

*Do it yourself*

Burkhard Kainka

# Schnellstart LEDs



## Leuchtdioden in der Praxis

- Grundlagen der LED-Schaltungstechnik
- Superhelle weiße LEDs im Einsatz
- Messtechnik und LED-Testgeräte
- Komplexe Schaltungen mit LEDs
- Stromversorgung und Spannungswandler

**FRANZIS**

## **Wichtiger Hinweis**

Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar.

Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben.

Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

**© 2005 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing**

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

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

**art & design:** [www.ideehoch2.de](http://www.ideehoch2.de)

# Inhalt

<b>1 Vorbereitungen</b>	<b>9</b>
1.1 Das Steckfeld	9
1.2 Die Batterie	11
1.3 Leuchtdioden	12
1.4 Widerstände	12
<b>2 LED Grundversuche</b>	<b>15</b>
2.1 LED mit Vorwiderstand	15
2 LED-Grundversuche	15
2.2 Die Richtung des elektrischen Stroms	17
2.3 Test mit unterschiedlichen Vorwiderständen	18
2.4 Signallampe mit Tastschalter	19
2.5 LED-Lampe mit weißer LED	20
2.6 Lumen und Candela	23
2.7 Farben und Wellenlängen	25
<b>3 LED-Schaltungstechnik</b>	
3.1 Die Diodenschwelle	27
3.2 Reihenschaltung	30
3.3 Verbesserter Wirkungsgrad	32
3.4 Parallelschaltung	34
3.5 Gemischte Reihen/Parallelschaltung	35
3.6 Wechselstrombetrieb	37
3.7 Farbspiele	41
<b>4 Testgeräte mit LEDs</b>	<b>42</b>
4.1 Durchgangstester	42
4.2 Leitfähigkeit von Flüssigkeiten	43
4.3 Überwachungs-Stromschleife	44
4.4 Polaritätstester	45
4.5 Batterietester	46
4.6 LED als Temperatursensor	48
<b>5 Fortgeschrittene Versuche mit LEDs</b>	<b>50</b>
5.1 Transistoren und mehr	50
5.2 Transistor-Grundsaltung	52

5.3 Nachlaufsteuerung .....	53
5.4 Die Darlington-Schaltung .....	54
5.5 LED als Lichtsensor .....	55
5.6 Die Konstantstromquelle .....	56
<b>6 Kippschaltungen mit LEDs</b>	
6.1 Elektronischer Umschalter .....	59
6.2 Die Thyristor-Schaltung .....	60
6.3 Der Schmitt-Trigger .....	62
6.4 An/Aus-Taster .....	63
<b>7 Blinker und Oszillatoren</b>	
7.1 Transistor-Wechselblinker .....	66
7.2 LED-Spannungswandler .....	67
7.3 Blinkschaltung mit NE555 .....	69
7.4 Timer-Wechselblinker .....	71
7.5 PWM-Helligkeitssteuerung .....	72
7.6 LED-Blitzlicht mit dem LM3909 .....	72
7.7 LED-Blitzlicht mit Transistoren .....	75
7.8 Ein Soft-Blinker .....	76
<b>8 Stromversorgung und LED-Beleuchtungen</b>	
8.1 Power-LEDs .....	79
8.2 Konstantstromquelle mit LM317 .....	81
8.3 LED-Dimmer .....	84
8.4 Spannungswandler mit NE555 .....	84
8.5 Konstantstrom-Schaltregler mit LM2574 .....	87
8.6 Dimmer-Schaltregler .....	89
8.7 3-A-Schaltregler LM2576 .....	91
<b>Anhang</b>	
Bauteile im Lernpaket LEDs .....	93
Bezugsquellen .....	93
Literatur .....	94

# 1 Vorbereitungen

Welches Material braucht man, um erfolgreich mit diesem Buch zu arbeiten? Eigentlich nicht viel, es reichen eine Batterie, ein paar LEDs und einige Widerstände, also sehr preiswerte Bauteile, die man im Elektronikhandel leicht bekommen kann. Aber dann wäre da noch die Problematik der möglichst einfachen Auftautechnik. Sie könnten die Bauteile mit dem Lötkolben verbinden, schrauben oder auf einem Experimentiersystem zusammenstecken. Am besten eignet sich eine Labor-Steckplatine mit verbundenen Kontaktreihen. Die Bauteile nutzen kaum ab und können mehrfach für unterschiedliche Versuche verwendet werden.

Der Franzis-Verlag hat ein LED-Lernpaket zusammengestellt, das bereits die wichtigsten Bauteile enthält. Wenn Sie dieses Buch zusammen mit dem Lernpaket erworben haben, brauchen Sie nur noch eine passende Batterie um mit den Versuchen zu beginnen. Wenn Sie das Buch allein gekauft haben, können sie in vielen Fällen auf vorhandenes Material aus der Bastelkiste zurückgreifen. Im Anhang des Buchs finden Sie aber auch Bezugsadressen für die benötigten Bauteile und einen kompletten Experimentiersatz.

Das Buch vermittelt Ihnen im ersten Teil die wichtigsten Grundlagen der Elektronik und speziell der LED-Schaltungstechnik. Sie erreichen damit einen Wissensstand, mit dem Sie eigenständig LED-Anwendungen entwickeln können. Aber das Thema LED ist so vielseitig, dass auch komplexe Schaltungen mit LEDs und zusätzlicher Elektronik möglich sind. Im zweiten Teil des Buchs werden daher Schaltungen vorgestellt, die weit über das Material im Lernpaket hinausgehen. Sie erhalten damit Anregungen für fortgeschrittene Projekte und Entwicklungen. Hier sollen zunächst die Bauteile aus dem Lernpaket LEDs vorgestellt werden:

## 1.1 Das Steckfeld

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

Das Steckfeld hat im mittleren Bereich 230 Kontakte, die jeweils durch vertikale Streifen mit 5 Kontakten leitend verbunden sind. Zusätzlich gibt es am Rand 40 Kontakte für die Stromversorgung, die aus zwei horizontalen Kontaktfederstreifen mit 20 Kontakten bestehen. Das Steckfeld verfügt damit über zwei unabhängige Versor-

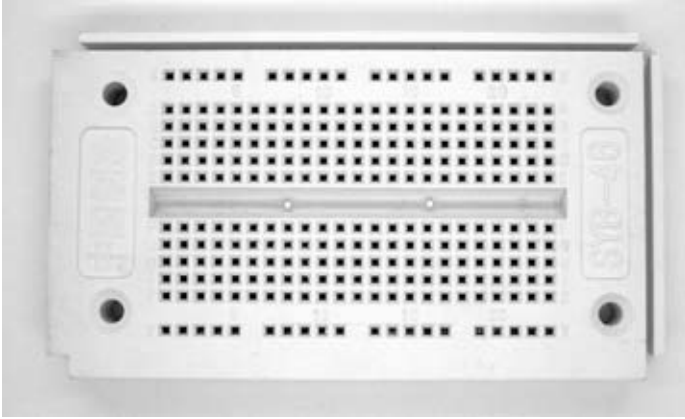


Abb. 1.1 Das Experimentierfeld

gungsschienen. Abb. 1.2 zeigt alle internen Verbindungen. Man erkennt die kurzen Kontaktreihen im Mittelfeld und die langen Versorgungsschienen am Rand.

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

Für die Versuche benötigen Sie kurze und längere Drahtstücke, die Sie passend von dem beiliegenden Schaltdraht abschneiden müssen. Zum Abisolieren der Drahtenden

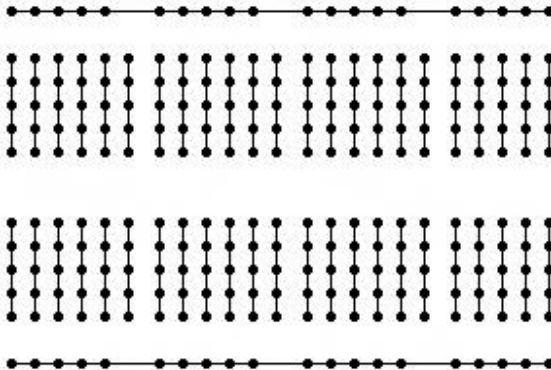


Abb. 1.2 Die internen Kontaktreihen

hat es sich als praktisch erwiesen, die Isolierung mit einem scharfen Messer rundherum einzuschneiden.

## 1.2 Die Batterie

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



Abb. 1.3 Die Batterie real und als Schaltsymbol

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

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

Eine einzelne Zink-Kohle- oder Alkali-Zelle hat eine elektrische Spannung von 1,5 V. In einer Batterie sind mehrere Zellen in Reihe geschaltet. Entsprechend zeigen die



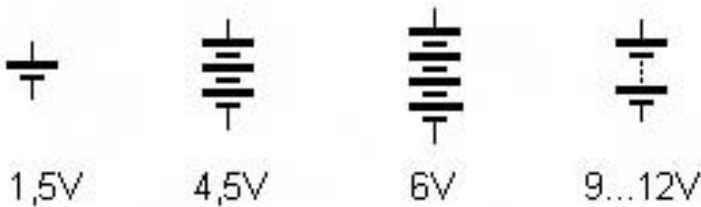


Abb. 1.4 Schaltsymbole für unterschiedliche Batterien

Schaltsymbole die Anzahl der Zellen in einer Batterie. Bei höheren Spannungen ist es üblich, die mittleren Zellen durch eine gestrichelte Linie anzudeuten.

### 1.3 Leuchtdioden

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



Abb. 1.5 Die Leuchtdiode



### 1.4 Widerstände

Die Widerstände im Lernpaket sind Kohleschichtwiderstände mit Toleranzen von  $\pm 5\%$ . Das Widerstandsmaterial ist auf einen Keramikstab aufgebracht und mit einer Schutzschicht überzogen. Die Beschriftung erfolgt in Form von Farbringen. Neben dem Widerstandswert ist auch die Genauigkeitsklasse angegeben.



Abb. 1.6 Ein Widerstand

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

Tabelle 1.1: Widerstandswerte nach der Normreihe E24

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

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

Tabelle 1.2: Der Widerstands-Farbcode

Farbe	Ring 1 1. Ziffer	Ring 2 2. Ziffer	Ring 3 Multiplikator	Ring 4 Toleranz
schwarz		0	1	
braun	1	1	10	1%
rot	2	2	100	2%
orange	3	3	1000	
gelb	4	4	10000	
grün	5	5	100000	0,5%
blau	6	6	1000000	
violett	7	7	10000000	
grau	8	8		
weiß	9	9		
Gold			0,1	5%
Silber			0,01	10%

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

100 $\Omega$	braun, schwarz, braun
220 $\Omega$	rot, rot, braun
330 $\Omega$	orange, orange, braun
470 $\Omega$	gelb, violett, braun
1 k $\Omega$	braun, schwarz, rot

Ein Nachteil dieser Dimensionierung soll nicht verschwiegen werden. Weil der Vorwiderstand nur einen kleinen Spannungsabfall verursacht, ändert sich der Strom relativ stark, wenn die Batteriespannung nachlässt. Mit kleiner Diodenspannung und mehr Spannungsabfall am Widerstand erhält man dagegen einen größeren Spannungsbereich, in dem die Schaltung zufriedenstellend arbeitet.

### 3.4 Parallelschaltung

Wenn zwei oder mehr Verbraucher an einer gemeinsamen Stromquelle betrieben werden sollen, gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten, die Parallel- und die Reihenschaltung.

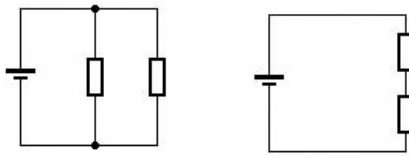


Abb. 3.13 Parallel- und Reihenschaltung

Wenn zwei Verbraucher in Reihe geschaltet werden (Abb. 3.13 rechts), fließt durch sie der gleiche Strom. Jeder erhält jedoch nur einen Teil der Batteriespannung. Diese Schaltung wurde im vorigen Abschnitt verwendet. Bei der Reihenschaltung von LEDs fließt durch jede LED der gleiche Strom. Damit hat man keine Möglichkeit, die Strom individuell einzustellen. Tatsächlich sind unterschiedliche LEDs bei gleichem Strom nicht gleich hell.

Wenn beide Verbraucher parallel angeschlossen werden (Abb. 3.13 links), erhalten sie die gleiche Spannung. Ein Beispiel ist die Verdrahtung in einem KFZ. Die Batterie hat eine Spannung von 12 V ebenso wie alle Lampen. Sie müssen also parallel angeschlossen werden. Bei der Parallelschaltung von LEDs muss jeweils die Reihenschaltung aus LED und Vorwiderstand insgesamt als Verbraucher gesehen werden. Aus Gründen der unterschiedlichen LED-Spannung ist es nicht möglich, einen gemeinsamen Vorwiderstand zu verwenden. Die Unterschiede in der Helligkeit können durch verschiedene Vorwiderstände ausgeglichen werden.

Für jede LED einzeln muss der Maximalstrom und damit der geringste erlaubte Vorwiderstand bei einer gegebenen Anschlussspannung beachtet werden. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Mindestwiderstände.

Tabelle 3: Mindestwiderstände bei unterschiedlichen Anschlussspannungen

LED	3 V	6 V	9 V	12 V
Rot, 20 mA, 1,8 V	60 $\Omega$	210 $\Omega$	360 $\Omega$	510 $\Omega$
Gelb 20 mA, 2,1 V	45 $\Omega$	195 $\Omega$	345 $\Omega$	495 $\Omega$
Grün, 20 mA, 2,2 V	40 $\Omega$	190 $\Omega$	340 $\Omega$	490 $\Omega$
Weiß 25 mA, 3,6 V	-	96 $\Omega$	216 $\Omega$	336 $\Omega$

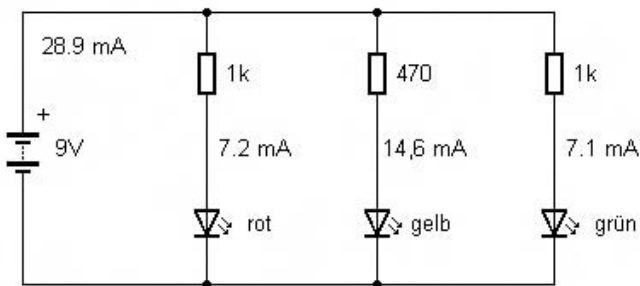


Abb. 3.14 Parallelschaltung mit drei LEDs

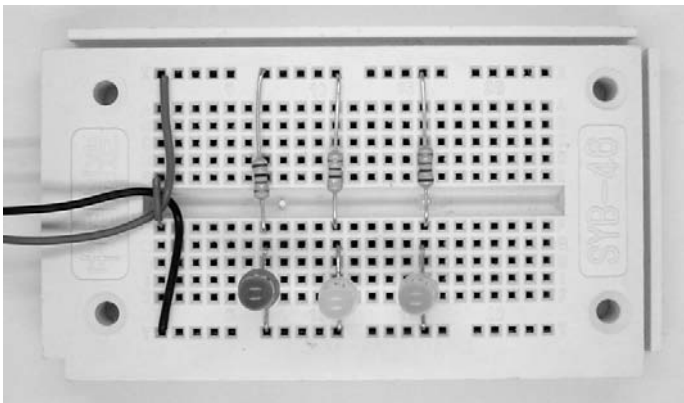


Abb. 3.15 Eigener Widerstand für jede LED

Abb. 3.14 zeigt ein Beispiel für eine Parallelschaltung mit drei LEDs mit jeweils eigenem Vorwiderstand. Die gelbe LED sollte mehr Strom erhalten, um ihre subjektiv empfundene geringere Helligkeit auszugleichen. Im Schaltbild sind die real gemessenen Ströme für jede LED angegeben. Insgesamt addieren sich die Ströme auf fast 30 mA.

### 3.5 Gemischte Reihen/Parallelschaltung

Parallel- und Reihenschaltung lassen sich sinnvoll kombinieren, wenn mehrere LEDs gleichzeitig betrieben werden sollen. Abb. 3.16 zeigt nur eine von mehreren möglichen Varianten für den gleichzeitigen Betrieb aller sieben LEDs aus dem Lernpaket LEDs.

Versuchen Sie auch andere mögliche Schaltungen. Beispiele für möglich Kombinationen von LEDs und Vorwiderständen finden Sie im Abschnitt 3.3. Jeder Zweig lässt

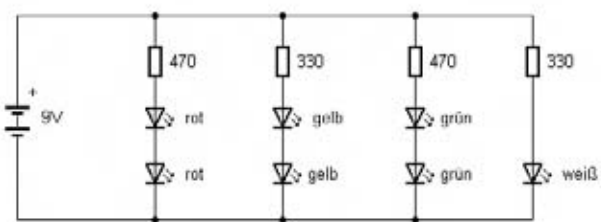


Abb. 3.16 Gemischte Parallel/Reihenschaltung

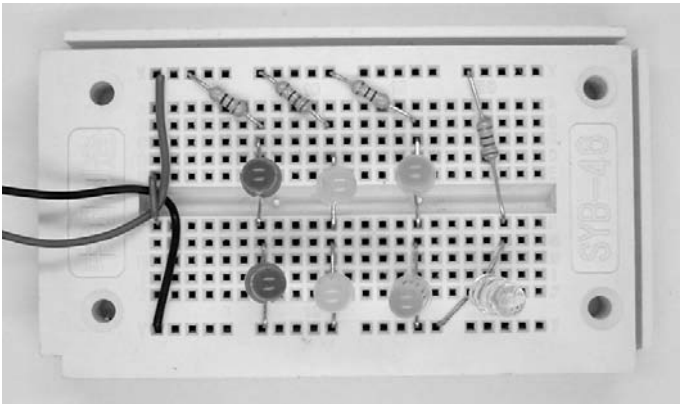


Abb. 3.17 Alle LEDs in einer Schaltung

sich einzeln dimensionieren und mit anderen Zweigen parallel schalten. Planen und erproben Sie auch Schaltungen für größere oder kleinere Spannungen.

Als Spannungsquelle für LED-Schaltungen können sie neben Batterien und Akkus auch Netzteile verwenden. Besonders geeignet sind stabilisierte Steckernetzteile mit wählbaren Spannungen zwischen 3 V und 12 V. Vorsicht ist bei unstabilisierten Netzgeräten geboten: Die angegebenen Spannungen gelten für die Nennlast und werden im Leerlauf und bei kleinen Lasten teilweise erheblich überschritten. Bei einem 500-mA-Steckernetzteil wird z.B. bei 6 V Nennspannung im Leerlauf tatsächlich über 10 V gemessen. Da LED-Schaltungen meist nur geringe Ströme benötigen, sollte man die Spannung immer eine Stufe niedriger einstellen, um eine Überlastung zu vermeiden.

### 3.6 Wechselstrombetrieb

Alle bisher vorgestellten Schaltungen wurden mit Gleichspannung betrieben. Bei der Verwendung von Netzteilen kann aber auch Wechselspannung zum Einsatz kommen. So liefert z.B. ein üblicher Halogen-Trafo eine Wechselspannung von ca. 12 V. Mit nur einer LED tritt nun folgendes Problem auf: Strom fließt nur während einer Halbwelle der Wechselspannung, also 50 mal in jeder Sekunde. In der jeweils anderen Halbwelle wird die LED in Sperrrichtung betrieben. Bei einer Nennspannung von 12 V wird dabei eine Scheitelspannung von 17 V erreicht. Weil in diesem Moment kein Strom fließt, gibt es keinen Spannungsabfall am Vorwiderstand. Die Sperrspannung an der LED erreicht also kurzzeitig bis zu 17 V und überschreitet dabei die meist angegebene erlaubte Sperrspannung von 5 V erheblich. Daher kann es zur Beschädigung der LED kommen.

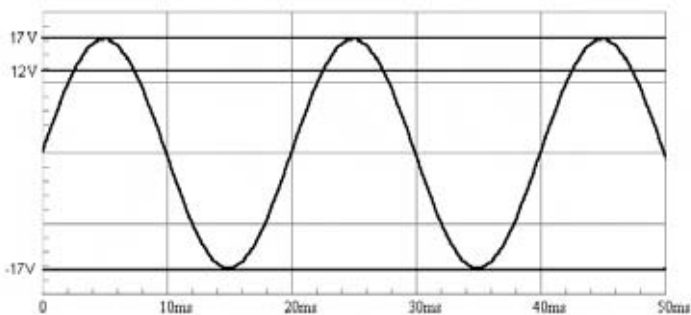


Abb. 3.18 Spannungsverlauf an einem 12-V-Trafo

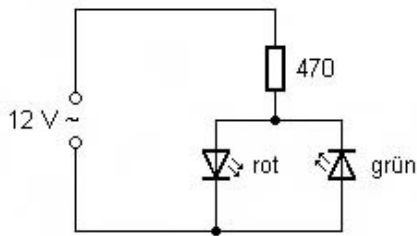


Abb. 3.19 Antiparalleler Betrieb an Wechselspannung

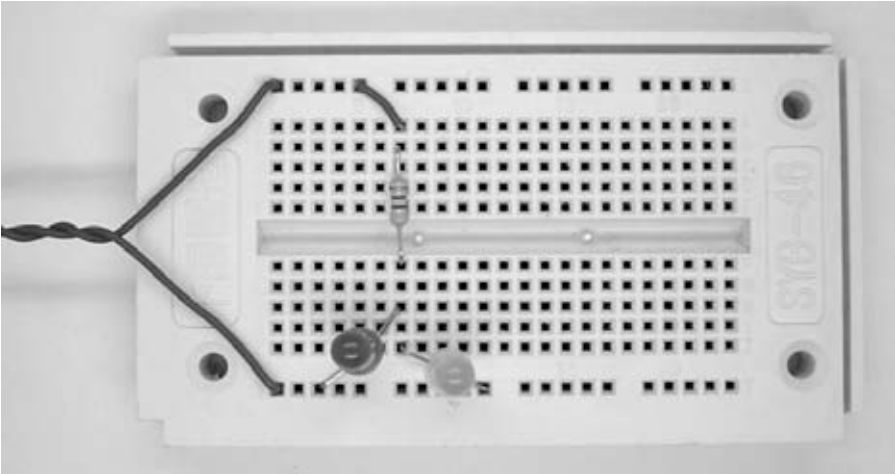


Abb. 3.20 Betrieb an 12 V Wechselspannung

Die richtige Lösung ist die gegenseinnige Parallelschaltung von zwei LEDs mit einem gemeinsamen Vorwiderstand. In den Sperrphasen einer LED leitet jeweils die andere LED und begrenzt die Sperrspannung auf den Wert der Durchlassspannung.

Jede der beiden LEDs erhält während der jeweils leitenden Phase der Wechselspannung einen mittleren Strom von etwa 20 mA. Da die effektive Einschaltdauer aber nur ca. 50 % beträgt, fließt insgesamt ein mittlerer Strom von nur etwa 10 mA. Beide LEDs leuchten abwechselnd und flackern mit einer Frequenz von 50 Hz. Bewegt man sie schnell durch das Blickfeld, kommt es zu einem Stroboskopeffekt, d.h. man kann abwechselnde kurze Lichtblitze erkennen. Der selbe Effekt tritt auf,



wenn man den Blick über die LED streifen lässt. Bei unbewegtem Blick ist dagegen das Flackern wegen der hohen Frequenz von 50 Hertz kaum zu bemerken.

Die Schaltung lässt sich problemlos auf mehrere LEDs erweitern, wobei man mit einem gemeinsamen Vorwiderstand auskommt. Abb. 3.21 zeigt eine Schaltung mit sechs verschiedenfarbigen LEDs an 12 V Wechselspannung.

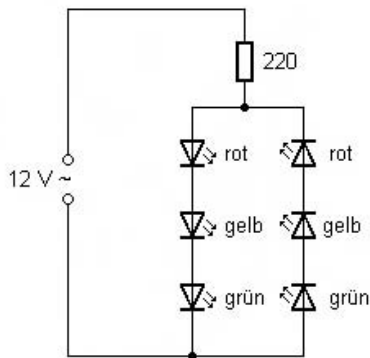


Abb. 3.21 Sechs LEDs im Wechselstromkreis)

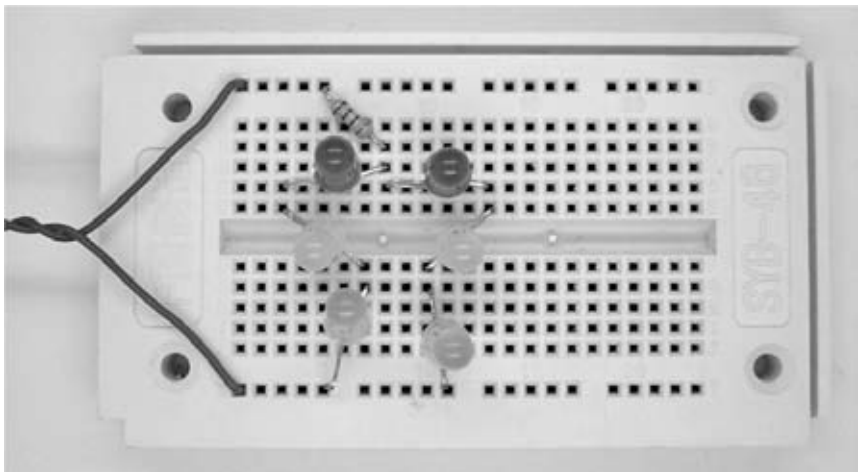


Abb. 3.22 Sechs LEDs für direkten Trafoanschluss

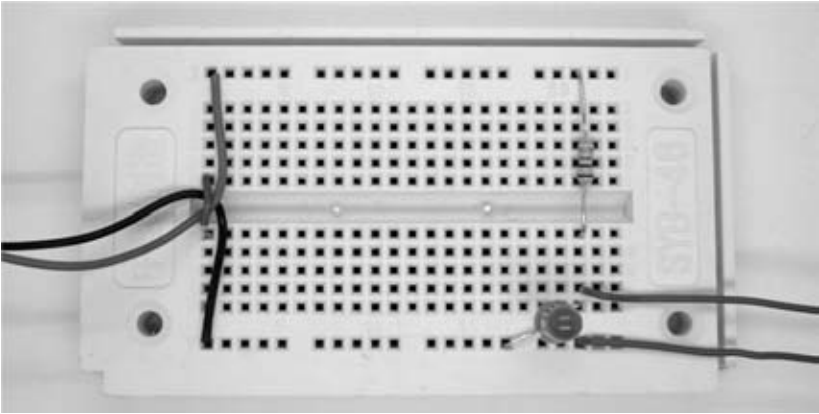


Abb. 4.5 Die Alarmschleife

## 4.4 Polaritätstester

Vor allem bei Steckernetzgeräten ist die Polarität oft ungewiss. Ein einfacher Tester mit zwei LEDs schafft Klarheit. Wird eine Spannungsquelle nach Abb. 4.6 angeschlossen, leuchtet die rote LED. Bei umgekehrter Polarität leuchtet die grüne LED.

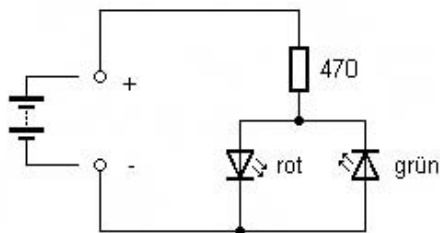


Abb. 4.6 Der Stromrichtungsanzeiger

Der Tester ist auch für Wechselspannung einsetzbar. In diesem Fall leuchten beide LEDs. Damit hat man ein vollständiges Prüfgerät für kleinere Netzteile und Transformatoren bis 12 V.

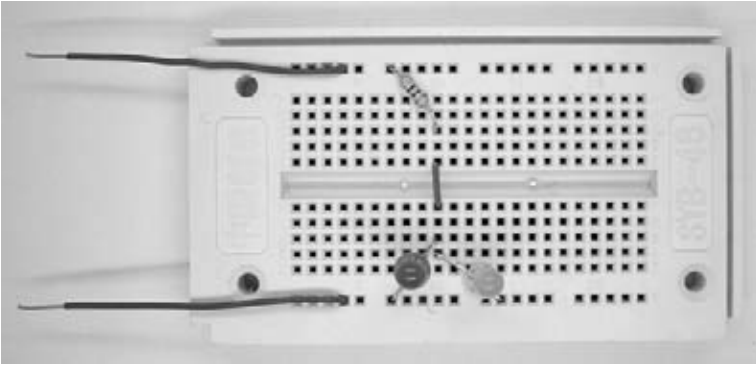


Abb. 4.7 Richtungstester mit Prüfkabeln

## 4.5 Batterietester

Mit LEDs lassen sich einfache Batterietester aufbauen, die eine grobe Aussage über den Zustand erlauben, indem sie helfen die Spannung zu beurteilen. Die bisher vorgestellten LED-Schaltungen arbeiten meist in einem weiten Spannungsbereich und zeigen nur geringe Änderungen der Helligkeit, wenn eine Batterie schon weitgehend verbraucht ist. Eine Ausnahme ist die direkte Anschluss einer roten LED an eine 1,5-V-Zelle (vgl. Kap. 3.1). Da 1,5 V gerade an der Diodenschwelle liegt, leuchtet die LED nur bei voller Spannung.

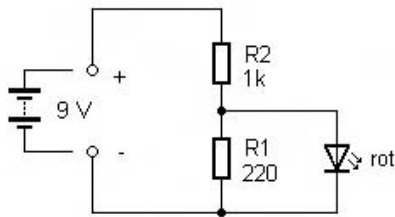


Abb. 4.8 Ein Batterieprüfer für 9 V

Mit einem Spannungsteiler aus zwei Widerständen kann man die Schwellenspannung einer LED-Schaltung beliebig vergrößern und an verschiedene Bedürfnisse anpassen. Die Dimensionierung nach Abb. 4.8 setzt die Schwelle auf etwa 9 V. Bei genau 9 V zeigt der unbelastete Spannungsteiler eine Spannung von 1,62 V, also gerade etwas mehr als die Schwelle der roten LED.

$$U = U_{\text{ges}} * R_1 / (R_1 + R_2)$$

$$U = 9 \text{ V} * 220 \Omega / 1220 \Omega$$

$$U = 1,62 \text{ V}$$

In der Praxis leuchtet die LED bei einer Batteriespannung von 9,0 V gerade sehr schwach. Schon bei einem geringen Abfall der Spannung bleibt die LED aus. Die Prüfung ist damit unrealistisch streng. Vergrößert man den Teilwiderstand  $R_1$  auf  $330 \Omega$ , vermittelt die Anzeige einen guten Eindruck von Zustand der Batterie. Bei 9 V leuchtet die LED hell, bei 8 V und 7 V entsprechend schwächer. Erst bei 6 V ist die LED völlig aus.

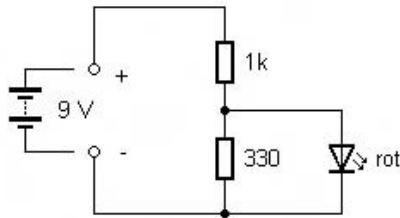


Abb. 4.9 Spannungsprüfung für den Bereich 6 V bis 9 V

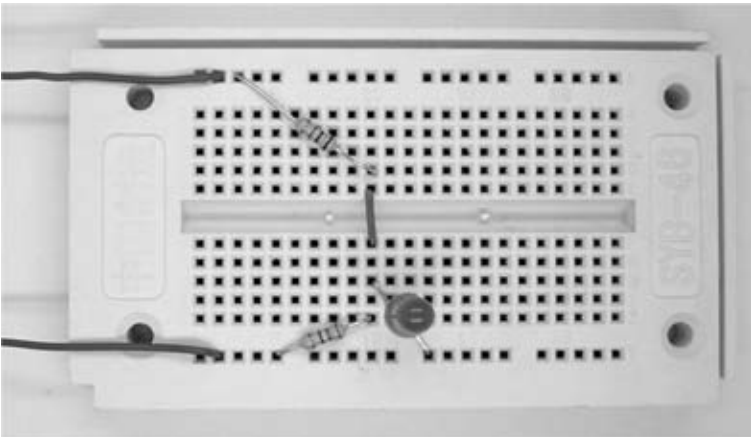


Abb. 4.10 Tester für 9-V-Batterien

Die Schaltung lässt sich für andere Batterien anpassen. Abb. 4.11 zeigt eine Variante für 6-V-Batterien. Die absolute Schwelle liegt hier bei ca. 5 V.

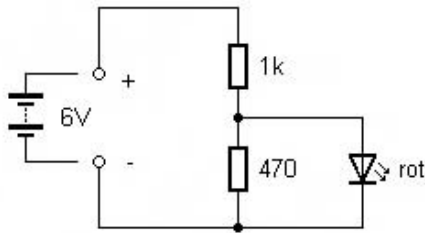


Abb. 4.11 Batterietester für 6 V

Spannungsprüfer mit LEDs vermitteln einen groben Überblick, sind aber aus zwei Gründen nicht sehr genau. Zum Einen ist der subjektive Eindruck von der Helligkeit stark von der Umgebungshelligkeit abgängig. Zum Anderen verschiebt sich die Diodenschwelle mit der Temperatur, was im Folgenden für einen Temperatursensor ausgenutzt wird. Bei etwa gleichen Umgebungsbedingungen eignen sich LED-Tester jedoch gut für den Vergleich von Batterien.

### 4.6 LED als Temperatursensor

Bei gleichem Strom ändert sich die Spannung an einer LED um etwa  $-2\text{ mV}$  pro Grad. Die Temperaturabhängigkeit der Diodenkennlinie kann ausgenutzt werden, um zwei Temperaturen zu vergleichen. Wenn zwei LEDs nach Abb. 4.12 parallel geschaltet werden, leuchtet die wärmere LED heller als die kältere. Temperaturunterschiede von 10 Grad sind deutlich erkennbar. Für einen erkennbaren Effekt reicht schon die Handwärme.

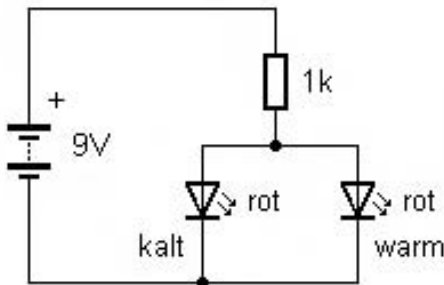


Abb. 4.12 Temperaturvergleich mit zwei LEDs

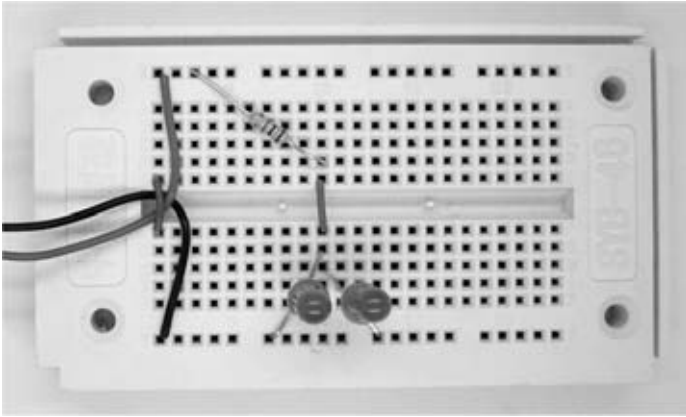


Abb. 4.13 Gleiche Temperatur und Helligkeit?

Bei einem Temperaturunterschied über 50 Grad ist die kältere LED fast ganz aus. Eine der LEDs kann mit einer Flamme oder einem LötKolben erwärmt werden. Vermeiden Sie aber den direkten Kontakt mit der Flamme, um die Kunststoffumhüllung nicht zu beschädigen. Wickeln Sie ein Stück Draht um den Kathodenanschluss der zu erwärmenden LED. Am Ende des Drahtes können sie dann mit einem Feuerzeug dosiert Wärme zuführen. Der Kathodenanschluss eignet sich gut für die Wärmeübertragung, weil er zum Halter für den LED-Kristall führt und einen guten Wärmekontakt darstellt. Die Anode ist dagegen über ein dünnes Drähtchen mit dem Kristall verbunden.



Abb. 4.14 Wärmeübertragung mit einem Draht

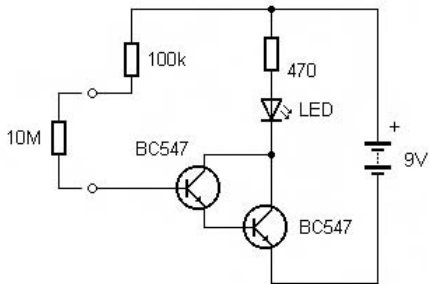


Abb. 5.8 Die Darlington-Schaltung

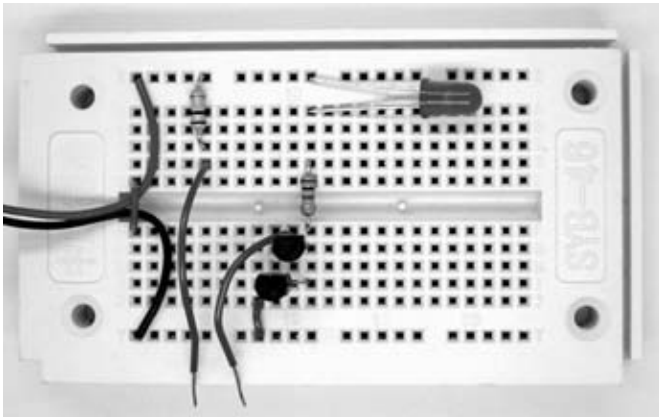


Abb. 5.9 Der Berührungssensor

## 5.5 LED als Lichtsensor

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

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



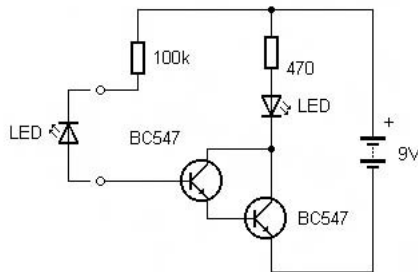


Abb. 5.10 Verstärkung des LED-Sperrstroms

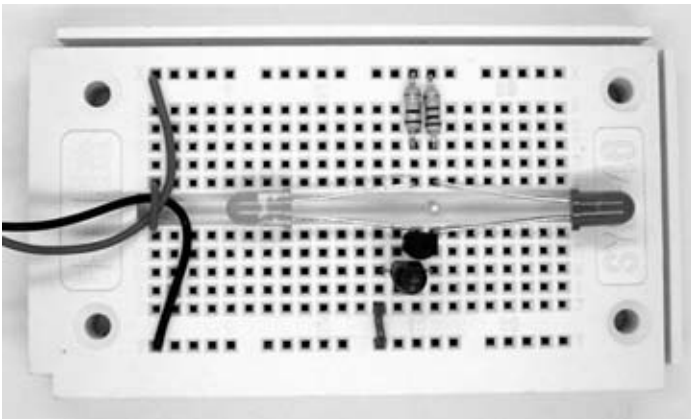


Abb. 5.11 Der LED-Lichtsensord

## 5.6 Die Konstantstromquelle

Manchmal benötigt man einen konstanten Strom, der möglichst unanhängig von Spannungsschwankungen ist. Eine LED würde also mit gleicher Helligkeit leuchten, auch wenn die Batterie bereits eine kleinere Spannung hat. Die Schaltung nach Abb. 5.12 zeigt eine einfache Stabilisierungsschaltung. Eine rote LED am Eingang stabilisiert die Basisspannung auf etwa 1,6 V. Da die Basis-Emitterspannung immer rund 0,6 V beträgt, liegt am Emitterwiderstand eine Spannung von etwa 1 V. Der Widerstand bestimmt also den Emitterstrom. Der Kollektorstrom entspricht fast vollständig dem Emitterstrom, der nur um den sehr viel kleineren Basisstrom größer ist. Die LED im Kollektorkreis braucht keinen Vorwiderstand, weil der LED-Strom durch den Transistor geregelt wird.

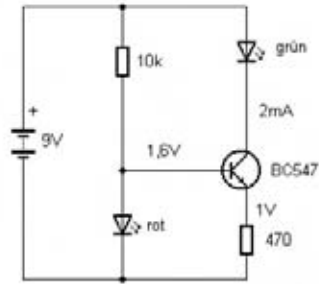


Abb. 5.12 Eine stabilisierte Stromquelle

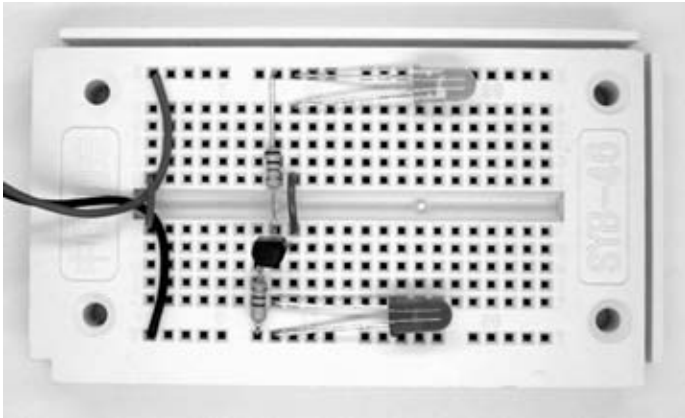


Abb. 5.13 Stabilisierung der LED-Helligkeit

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

Eine weitere gebräuchliche Variante der Konstantstromquelle verwendet einen zweiten Transistor an Stelle der LED. Die eigentliche Spannungsreferenz ist nun die Basis-Emitterspannung des linken Transistors in Abb. 5.14.

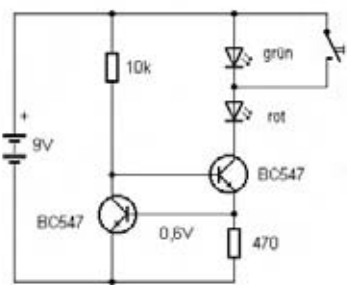


Abb. 5.14 Veränderte Konstantstromquelle

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

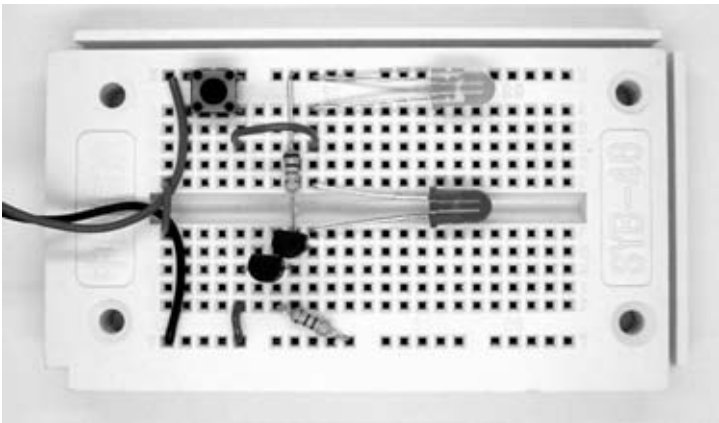


Abb. 5.15 Konstantstrom mit zwei NPN-Transistoren

## 7.4 Timer-Wechselblinker

Die Schaltung in Abb. 7.8 zeigt eine andere Variante der Rückkopplung. Diesmal genügt ein Widerstand vom Gegentakt-Ausgang an Pin 3 zum Ladekondensator. Hier soll ein Wechselblinker mit geringer Frequenz aufgebaut werden.

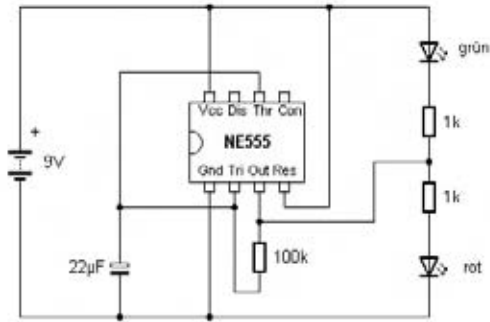


Abb. 7.8 Ein langsamer Blinker

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

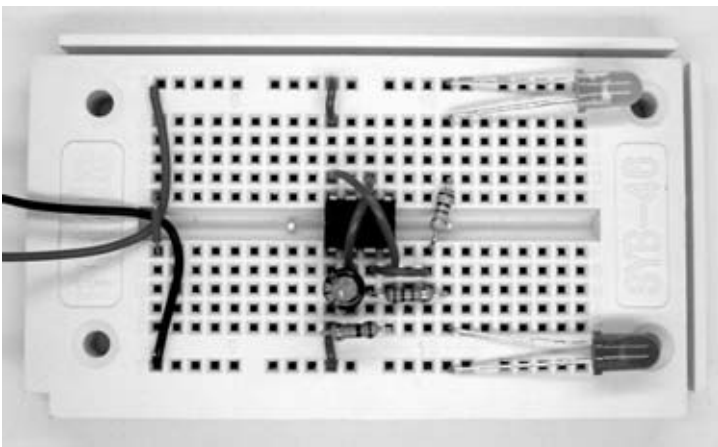


Abb. 7.9 Der Wechselblinker

## 7.5 PWM-Helligkeitssteuerung

Viele scheinbar analoge Steuerungen verwenden tatsächlich ein schnelles Schaltsignal. So steuert z.B. ein Lampendimmer die Helligkeit, indem er die Lampe in schneller Folge ein- und ausschaltet. Die hohe Schaltfrequenz sorgt dafür, dass kaum ein Flackern zu sehen ist. Bei der Pulsweitenmodulation (PWM) verändert man das Verhältnis zwischen Puls (an) und Pause (aus). Die LED-Helligkeit wird hier durch einen lichtabhängigen Widerstand (LDR) gesteuert, hängt also von der Umgebungshelligkeit ab. Ebenso könnte man ein Poti mit  $10\text{ k}\Omega$  für eine manuelle Steuerung einsetzen.

Die Ladezeit des Kondensators ist vom momentanen Widerstand des LDR abhängig. Die Entladezeit dagegen ist immer gleich. Ein größerer Widerstand vergrößert also das Puls-Pausenverhältnis und damit die durchschnittliche Helligkeit der LED am Ausgang. Gleichzeitig wird in dieser Schaltung die Frequenz geringer, was aber nicht

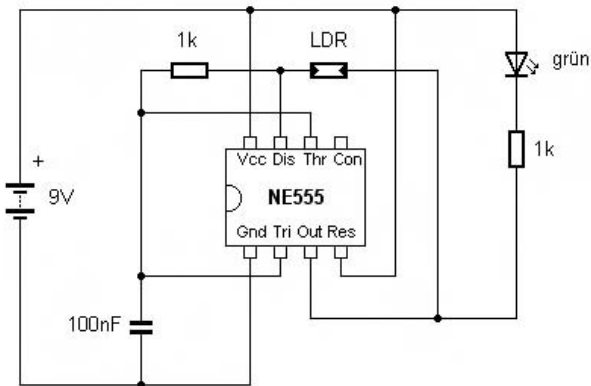


Abb. 7.10 Eine PWM-Steuerung

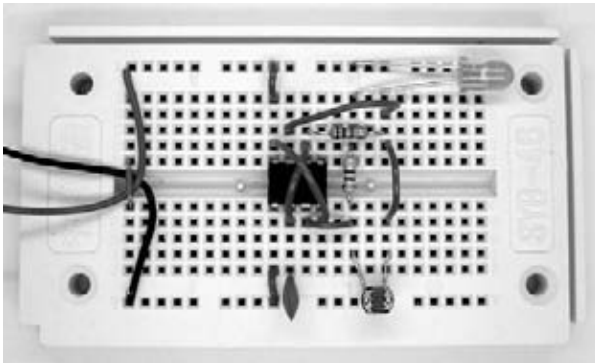


Abb. 7.11 LED-Helligkeitssteuerung

sichtbar wird, solange sie über ca. 50 Hz liegt. Effektiv steuert die Umgebungshelligkeit die LED-Helligkeit. Je mehr Licht auf den LDR fällt, desto heller wird auch die LED. Ähnliche Steuerungen werden oft zur angepassten Helligkeitssteuerung von Anzeigen z.B. in Kraftfahrzeugen verwendet.

## 7.6 LED-Blitzlicht mit dem LM3909

In Schaufenstern und speziellen Werbe-Verpackungen sieht man manchmal eine blinkende LED, die die Aufmerksamkeit des Betrachters erregen soll. Wer genau hinsieht, vermisst vielleicht ein Versorgungskabel. Die Anwendung arbeitet also mit einer Batterie. Speziell für Anwendungen in der Werbung hat National Semiconductor die LED-Blinkschaltung LM3909 entwickelt, die in vielen dieser Werbeblinker ihren Dient tut. Das IC benötigt außer der LED nur einen externen Kondensator und kommt mit einer 1,5-V-Batterie aus. Die Betriebsdauer beträgt mit einer Alkali-Mignonzelle etwa ein halbes Jahr.

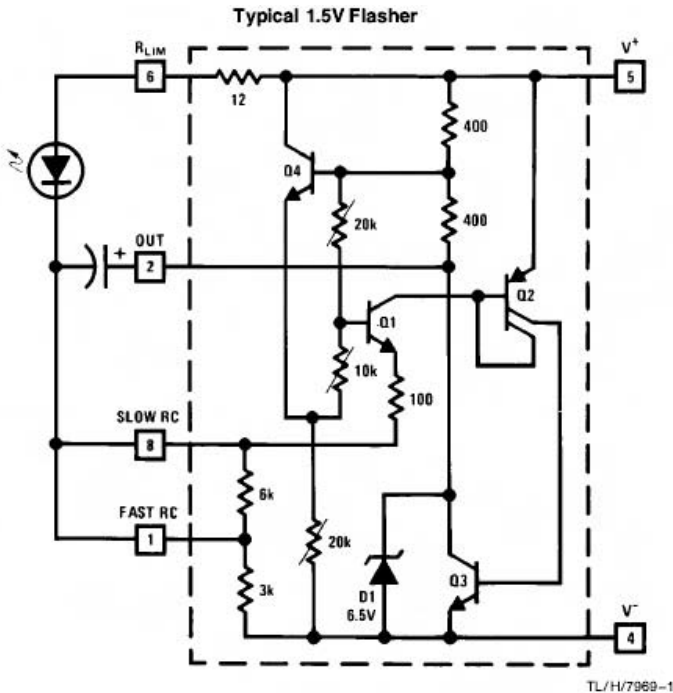


Abb. 7.12 Innenschaltung des LM3909 (National Semiconductor)

Die Innenschaltung (vgl. Abb. 7.12) verrät die Funktion der Schaltung. Der externe Kondensator wird geladen und dann für einen kurzen Moment in Reihe zur Batterie geschaltet. Damit erhält man die erforderliche Durchlassspannung einer LED. Während des Lichtblitzes entlädt sich der Kondensator. In der Ladephase über  $3\text{ k}\Omega$  (fast RC) oder  $9\text{ k}\Omega$  (slow RC) fällt die Spannung am Emitter von Q1 so lange ab, bis der Transistor in den leitenden Zustand gelangt. Über den Stromspiegel Q2 wird der Schalttransistor Q3 durchgeschaltet. Q4 sorgt für die nötige Rückkopplung zur Basis von Q1.

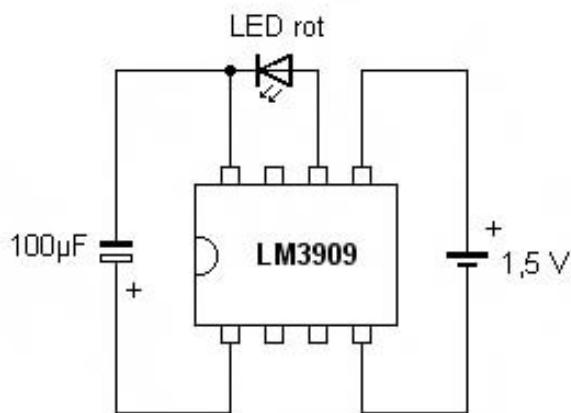


Abb. 7.13 Typische Anwendung des LM3909

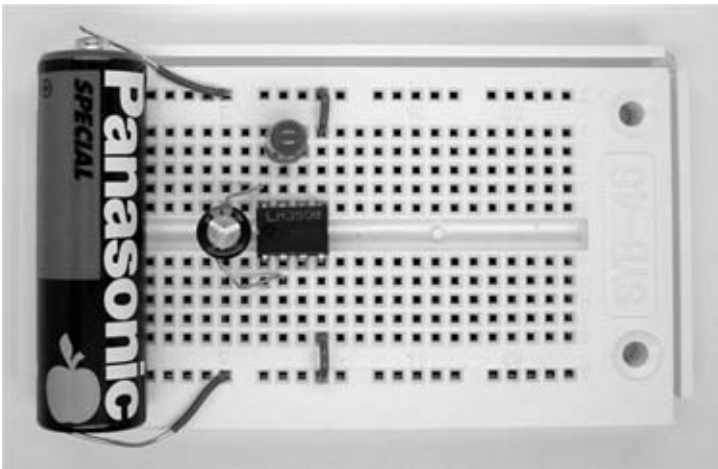


Abb. 7.14 Das integrierte LED-Blitzlicht



Der Anwender hat die Wahl zwischen langsamer und schneller Ladung des Kondensators. Abb. 7.13 zeigt die typische Anwendung bei geringem Ladestrom. Mit einem  $100\text{-}\mu\text{F}$ -Elko erreicht man eine typische Blinkfrequenz von  $1,1\text{ Hz}$  und einen mittleren Strom von nur  $0,32\text{ mA}$ . Mit einem Elko von  $300\text{ }\mu\text{F}$  und einer Verbindung zwischen Pin 2 und Pin 1 (fast RC) erhält man hellere Lichtblitze bei gleicher Frequenz.

## 7.7 LED-Blitzlicht mit Transistoren

Der LM3909 ist besonders reizvoll, da er eine extrem geringe äußere Beschaltung benötigt. Das IC ist allerdings nur noch bei wenigen Händlern im Programm. Mit üblichen Bauteilen aus der Bastelkiste lässt sich jedoch eine Schaltung mit exakt gleicher Funktion aufbauen.

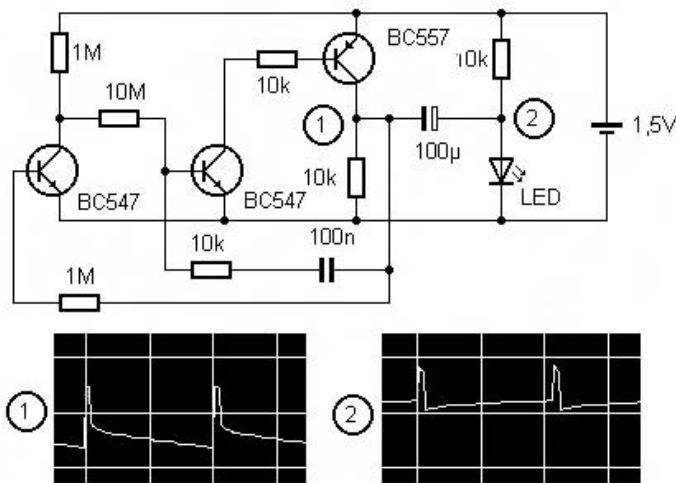


Abb. 7.15 LED-Blitzlicht mit Transistoren

Die Schaltung besteht aus einem astabilen Multivibrator mit besonderen Eigenschaften. Ein Elko von  $100\text{ }\mu\text{F}$  lädt sich relativ langsam und mit kleinem Strom auf und wird in einem kurzen Impuls über die LED entladen. Dabei kommt es auch zur nötigen Spannungsüberhöhung, denn  $1,5\text{ V}$  ist ja für eine LED zu wenig.

Die beiden Oszillogramme verdeutlichen die Funktion. Die Spannung am Kollektor des PNP-Transistors schaltet bis auf ca.  $1,5\text{ V}$  hoch, nachdem der Elko an dieser Stelle

über einen Widerstand von 10 k bis nahe 0,3 V entladen wurde. Auf der anderen Seite wurde er bis ca. 1,2 V geladen. Die Differenz von 0,9 V liegt also am Elko, wenn der Blinkimpuls erscheint. Sie addiert sich in diesem Moment zur Batteriespannung von 1,5 V, so dass die Impulshöhe an der LED bis 2,4 V betragen könnte. Tatsächlich aber zeigt Oszillogramm 2, dass die Spannung durch die LED auf ca. 1,8 V begrenzt wird. Die LED-Spannung passt sich selbst der verwendeten LED an und kann theoretisch bis fast 3 V betragen.

Die Schaltung wurde für den Lowpower-Betrieb optimiert. Deshalb wurde der eigentliche Flip-Flop mit einem NPN- und einen PNP-Transistor aufgebaut. Man kann auf diese Weise die Verschwendung von Steuerstrom vermeiden. Beide Transistoren leiten nur für den kurzen Moment des LED-Blinkens. Damit stabile Bedingungen herrschen und die Schaltung sicher schwingt, gibt es eine zusätzliche Stufe mit einer Gleichspannungs-Gegenkopplung. Auch hier wurde durch besonders hochohmige Widerstände auf geringsten Verbrauch geachtet.

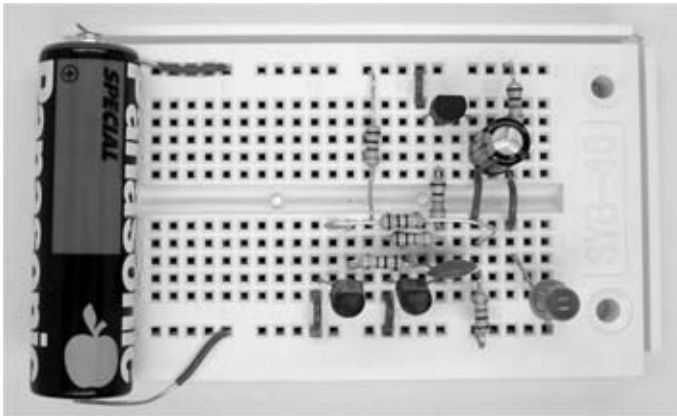


Abb. 7.16 LED-Blitzlicht mit langer Betriebsdauer

Für die Abschätzung des Verbrauchs kann man vom Ladestrom des Elkos ausgehen. An beiden Ladewiderständen mit je 10 k liegt im Schnitt eine Spannung von insgesamt 1 V. Damit beträgt der durchschnittliche Ladestrom  $50 \mu\text{A}$ . Für die Dauer des LED-Impulses wird noch einmal genau die gleiche Ladung aus der Batterie entnommen. Der mittlere Strom beträgt also rund  $100 \mu\text{A}$ . Geht man von einer Batteriekapazität von 2000 mAh aus, sollte die Batterie etwa 20000 Stunden halten, das sind mehr als zwei Jahre. Da der Strom gegen Ende etwas abnimmt und die LED nicht mehr so hell leuchtet, dürfte die tatsächliche Betriebsdauer noch höher liegen.

## 7.8 Ein Soft-Blinker

Eine LED-Blinker mit weich an- und abschwellender Helligkeit kann bei geeigneter Frequenz zur mentalen Entspannung des Betrachters beitragen. Der optimale Helligkeitsverlauf folgt einer Sinusschwingung. Sinusoszillatoren lassen sich mit Phasenschieber-Netzwerken realisieren. Eine einzelne Verstärkerstufe dreht die Phase um 180 Grad. Drei RC-Glieder sorgen dann mit jeweils 60 Grad für die korrekte Gesamtphase. Dazu benötigt man im Normalfall drei gleiche Widerstände und drei gleiche Kondensatoren. Es geht jedoch auch mit dem vorhandenen Bauteilen des Lernpakets. Das Schaltbild nach Abb. 7.17 zeigt eine mögliche Lösung.

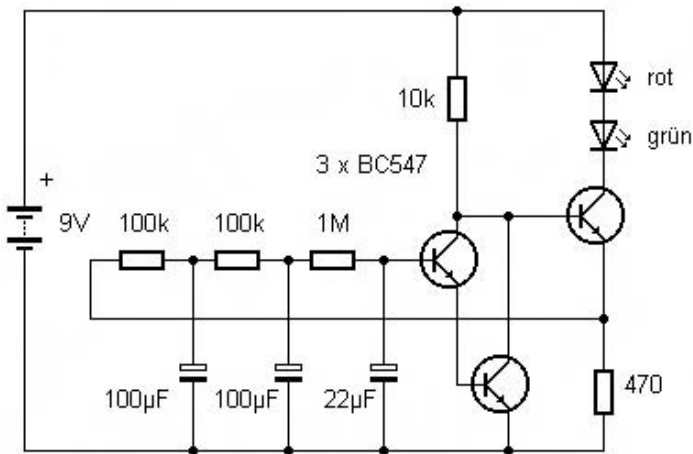


Abb. 7.17 Ein Phasenschieber-Oszillator

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

Die LED zeigt ein langsames, weich auf- und abschwellendes Leuchten. Da die Ausgangsstufe als Stromquelle arbeitet, können Sie die zweite LED ohne Änderung der

Stromstärke in Reihe zur ersten anschließen. Wenn Sie zusätzlich noch die Gesamthelligkeit vergrößern wollen, verkleinern Sie den Emitterwiderstand der Ausgangsstufe durch Parallelschalten des zweiten 470- $\Omega$ -Widerstands.

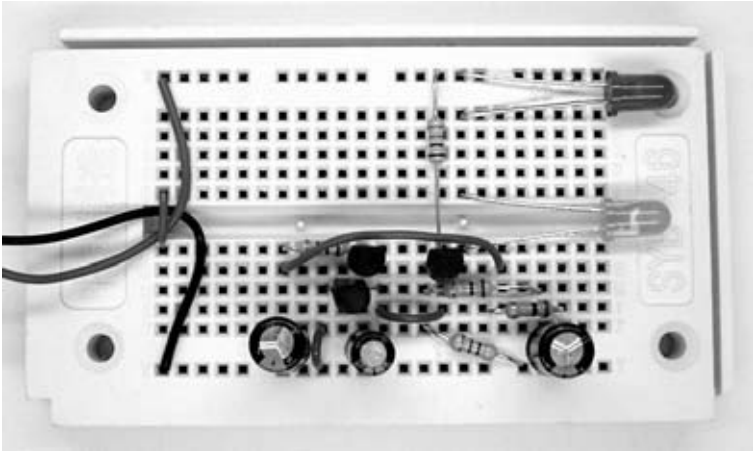


Abb. 7.18 Der Soft-Blinker

Do it yourself

Burkhard Kainka

# Schnellstart LEDs

Die Entwicklung superheller organischer Leuchtdioden hat zu einer wahrhaften Revolution in der Beleuchtungs- und Lichtsignaltechnik geführt. In modernen Autos ist mit Ausnahme der Hauptscheinwerfer kaum noch eine Glühlampe zu finden. Und auch daran wird gearbeitet. Wer sich für die Anwendung normaler und superheller LEDs interessiert, hat mit diesem Praxisbuch die richtige Wahl getroffen.

Versuche mit Leuchtdioden (LEDs) sind heute für Viele der Einstieg in die moderne Elektronik. Besonders die hocheffizienten superhellen LEDs faszinieren und motivieren, selbst einmal etwas zu bauen. Die ersten Erfolgserlebnisse stellen sich schnell ein.

Natürlich geht es nicht ganz ohne Theorie und Grundlagen. Welche Ströme sind erlaubt, welche Spannungen dürfen verwendet werden, wie sind die erforderlichen Vorwiderstände zu berechnen?

In diesem Buch findet der Leser und Anwender eine gründliche und praxisorientierte Einführung. Dabei wird deutlich, dass das Thema LED so stark mit allen Bereichen der Elektronik verbunden ist, dass die möglichen Anwendungen nahezu unerschöpflich erscheinen. Das Buch gibt einen Überblick über die wichtigsten Schaltungen und Applikationen.

Aus dem Inhalt:

- Grundlagen der LED-Schaltungstechnik
- Einführung in die Halbleiter-Schaltungstechnik
- Sensoren, Blink- und Blitzschaltungen
- Stromversorgung und Spannungswandler
- Beleuchtungen mit superhellen weißen LEDs
- Messtechnische Grundlagen

ISBN 3-7723-4120-9



9 783772 341205

€ 12,95 [D]

FRANZIS

Besuchen Sie uns im Internet: [www.franzis.de](http://www.franzis.de)