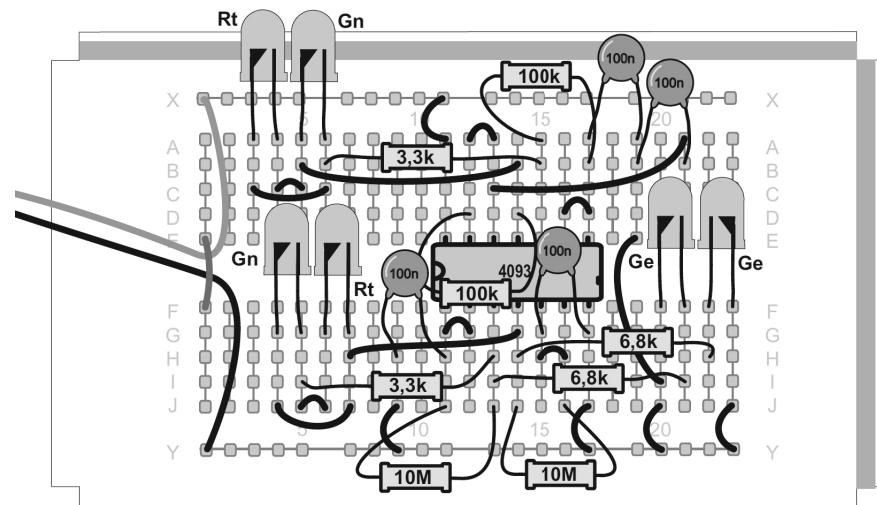
24 Funkelnde Sterne

Hinter dem letzten Türchen finden Sie einen weiteren Kondensator mit 100 nF (104). Die Schaltung zum 24. Dezember hat insgesamt sechs LEDs, die ganz unterschiedlich blinken, blitzen und flimmern. So entsteht ein weihnachtliches LED-Licht, das funkelnende Sterne symbolisiert. Die Schaltung ist eine Kombination aus mehreren Schaltungen, die Sie schon gebaut haben. Nun kommt alles gemeinsam zum Einsatz.

24. Tag

Die beiden gelben LEDs blinken gleichmäßig, aber unabhängig voneinander. Eine rote und eine grüne LED zeigen mit kurzen und längeren Lichtblitzen die Phasen unterschiedlicher Ausgangsspannungen beider Blinker. Zwei schnellere Oszillatoren am rechten Rand der Schaltung erzeugen mit ihren zufälligen Frequenzabweichungen eine Interferenz und ein Flimmern an zwei weiteren LEDs. Wie schnell dieses Flimmern ist, hängt von zufälligen Toleranzen der Bauteile ab. Tauschen Sie die Kondensatoren in der Schaltung aus, bis Ihnen das Ergebnis am besten gefällt. Da Sie nun insgesamt sechs Kondensatoren haben, können Sie auch einzelne Kondensatoren parallel schalten, um die Frequenz zu verringern.

Auch wenn dies der letzte Versuch in diesem Kalender ist, muss es nicht Ihr letzter Aufbau sein. Sie haben mittlerweile so viele unterschiedliche Schaltungen ausprobiert, dass sich daraus auch noch ganz andere Dinge bauen lassen. Inzwischen ist es bereits eine schöne Tradition geworden, weitere Schaltungen aus dem Material im Conrad-Adventskalender zu entwickeln. Suchen Sie auch einmal im Internet danach, was andere aus dem vorhandenen Material gemacht haben.





Impressum

© 2013 Franzis Verlag GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, D-85540 Haar bei München
www.elo-web.de

Autor: Burkhard Kainka
ISBN 978-3-645-10124-0

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 Datenträger oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigfalls strafrechtlich verfolgt.

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

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



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.

