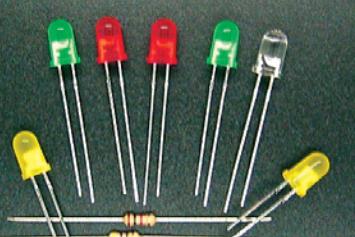


Do it yourself

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.

Vorwort

LEDs sind für Viele der Einstieg in die Elektronik. Der Start ist einfach und motivierend zugleich, eben ein Schnellstart. Schon mit geringstem Aufwand sind die ersten Erfolge zu erzielen. Und dennoch werden viele Bereiche der Elektronik berührt, wenn man alle Möglichkeiten ausschöpfen will. Der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt, wenn es darum geht eigene Konstruktionen zu verwirklichen, sei es eine stromsparende LED-Taschenlampe, seien es Test- und Prüfgeräte oder eine moderne Raumbeleuchtung.

Schon beim Aufbau einfacher Stromkreise mit LEDs muss vieles beachtet werden. Die Berechnung der geeigneten Vorwiderstände verlangt die Kenntnis elektrotechnischer Grundlagen. So fördert die Arbeit mit LEDs nicht nur das handwerkliche Geschick, sondern auch technisches Grundwissen. Wenn es dann um fortgeschrittene LED-Elektronik mit Transistoren und integrierten Schaltkreisen geht, kommt einiges an Elektronik-Wissen hinzu. LEDs können damit zum Ausgangspunkt für tiefgreifende Studien werden.

Dieses Buch versucht beides, den Schnellstart für absolute Einsteiger zu garantieren und zugleich auch Projekte vorzustellen, die höhere Ansprüche an den erfahrenen Leser stellen. Ich hoffe, dass für jeden das Richtige dabei ist, und wünsche Ihnen viel Erfolg beim Experimentieren mit LEDs!

Ihr Burkhard Kainka

Inhalt

1 Vorbereitungen	9
1.1 Das Steckfeld	9
1.2 Die Batterie.....	11
1.3 Leuchtdioden	12
1.4 Widerstände	12
2 LED Grundversuche	15
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
3 LED-Schaltungstechnik	
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
4 Testgeräte mit LEDs	42
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
5 Fortgeschrittene Versuche mit LEDs	50
5.1 Transistoren und mehr	50
5.2 Transistor-Grundschaltung.....	52

5.3 Nachlaufsteuerung	53
5.4 Die Darlington-Schaltung.....	54
5.5 LED als Lichtsensor.....	55
5.6 Die Konstantstromquelle	56
6 Kippschaltungen mit LEDs	
6.1 Elektronischer Umschalter	59
6.2 Die Thyristor-Schaltung	60
6.3 Der Schmitt-Trigger	62
6.4 An/Aus-Taster.	63
7 Blinker und Oszillatoren	
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
8 Stromversorgung und LED-Beleuchtungen	
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
Anhang	
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-

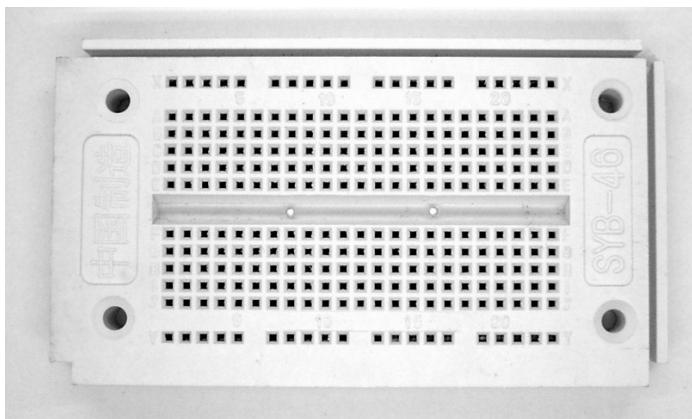


Abb. 1.1 Das Experimentierfeld

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 verzinnten 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

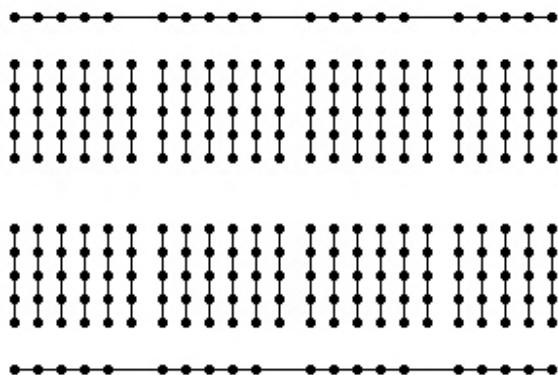


Abb. 1.2 Die internen Kontaktreihen

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 aufspleißen. 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

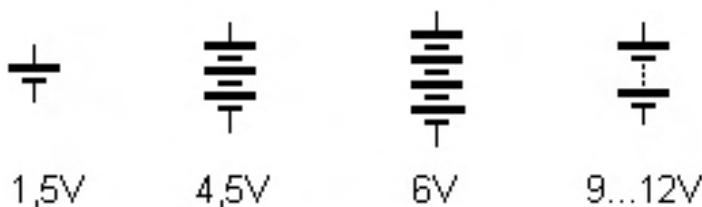


Abb. 1.4 Schaltsymbole für unterschiedliche Batterien

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.

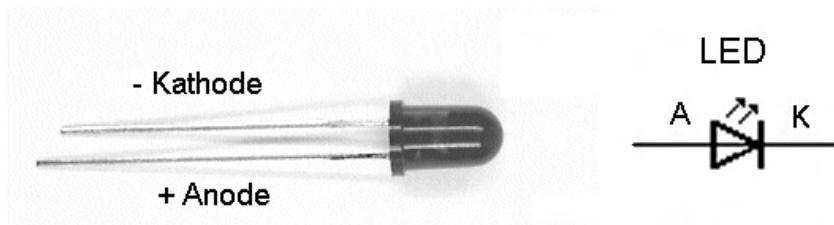


Abb. 1.5 Die Leuchtdiode

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 Farbringten. 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-Farbcodes

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 Farbringern 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 Ω | braun, schwarz, braun |
| 220 Ω | rot, rot, braun |
| 330 Ω | orange, orange, braun |
| 470 Ω | gelb, violett, braun |
| 1 k Ω | braun, schwarz, rot |

2 LED-Grundversuche

Mit einer Batterie und einer kleinen Glühlampe könnte man einfach mal dies und jenes probieren, bis die Lampe leuchtet. Mit einer LED sollte man das nicht versuchen, denn der direkte Anschluss an die Batterie kann die LED schnell zerstören. Man muss schon etwas genauer planen: Wichtig ist die richtige Spannung, die korrekte Polung, ein geeigneter Vorwiderstand. Aber schwierig ist es nicht. Probieren Sie die vorgeschlagenen Schaltungen aus, und werden Sie fit für den sicheren Umgang mit LEDs.

2.1 LED mit Vorwiderstand

Bauen sie Ihren ersten Stromkreis mit Batterie, LED und Vorwiderstand. Verwenden Sie eine rote LED und eine Batterie mit 9 V. Mit dem größten Widerstand ($1\text{ k}\Omega = 1000\ \Omega$, Farben: braun, schwarz, rot) aus dem Lernpaket sind Sie auf der sicheren Seite, was den LED-Strom angeht. Abb. 2.1 zeigt den Aufbau der Schaltung als Schaltplan.

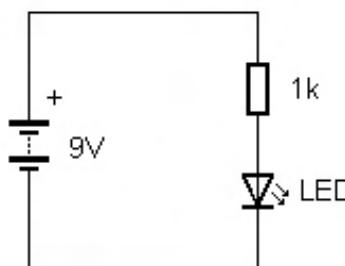


Abb. 2.1 Schaltbild mit LED und Vorwiderstand

Verwenden Sie die Steckplatine für den Aufbau. Die obere Versorgungsschiene soll mit dem Pluspol der Batterie, also mit dem roten Anschluss des Batterieclips verbunden werden. Die untere Schiene soll entsprechend mit dem schwarzen Clipanschluss, also mit dem Minuspol der Batterie verbunden werden. Der Aufbau wird auf diese Weise dem Schaltbild ähnlich, so dass eine Fehlerkontrolle keine Probleme bereitet. Biegen Sie die Anschlussdrähte der LEDs und der Widerstände so um, dass sie in die Kontakte passen. Einige Anschlussdrähte wurden übrigens im Interesse einer besseren Darstellung speziell für den Testaufbau und die Fotos gekürzt. Für Ihre Experimente

sollten Sie die Drähte nach Möglichkeit ungekürzt lassen, damit die Bauteile für alle Versuche einsetzbar bleiben.

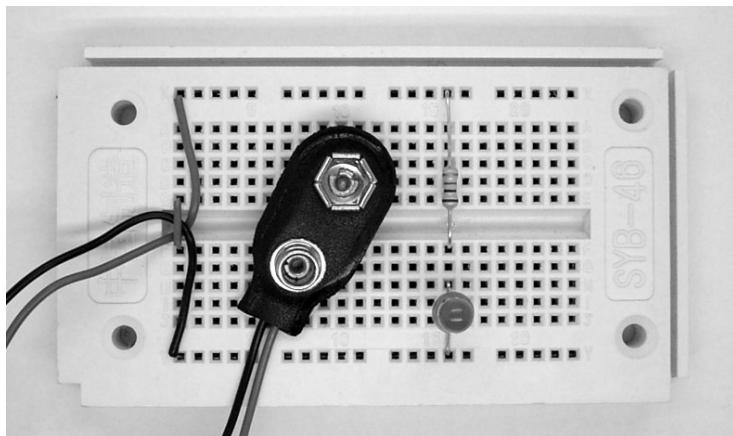


Abb. 2.2 Der Aufbau auf der Steckplatine

Wahrscheinlich wird der Versuch auf Anhieb funktionieren. Die LED leuchtet hell auf. Falls nicht, muss der Fehler gesucht werden. Eine Unterbrechung an beliebiger Stelle im Stromkreis verhindert den Stromfluss komplett. Überprüfen Sie also alle Leitungen und die Lage der Bauteile auf der Steckplatine. Ein weiterer möglicher Fehler ist eine falsch herum eingesetzte LED. Und schließlich könnte die Batterie verbraucht sein. Allerdings werden Sie feststellen, dass auch sehr alte Batterien eine LED immer noch schwach zum Leuchten bringen können.

Untersuchen Sie einmal eine andere Variante des Aufbaus. LED und Widerstand sollen vertauscht werden. Der Strom fließt dann zuerst durch die LED und dann durch den Widerstand. Die Wirkung ist aber genau die gleiche wie im umgekehrten Fall. Es

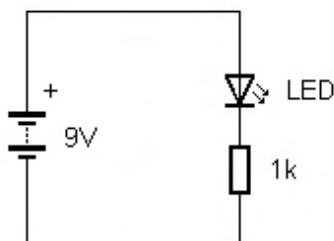


Abb. 2.3 Vertauschte Bauteile

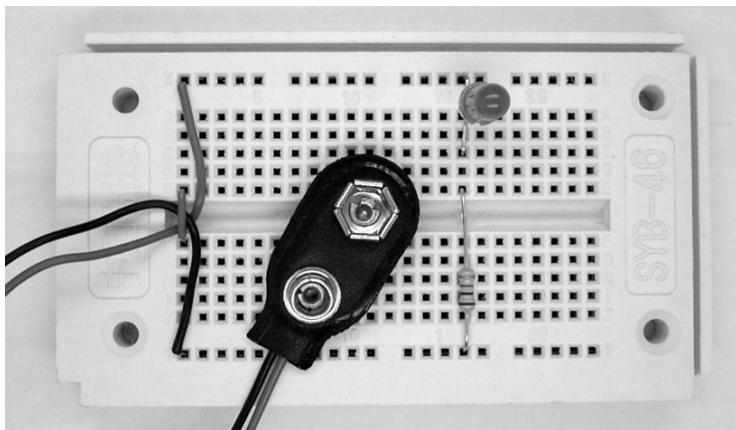


Abb. 2.4 LED und Widerstand vertauscht

kommt also nur darauf an, dass alle drei Bauteile in einem geschlossenen Stromkreis angeordnet sind.

2.2 Die Richtung des elektrischen Stroms

Drehen Sie die LED einmal so um, dass die Anode am Minuspol der Batterie liegt. Nun leuchtet nichts mehr! Strom kann also nur in einer Richtung durch die LED fließen. Die Durchlassrichtung ist die Stromrichtung von der Anode zur Kathode, also wenn die Anode dem Pluspol der Batterie zugewandt ist und die Kathode dem Minuspol. In Gegenrichtung sperrt die LED. Eine Diode ist so etwas wie ein elektrisches Ventil. Und nur wenn Strom hindurchgelassen wird, leuchtet sie. Abb. 2.5 zeigt die LED in Sperrrichtung. So kann sie nicht leuchten...

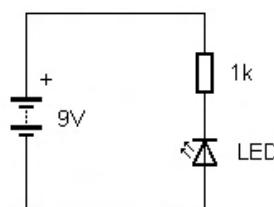


Abb. 2.5 Die LED in Sperrrichtung

Der Pfeil im Schaltsymbol der Leuchtdiode weist auf die Richtung des elektrischen Stroms hin. Die Stromrichtung wurde historisch bedingt wie auch die Bezeichnung Plus und Minus willkürlich festgelegt. Strom fließt also immer vom Pluspol der Batterie durch den Verbraucher zum Minuspol der Batterie. Heute weiß man, dass sich negativ geladene Elektronen in den Drähten genau anders herum bewegen als es die Pfeile in Abb. 2.6 zeigen. Tatsächlich gibt es aber z.B. in Flüssigkeiten auch positive Ladungsträger, die sich in Stromrichtung bewegen. Auch in der LED selbst findet man sowohl negative wie positive Ladungsträger.

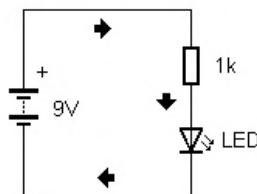


Abb. 2.6 Zur Definition der Stromrichtung

2.3 Test mit unterschiedlichen Vorwiderständen

Setzen Sie nun statt des Widerstands von $1\text{ k}\Omega$ einen kleineren Widerstand von $470\text{ }\Omega$ (gelb, violett, braun) ein. Die LED leuchtet deutlich heller. Das ist ein Hinweis auf den größeren Strom. Die Regel lautet: Je größer der Widerstand, desto kleiner wird der Strom. Genauere Berechnungen folgen weiter unten.

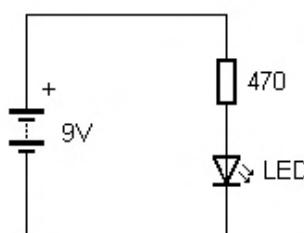


Abb. 2.7 Mehr Helligkeit mit einem kleineren Vorwiderstand

Untersuchen Sie die Helligkeit aller farbigen LEDs jeweils mit Widerständen von $1\text{ k}\Omega$ (braun, schwarz, rot), $470\text{ }\Omega$ (gelb, violett, braun) und $330\text{ }\Omega$ (orange, orange,

braun). Verwenden Sie aber keinen kleineren Widerstand als $330\ \Omega$, da sonst in dieser Schaltung mit einer Batterie von 9 V ein zu großer Strom fließen kann, der die LEDs in Gefahr bringt.

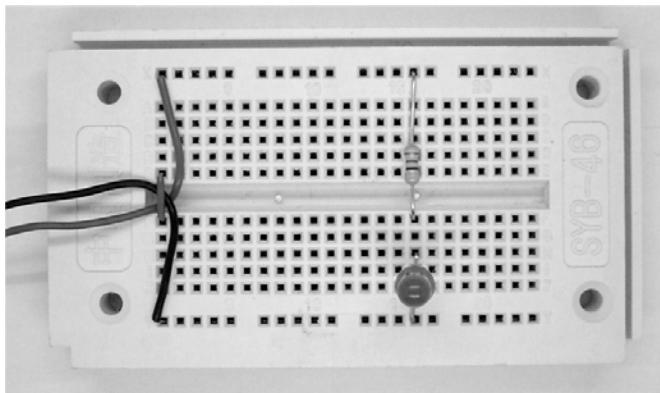


Abb. 2.8 Vorwiderstand $470\ \Omega$

Tabelle 1: LED-Strom bei einer Batteriespannung von 9 V

Widerstand	LED rot	LED gelb	LED grün	LED weiß
$330\ \Omega$	21,4 mA	21,1 mA	20,8 mA	16,8 mA
$470\ \Omega$	15,1 mA	14,9 mA	14,7 mA	12,1 mA
$1000\ \Omega$	7,2 mA	7,1 mA	7,0 mA	5,9 mA

Sie können in der selben Schaltung auch die weiße LED einsetzen. Die im Lernpaket eingesetzte superhelle LED erreicht bereits mit einem Vorwiderstand von $1\ k\Omega$ eine große Helligkeit. Untersuchen Sie die Schaltung einmal im abgedunkelten Raum. Die weiße LED eignet sich vorzüglich für Beleuchtungszwecke und ersetzt mühelos eine Taschenlampe. Weiter unten in Kap. 2.5 wird eine solche Lampe noch weiter optimiert.

Für die bunten LEDs ist ein Dauerstrom von 20 mA zugelassen. Die weiße LED darf nach Angaben des Herstellers mit bis zu 25 mA betrieben werden. Die folgende Tabelle zeigt, dass der tatsächliche Strom von der verwendeten LED und vom Vorwiderstand abhängt. Teilweise wird der erlaubte Strom geringfügig überschritten. Das ist jedoch für kurze Zeit unproblematisch. Nur bei längerer Überlastung altern LEDs schneller und verlieren ihre Leuchtstärke.

2.4 Signallampe mit Tastschalter

Bauen Sie einen einfachen Tastschalter aus abisoliertem Schaltdraht, wie es das Foto in Abb. 2.9 zeigt. Der Schalter stellt im geöffneten Zustand eine Unterbrechung des Stromkreises dar. Wenn man aber auf den Taster drückt, verbindet man dabei zwei Kontakte und schließt den Stromkreis. Die Federkraft des Drahts löst die Verbindung wieder, wenn man den Taster loslässt. Die LED im Stromkreis leuchtet also nur, so lange man auf den Taster drückt.

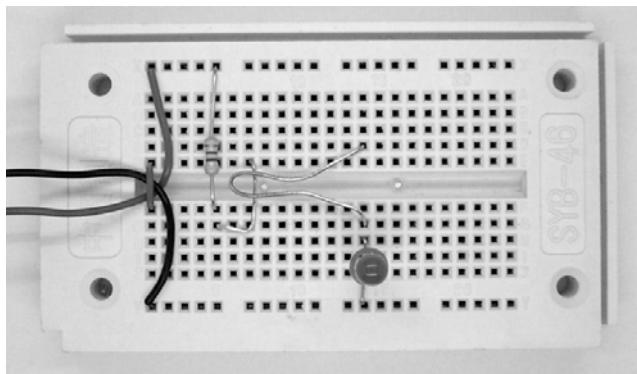


Abb. 2.9 Aufbau eines Schalters aus Draht

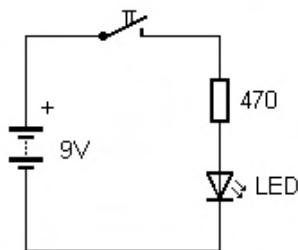


Abb. 2.10 Ein Stromkreis mit Schalter

Der Aufbau kann als Signallampe für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden. Signalisieren Sie z.B. ihrer Nachbarin auf der anderen Seite der Straße, dass sie mal wieder zum Kaffe herüber kommen sollte. Leuchtzeichen ersetzen hier auf etwas almodische Weise das Telefon. Man muss auch zugeben, dass die Sache nur funktioniert, wenn sie gerade aus dem Fenster schaut.

Prinzipiell lässt sich die Schaltung auch zur Übertragung umfangreicher Nachrichten mittels Morsezeichen einsetzen. Zugegeben, Morsen ist etwas veraltet und nicht so bequem wie Emails oder das Telefon. Aber Morsen mit Lichtzeichen kann eine reizvolle

Art der Kommunikation sein. Mit etwas Übung können sie über Entfernungen von bis zu 100 Metern Informationen austauschen, die kaum ein anderer abhören kann.

2.5 LED-Lampe mit weißer LED

Wie bereits in Kap. 2.3 gezeigt wurde, lässt sich ein weiße LED sinnvoll in einer LED-Taschenlampe einsetzen. Gegenüber Glühlampen ergeben sich zahlreiche Vorteile:

1. Lange Lebensdauer der LED
2. Lange Betriebsdauer der Batterien
3. Auch bei schwacher Batterie noch weißes Licht

Allgemein haben moderne weiße LEDs einen wesentlich besseren Wirkungsgrad als kleine Glühlampen. Allerdings ist der Betrieb mit einer 9-V-Batterie wenig wirtschaftlich. Mehr als die Hälfte der relativ teuren Energie wird im Vorwiderstand in nutzlose Wärme umgewandelt. Besser ist es, die weiße LED nur mit einer Batteriespannung von 4,5 V zu betreiben. Der Vorwiderstand muss entsprechend angepasst werden. Weegen der kleineren Batteriespannung kann gefahrlos ein Widerstand mit $100\ \Omega$ (braun, schwarz, braun) eingesetzt werden.

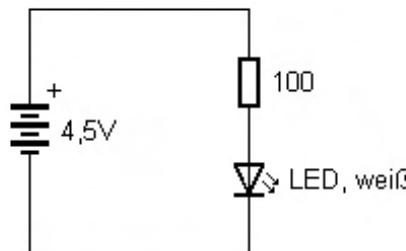


Abb. 2.11 LED-Lampe mit 4,5-V-Batterie

Durch die LED fließt in der Schaltung ein Strom von ca. 10 mA, also weniger als erlaubt ist. Trotzdem hat man mit dieser Dimensionierung schon eine brauchbare LED-Lampe. Das Licht reicht problemlos zum Lesen. Der geringe Strom hat sogar noch einen Vorteil, nämlich eine besonders lange Lebensdauer der Batterie. Auch eine einfache Zink-Kohle-Flachbatterie mit 4,5 V hat schon eine Kapazität von ca. 4000 mAh. Die Batterie hält also ca. 400 Stunden. Es kann sogar noch etwas mehr sein, weil die Batterie gegen Ende zwar weniger Strom liefert, aber die Lampe immer noch genügend Licht liefert.

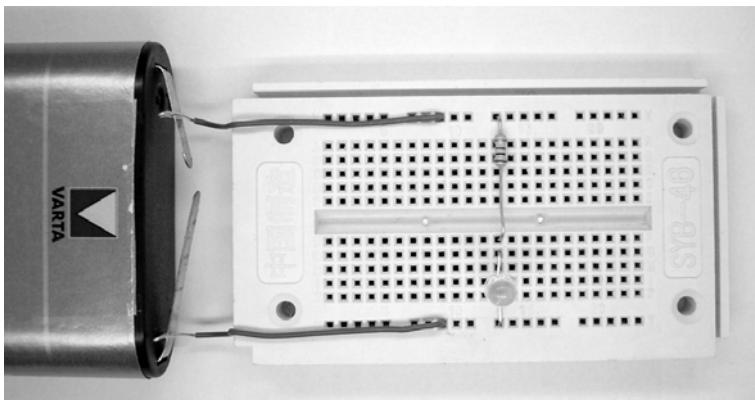


Abb. 2.12 Weiße LED an einer Flachbatterie

Alternativ zu einer Flachbatterie können Sie auch drei Mignon- oder Mikrozellen einsetzen. Mit einem zusätzlichen Schalter ausgerüstet kann eine solche Lampe Jahre lang Ihren Dienst verrichten. Allerdings sollte man dann Alkalizellen einsetzen, die eine geringe Selbstentladung besitzen und auch nach zehn Jahren noch auslaufssicher sind.

Wo steht eigentlich geschrieben, dass eine Taschenlampe immer gleich hell sein muss? Sie könnten ja auch zwei Helligkeitsstufen vorsehen, eine stromsparende für langen Betrieb und eine mit mehr Strom für große Helligkeit. Schalten Sie einfach bei Bedarf einen zweiten Widerstand mit ebenfalls $100\ \Omega$ parallel zum ersten. Der Strom wird dadurch etwa verdoppelt, die Helligkeit ebenfalls. Allerdings nimmt unser Auge eine doppelte Helligkeit weniger stark wahr, weil es sich an jede Helligkeit gewöhnt.

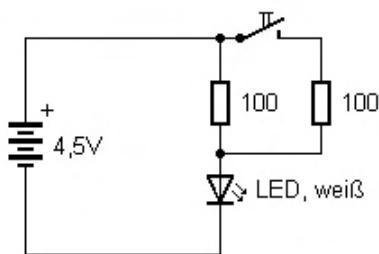


Abb. 2.13 Zwei Helligkeitsstufen

Verändern Sie die Schaltung und suchen Sie optimale Kombinationen von Widerständen. Sie können z.B. den ersten Widerstand erhöhen, um noch mehr Strom zu sparen. Der bei Bedarf zugeschaltete Vorwiderstand selbst kann dann im Extremfall aus zwei

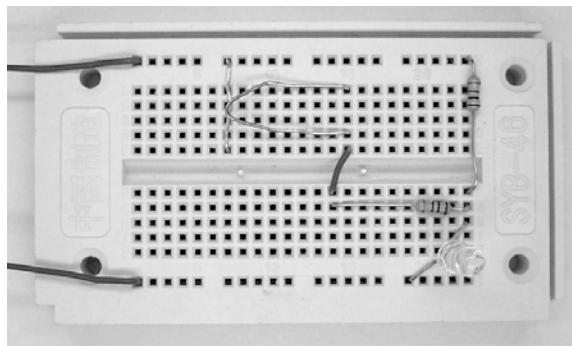


Abb. 2.14 Mehr Helligkeit per Tastschalter

parallelen $100\text{-}\Omega$ -Widerständen bestehen. Abb. 2.15 zeigt eine mögliche Variante der LED-Lampe mit zwei Helligkeiten. Sie sollten aber noch weitere Kombinationen testen, um eine optimale Abstufung zu finden.

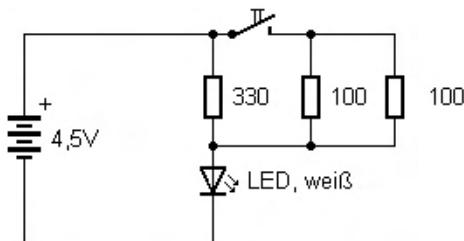


Abb. 2.15 Größerer Unterschied in der Helligkeit

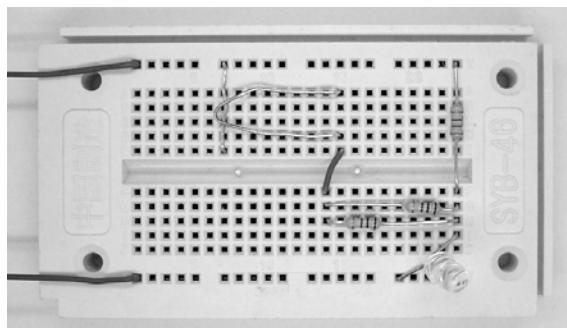


Abb. 2.16 Stromsparen oder große Helligkeit

2.6 Lumen und Candela

Für die superhelle weiße LED aus dem Lernpaket wird vom Hersteller eine Lichtstärke von 9000 mcd (Millicandela) angegeben. Der Abstrahlwinkel beträgt 15 Grad. Für andere Lichtquellen wird oft der Lichtstrom in Lumen angegeben.

Ganz grob gesprochen erreicht die LED die Helligkeit von neun Kerzen, denn 9000 mcd sind 9 Candela, also neun Kerzen. Allerdings ist der Vergleich nicht ganz korrekt, denn eine Kerze strahlt in alle Richtungen, während die LED ihr Licht in einem engen Winkel abstrahlt. Eine genauere Beurteilung setzt die Definitionen der photometrischen Größen und Einheiten voraus. In der Definition der photometrischen Einheiten ist die Empfindlichkeit des menschlichen Auges für unterschiedliche Farben berücksichtigt.

Die Lichtstärke ein Candela (cd) ist grob definiert die Lichtstärke einer Kerze. Es gab verschiedene Standardkerzen wie die Hefnerkerze oder die Internationale Kerze, die sich geringfügig in Ihrer Lichtstärke unterschieden. Die heute gültige Definition lautet: Die Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung (1/683) Watt durch Steradian beträgt.

Der räumliche Winkel ist der Teil einer Kugeloberfläche dividiert durch das Quadrat des Kugelradius. 1 Steradian ist $1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Der Vollwinkel ist $4\pi \text{ sr}$, d.h., der Raumwinkel 1 sr ist der 12,56-ste Teil des Vollwinkels.

Der Lichtstrom wird in Lumen (lm) gemessen. Der Lichtstrom von einem Lumen wird erhalten, wenn eine Lichtquelle die Lichtstärke ein Candela gleichmäßig über den Raumwinkel ein Steradian ausstrahlt.

Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (lx) gemessen. Die Beleuchtungsstärke ein Lux wird erhalten, wenn der Lichtstrom ein Lumen auf die Fläche ein m^2 senkrecht und gleichmäßig verteilt eingestrahlt wird. Zum Vergleich: Das volle Sonnenlicht erreicht eine Beleuchtungsstärke von 100 000 lx.

Eine althergebrachte Methode zur Messung der Lichtstärke ist die Fettfleck-Methode. Man erzeugt einen Fettfleck auf einem weißen Blatt Papier. Hier wird das Papier durchscheinend. Der Fettfleck erscheint heller, wenn eine Lichtquelle hinter dem Papier steht und dunkler, wenn sie vor dem Papier steht. Zwei Leuchtkörper haben dann die gleiche Lichtstärke, wenn sie im gleichen Abstand vor und hinter dem Papier den Fettfleck gerade

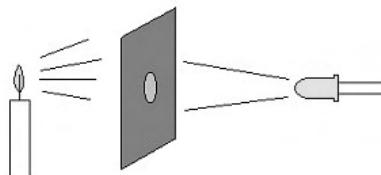


Abb. 2.17 Messung der Lichtstärke mit der Fettfleckmethode

unsichtbar machen. Bei ungleichen Lichtquellen verändert man die Abstände. Das Verhältnis der Lichtstärken entspricht dann dem Quadrat des Verhältnisses der Abstände.

Die Methode setzt eigentlich voraus, dass beide Leuchtquellen gleichfarbiges Licht aussenden. Bei unterschiedlichen Lichtquellen kann man die Abstände so einstellen, dass der Fettfleck möglichst wenig sichtbar wird. Erreicht man dies bei einem doppelten Abstand, dann verteilt sich die gleiche Lichtenergie auf die vierfache Fläche. Die gemessene Lichtquelle wäre damit so hell wie vier Kerzen, die Lichtstärke wäre also 4000 mcd.

Beim Vergleich unterschiedlicher LEDs fällt auf, dass die Lichtstärke immer dann besonders hoch ist, wenn der Abstrahlwinkel gering ist. Beim halben Anstrahlwinkel verringert sich der Raumwinkel auf ein Viertel, d.h. die Lichtstärke vervierfacht sich bei gleichem Lichtstrom. Andererseits bringt ein enger Abstrahlwinkel nicht immer Vorteile. Für die gleichmäßige Ausleuchtung eines Raumes ist sie eher hinderlich.

Will man die Effektivität einer Lichtquelle beurteilen, muss auch die zugeführte elektrische Leistung berücksichtigt werden. Bei der Wellenlänge der größten Empfindlichkeit des menschlichen Auges, also bei gelbem Licht mit 555nm, entspricht ein Lichtstrom von 683 Lumen einer Leistung von einem Watt. Die derzeit effizientesten Lichtquellen sind Natrим-Niederdrucklampen mit einer Lichtausbeute von 200 lm/W, also einem Wirkungsgrad von knapp 30%. LEDs erreichen z.B. 18 lm/W, d.h., trotz der großen Fortschritte in der Entwicklung superheller LEDs wird immer noch der größte Teil der elektrischen Energie in Wärme umgesetzt. Das muss bei der notwendigen Wärmeabfuhr berücksichtigt werden. Der maximal erlaubte LED-Strom ergibt sich aus der Verlustwärme, die den Halbleiterkristall nicht über ca. 150 Grad erwärmen darf.

2.7 Farben und Wellenlängen

Licht ist eine Form elektromagnetsicher Wellen wie Radiowellen, Mikrowellen oder Röntgenstrahlen. Alle diese Wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Die Wellenlänge ist daher gleich der Lichtgeschwindigkeit geteilt durch die Frequenz. Die Wellenlänge des Lichts wird in Nanometer (nm) = 1/1 000 000 000 m angegeben. Die Wellenlänge des sichtbaren Lichts liegt zwischen ca. 400 nm (violett) und 800 nm (rot). Typische Wellenlänge für farbige LEDs sind:

Rot:	635 nm
Gelb:	585 nm
Grün:	565 nm
Blau:	428 nm

Die superhelle weiße LED nimmt eine Sonderstellung ein. Eigentlich handelt es sich um eine blaue LED. Auf dem LED-Kristall befindet sich aber zusätzlich ein Leuchstoff, ähnlich wie er in Leuchtstoffröhren verwendet wird. Das Material wird auf einer kurzen Wellenlänge angeregt und sendet Licht größerer Wellenlänge aus.

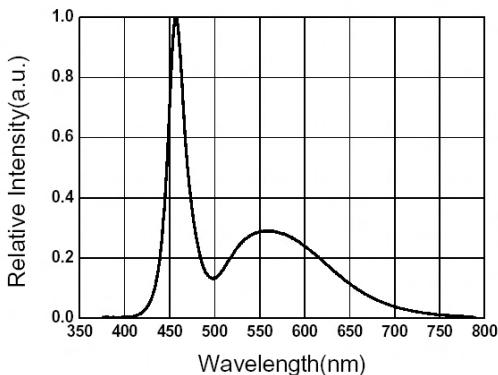


Abb. 2.18 Das Spektrum einer weißen LED

Die spektrale Verteilung der Lichtintensität einer weißen LED (Abb. 2.18) zeigt einen Peak bei der Wellenlänge des blauen Lichts. Der Leuchtstoff dagegen hat ein Maximum im Bereich des gelben Lichts.

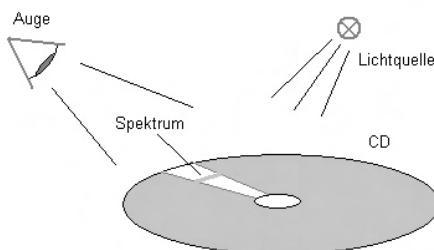


Abb. 2.19 Das CD-Spektrometer

Zur Untersuchung von Lichtspektren verwendet man optische Spektrometer, die entweder ein Glasprisma oder ein optisches Strichgitter enthalten. Aber auch eine normale CD-ROM kann als einfaches Spektrometer verwendet werden. Jeder kennt die typischen Farberscheinungen auf der blanken Oberfläche einer CD. Hält man die CD in einem abgedunkelten Raum in einem passenden Winkel, so kann man das komplette Spektrum einer einzelnen Lichtquelle erkennen. Abb. 2.20 zeigt das so gewonnene Linienspektrum einer Quecksilberdampflampe. Ebenso lassen sich auch die Spektren von LEDs untersuchen.

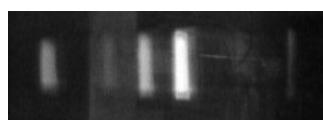


Abb. 2.20 Über eine CD aufgenommenes Spektrum

3 LED-Schaltungstechnik

Es ist zwar einfach, einen vorgegebene Schaltung mit genau den empfohlenen Bauteilen aufzubauen. Aber wer die Schaltungstechnik wirklich im Griff bekommen will, sollte auch die Theorie kennen und z.B. die nötigen Widerstände in einer Schaltung selbst berechnen können. Dieses Kapitel liefert deshalb die notwendige Theorie und die nötigen Versuche. Verbinden Sie Theorie und Praxis, berechnen und testen Sie auch eigene Schaltungen.

3.1 Die Diodenschwelle

Im Vergleich zu einer Glühlampe verhält sich eine LED zunächst sonderbar. Nicht nur, dass Strom nur in einer Richtung fließt, während eine Glühlampe beliebig gepolt werden darf, auch die Anschlussspannung in Durchlassrichtung ist sehr kritisch. Eine kleine Glühlampe mit den Nenndaten 6 V, 100 mA zeigt eine große Toleranz gegenüber der tatsächlichen Anschlussspannung. Schon ab ca. 1 V beginnt ein schwach sichtbares, dunkelrotes Glühen. Bei der Nennspannung bekommt man helles gelblich-weißes Licht. Wenn man sehr kurz eine höhere Spannung probiert, wird das Licht grell-weiß. Sogar sie doppelte Nennspannung von 12 V zerstört die Glühlampe nicht sofort, sondern erst nach einigen Sekunden oder Minuten. Dies soll keine Aufforderung zu einem Experiment sein, sondern nur verdeutlichen, dass eine Glühlampe in einem weiten Spannungsbereich arbeiten kann. Ganz anders ist es dagegen mit einer LED.

Die normale Spannung an einer mit 10 bis 20 mA durchflossenen roten LED liegt etwa bei 1,8 V. Erhöht man die Spannung nur um 0,5 V auf 2,3 V brennt die LED unweigerlich durch. Umgekehrt leuchtet die LED überhaupt nicht mehr, wenn man ein halbes Volt weniger anlegt. Wenn eine höhere Spannung verwendet wird, sorgt ein Widerstand dafür, dass sich automatisch gerade die richtige Spannung einstellt.

Versuchen Sie nun, eine rote LED ohne Widerstand direkt an einer einzelnen 1,5-V-Zelle zu betreiben. Nur weil die Spannung gerade an der unteren Grenze liegt, darf hier ausnahmsweise ohne Vorwiderstand gearbeitet werden.

Sie werden feststellen, dass die rote LED tatsächlich leuchtet, wenn auch nur sehr schwach. Setzen Sie nun die grüne LED ein. Ergebnis: sie leuchtet nicht! Tatsächlich fließt praktisch kein Strom durch die grüne LED. Die gelbe LED liegt irgendwo zwischen der roten und der grünen und leuchtet an 1,5 V allenfalls extrem schwach.

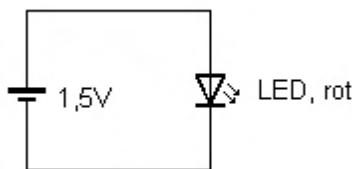


Abb. 3.1 An der unteren Spannungsgrenze

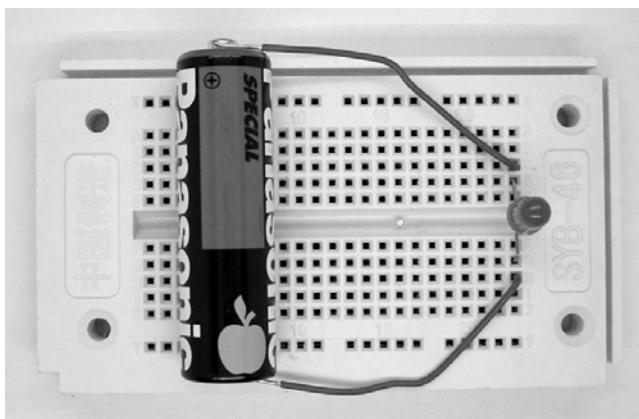


Abb. 3.2 Direkter Anschluss einer Mignonzelle

Testen Sie auch die weiße LED. Auch sie zeigt bei nur 1,5 V nicht das geringste Leuchten.

Welcher Strom fließt bei welcher Spannung? Dieser Frage beantwortet die Kennlinie eines Bauteils. Abb. 3.3 zeigt die gemessene Kennlinie der roten und der grünen LED in einem gemeinsamen Diagramm. Man sieht, dass jeweils erst ab einer gewissen Mindestspannung oder „Schwellspannung“ ein merklicher Strom fließt. Mit steigender Spannung steigt der Strom immer steiler an. Die Messungen wurden beim gerade noch erlaubten Strom von 20 mA abgebrochen. Man kann sich aber leicht vorstellen, wie der weitere Verlauf der Kennlinien ist. Eine nur geringfügig höhere Spannung bedeutet einen erheblich höheren Strom, der leicht zur Zerstörung der LED führen kann.

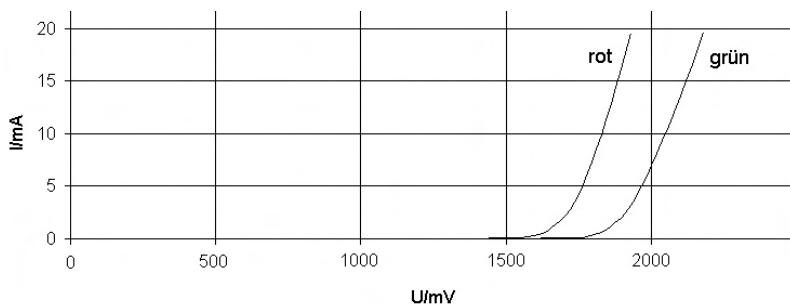


Abb. 3.3 LED-Kennlinien

Das Diagramm zeigt deutlich die unterschiedlichen Schwellspannungen der roten und der grünen LED. Nun ist auch klar, warum die rote LED bei 1,5 V gerade noch leuchtet, die grüne aber nicht.

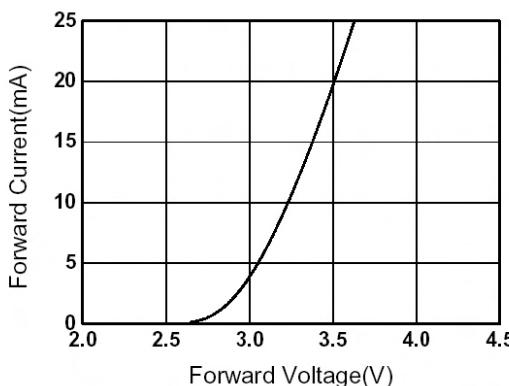


Abb. 3.4 Die Kennlinie der weißen LED

Abb. 3.4 zeigt zum Vergleich die Kennlinie der weißen LED aus dem Datenblatt des Herstellers. Man erkennt, dass eine Mindestspannung von ca. 2,7 V nötig ist, damit ein Strom fließt. Bei einer Spannung von 3 V ist bereits ein Strom von knapp 4 mA zu erwarten. Ein Test bestätigt dies. Schließen Sie die weiße LED nach Abb. 3.5 ohne Vorwiderstand an eine Batterie mit 3 V an.

Bei der Dimensionierung von LED-Schaltungen verwendet man im Normalfall Vorwiderstände, die einen definierten Diodenstrom einstellen sollen. Geht man von einem normalen Betriebsstrom von 20 mA aus, ergeben sich für die verschiedenen LED-Typen etwa die Spannungen nach Tabelle 3.1.

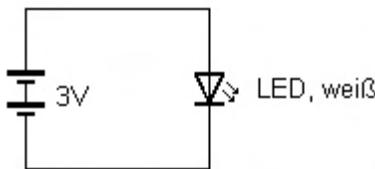


Abb. 3.5 Betrieb einer weißen LED an 3 V

Tabelle 3.1: Typische LED-Spannungen

LED-Farbe	Spannung bei 20 mA
Rot	1,9 V
Gelb	2,1 V
Grün	2,2 V
Weiß	3,5 V

3.2 Reihenschaltung

Bei genügend großer Batteriespannung von z.B. 9 V können zwei oder mehr LEDs in Reihe geschaltet werden. Dabei addieren sich die Durchlassspannungen der Dioden, so dass weniger Spannung am Vorwiderstand liegt. Eine rote und eine grüne LED haben bei einem Diodenstrom von 20 mA eine Spannung von $1,9 \text{ V} + 2,2 \text{ V} = 4,1 \text{ V}$. Am Vorwiderstand liegt also noch eine Spannung von $9 \text{ V} - 4,1 \text{ V} = 4,9 \text{ V}$. Damit tatsächlich ein Strom von 20 mA fließt, muss der Widerstand entsprechend bemessen werden.

$$R = U/I$$

$$R = 4,9 \text{ V} / 20 \text{ mA}$$

$$R = 445 \Omega$$

Die Rechnung führt meist zu einem Widerstandswert, der außerhalb der Normwerte liegt. Verwenden Sie dann den nächst höheren Normwert, hier also 470Ω . In diesem Fall wird der Strom nur geringfügig kleiner. Tatsächlich ändern sich die Spannungsverhältnisse wegen der steilen Diodenkennlinie kaum.

Verwendet man statt der roten eine weiße LED, muss ein kleinerer Vorwiderstand verwendet werden. An den LEDs liegt nun eine Spannung von $3,5 \text{ V} + 2,2 \text{ V} = 5,7 \text{ V}$. Der

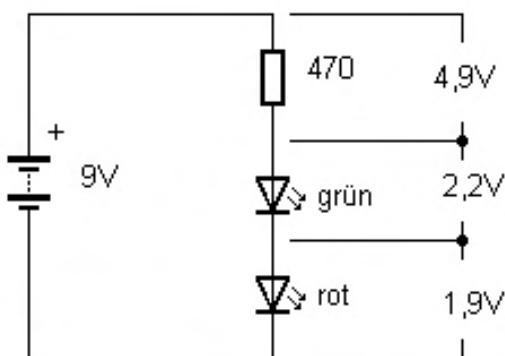


Abb. 3.6 Reihenschaltung von LEDs

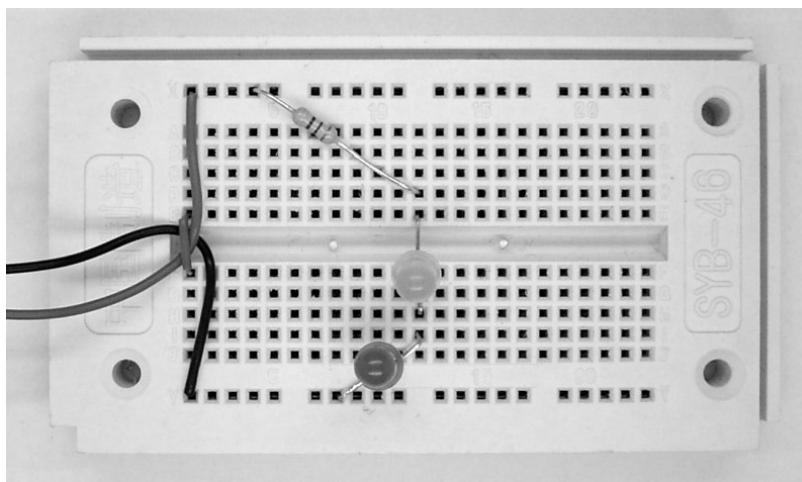


Abb. 3.7 Rote und Grüne LED in Reihenschaltung

Spannungsabfall am Vorwiderstand beträgt nur noch 3,3 V. Für einen Strom von 20 mA müsste ein Widerstand mit $165\ \Omega$ eingesetzt werden. Der nächst höhere Normwert wäre $180\ \Omega$. Unter den Widerständen aus dem Lernpaket kommt der Wert von $220\ \Omega$ dem berechneten Vorwiderstand am nächsten.

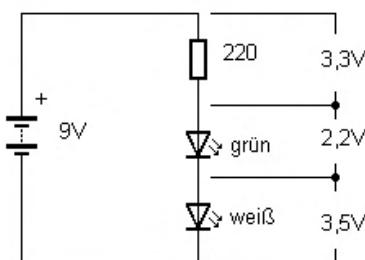


Abb. 3.8 Mehr Spannungsabfall an der weißen LED

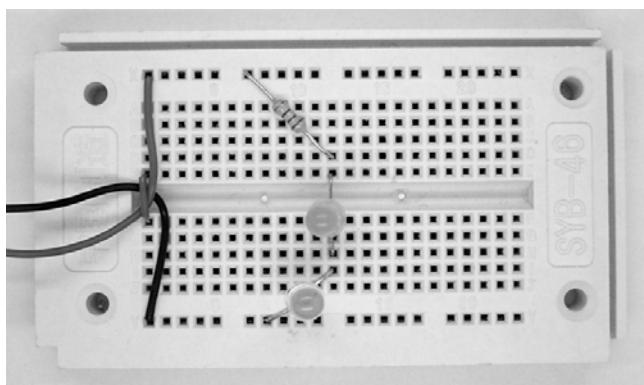


Abb. 3.9 Reihenschaltung mit weißer LED

3.3 Verbesserter Wirkungsgrad

Oft bringt die Reihenschaltung mehrerer LEDs einen besseren Wirkungsgrad, weil weniger Energie im Vorwiderstand in nutzlose Wärme umgesetzt wird. Das Ziel muss also sein, so wenig Spannung wie möglich am Vorwiderstand abfallen zu lassen. Abb. 3.10 zeigt eine mögliche Dimensionierung mit drei LEDs der Farben Rot, Gelb und Grün. Die gemeinsame Diodenspannung beträgt $1,8 \text{ V} + 2,1 \text{ V} + 2,2 \text{ V} = 6,1 \text{ V}$. Am Vorwiderstand liegt noch ein Spannungsabfall von 2,9 V. Für 20 mA wird also ein Widerstand von 145Ω benötigt. Aber auch bei 220Ω ergibt sich noch eine gute Helligkeit. Statt 20 mA ergibt sich ein Strom von 15 mA. Damit wird auch mit einer 9-V-Blockbatterie eine relativ lange Betriebsdauer erreicht.

Noch geringer wird der Spannungsabfall am Vorwiderstand, wenn Sie eine weiße LED statt der grünen einsetzen. Nun darf der Vorwiderstand auf 100Ω verkleinert werden.

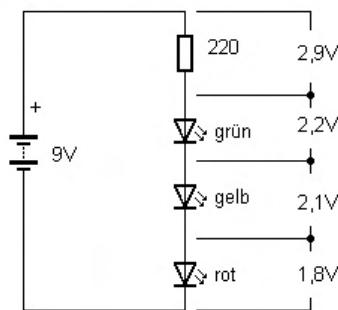


Abb. 3.10 Reihenschaltung mit drei LEDs

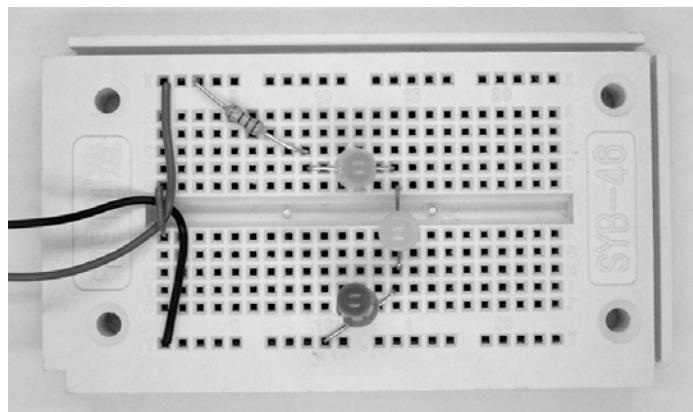


Abb. 3.11 Alle Farben in einer Reihe

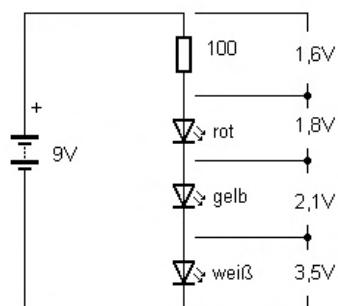


Abb. 3.12 Geringere Spannung am Vorwiderstand

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.

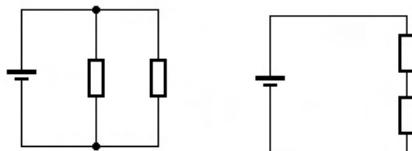


Abb. 3.13 Parallel- und Reihenschaltung

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 Ω	210 Ω	360 Ω	510 Ω
Gelb 20 mA, 2,1 V	45 Ω	195 Ω	345 Ω	495 Ω
Grün, 20 mA, 2,2 V	40 Ω	190 Ω	340 Ω	490 Ω
Weiß 25 mA, 3,6 V	-	96 Ω	216 Ω	336 Ω

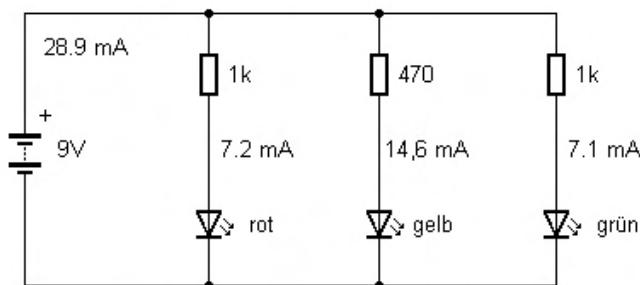


Abb. 3.14 Parallelschaltung mit drei LEDs

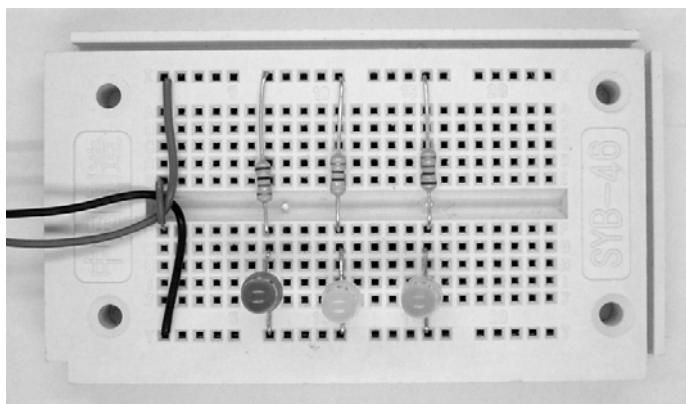


Abb. 3.15 Eigener Widerstand für jede LED

Abb. 3.14 zeigt ein Beispiel für eine Parallelschaltung mit drei LEDs mit jeweils einem 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

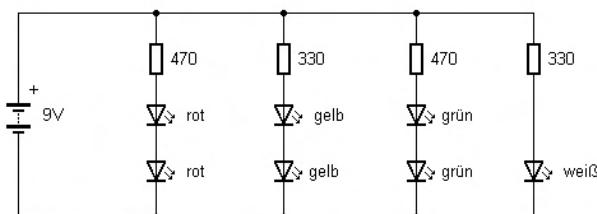


Abb. 3.16 Gemischte Parallel/Reihenschaltung

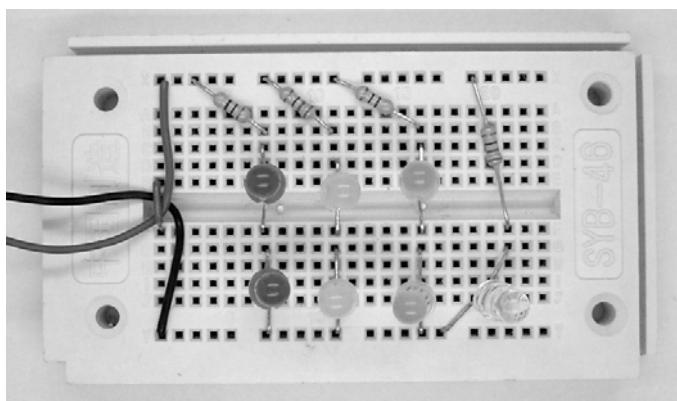


Abb. 3.17 Alle LEDs in einer Schaltung

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 Scheitelpotenzial 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.

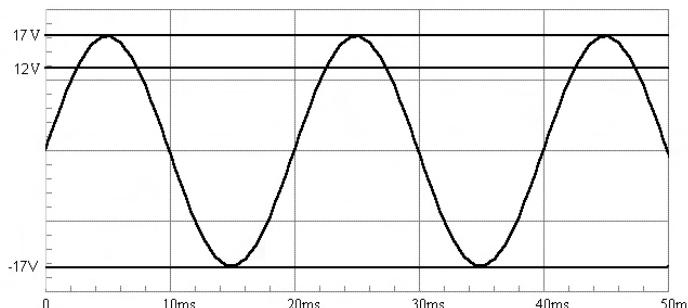


Abb. 3.18 Spannungsverlauf an einem 12-V-Trafo

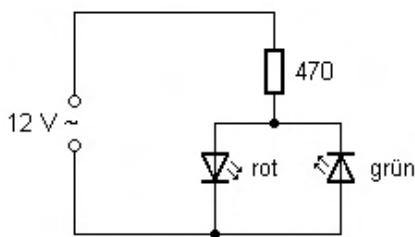


Abb. 3.19 Antiparalleler Betrieb an Wechselspannung

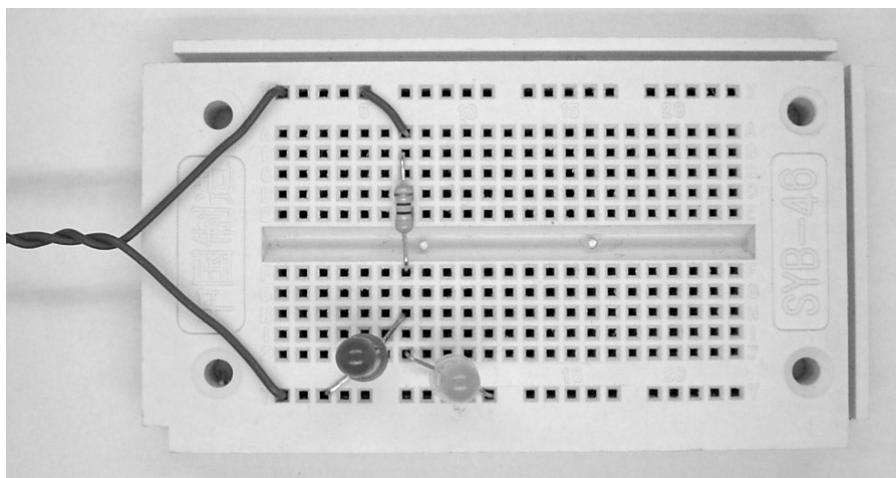


Abb. 3.20 Betrieb an 12 V Wechselspannung

Die richtige Lösung ist die gegensinnige 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.

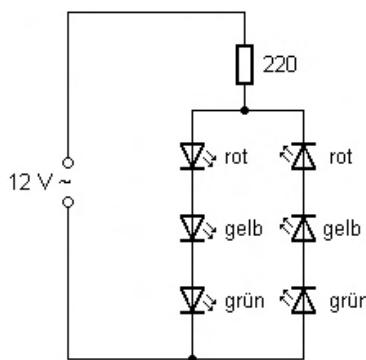


Abb. 3.21 Sechs LEDs im Wechselstromkreis)

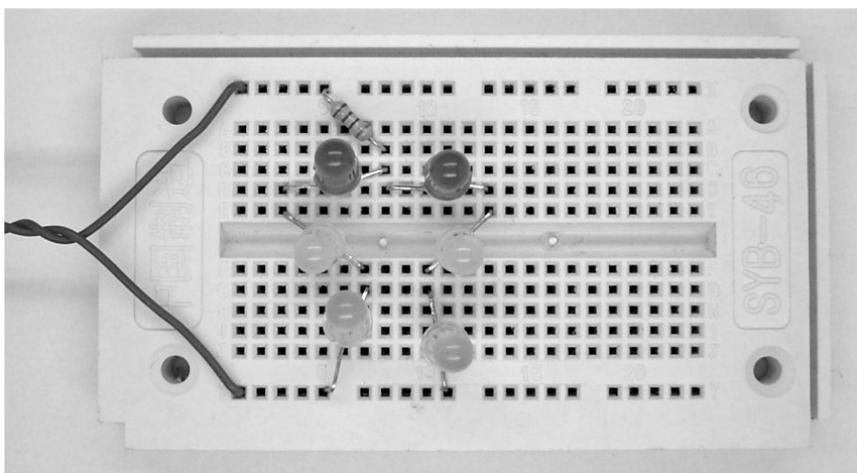


Abb. 3.22 Sechs LEDs für direkten Trafoanschluss

3.7 Farbspiele

Bauen Sie einen Stromkreis mit 9-V-Battrie, grüner LED und Vorwiderstand $1\text{ k}\Omega$, wie es bereits in Kap. 2 gezeigt wurde. Die grüne LED leuchtet wie erwartet. Schalten Sie dann eine rote LED parallel zur grünen LED, also Kathode an Kathode und Anode an Anode. Nun leuchtet die rote, aber die grüne LED geht aus. Das ist vielleicht überraschend, weil ein einfacher Schalter oder Kontakt reicht, um eine Umschalt-Funktion zu erreichen.

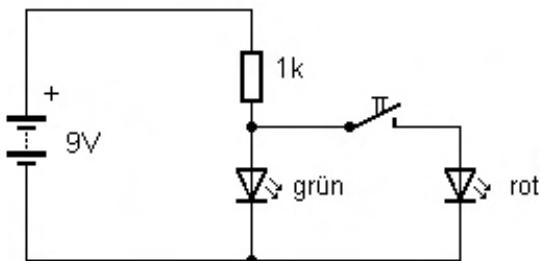


Abb. 3.23 Parallelschaltung unterschiedlicher LEDs

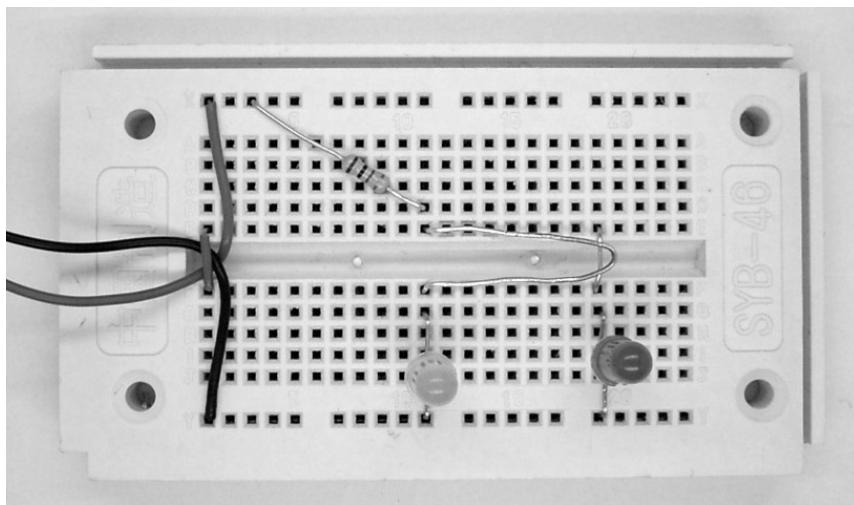


Abb. 3.24 Farbumschaltung mit Tastschalter

Die Funktion der Schaltung erklärt sich aus den unterschiedlichen Kennlinien beider LEDs. In Parallelschaltung haben beide die gleiche Spannung. Bei gleicher Spannung fließt jedoch wesentlich mehr Strom durch die rote LED als durch die grüne. Beim Zuschalten der roten LED wird die gemeinsame Spannung so weit verringert, dass fast kein Strom mehr durch die grüne LED fließt.

4 Testgeräte mit LEDs

Oft sind es die kleinen und unkomplizierten Geräte, die uns die Arbeit erleichtern. Einfache Testgeräte mit LEDs als Anzeigeelemente sind stromsparend und effektiv. Vorteile einer LED sind ihre gute Helligkeit schon bei sehr kleinen Strömen und ihre Spannungsschwelle, die als Referenzspannung verwendet werden kann.

4.1 Durchgangstester

Bei der Überprüfung elektrischer Geräte oder Anlagen ist es oft erforderlich, einzelne Verbindungen zu überprüfen. Das folgende Testgerät schickt einen Prüfstrom durch die Leitung. Die LED leuchtet, wenn die Verbindung besteht. So kann man nach schlechten Kontakten und unterbrochenen Leitungen suchen. Bauen Sie den Durchgangstester auf der Steckplatine auf und führen Sie zwei längere Drähte als Prüfkabel heraus.

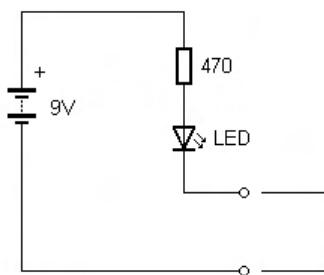


Abb. 4.1 Durchgangstester mit LED

Die LED leuchtet nicht nur bei vollem Durchgang, sondern auch wenn Verbraucher mit einem gewissen Widerstand den Stromkreis schließen. Deshalb lassen sich z.B. Glühlampen prüfen. Ebenso ist der Gleichstromwiderstand eines Transformators klein genug, um die LED hell leuchten zu lassen. Bei defekten Steckernetzteilen ist meist die interne Thermosicherung unterbrochen. Zwischen beiden Polen des Netzsteckers findet man dann keinen Durchgang mehr.

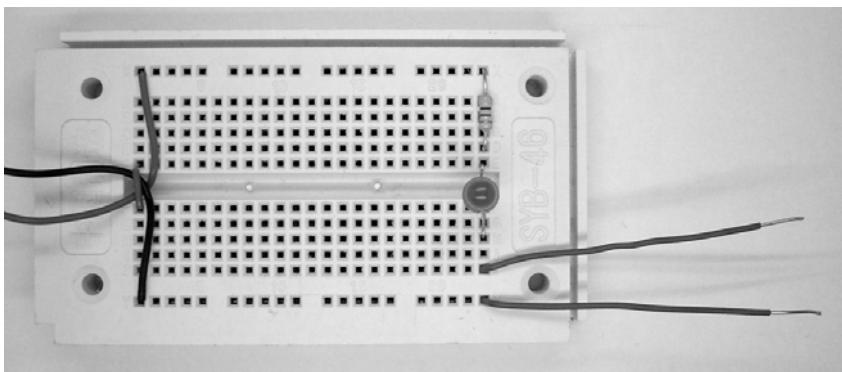


Abb. 4.2 Das Testgerät mit Prüfkabeln

Untersuchen Sie auch andere Bauteile wie LEDs und Widerstände. LEDs zeigen nur in einer Richtung Durchgang und leuchten dann selbst. Widerstände zeigen je nach Widerstandswert eine geringere Helligkeit.

4.2 Leitfähigkeit von Flüssigkeiten

Der Durchgangstester aus dem vorigen Abschnitt kann ohne Änderung auch als Testgerät für die Leitfähigkeit von Wasser oder anderen Flüssigkeiten verwendet werden. Hält man die Drähte in reines Wasser, ist allenfalls ein sehr geringes Leuchten der LED zu erkennen. Fügt man etwas Salz hinzu, steigt die Leitfähigkeit deutlich an.

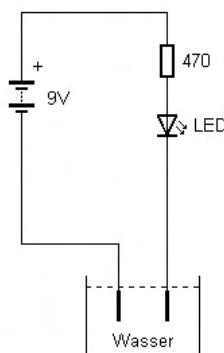


Abb. 4.3 Wasser im Stromkreis

Die gleiche Wirkung hat Zitronensaft oder eine andere Säure. Sobald ein Strom fließt, entstehen an den Drähten kleine Gasblasen. Die chemischen Elektrolyse-Reaktionen greifen auch die Oberfläche der Drähte an. Für längere Versuche eignen sich Elektroden aus Kohle oder Graphit, die nicht aufgelöst werden. Verwenden Sie z.B. Bleistiftminen oder Kohlestäbe aus alten Batterien.

Außer interessanten Experimenten zur Leitfähigkeit in Flüssigkeiten finden sich auch praktische Anwendungen. Sie können z.B. Warngeräte für auslaufendes Wasser oder Regenmelder realisieren. Die Schaltung eignet sich außerdem als Feuchtigkeitssensor für Blumentöpfe. Steckt man die Prüfdrähte in die Blumenerde, zeigt das LED-Leuchten den Grad der Feuchtigkeit an.

4.3 Überwachungs-Stromschleife

Zur Sicherheit gegen Diebstahl und Einbruch verwendet man mechanisch oder magnetisch betätigte Kontakte an Türen und Fenstern. Wenn z.B. ein Fenster geöffnet wird, soll ein Alarm ausgegeben werden. Im einfachsten Fall kann ein dünner Draht verlegt werden, der im Alarmfall zerreißt. Falls jemand den Alarm außer Betrieb setzen will, indem er den Draht durchtrennt, wird ebenfalls ein Alarm ausgegeben.

Im einfachsten Fall kann die Stromschleife durch eine LED überwacht werden. Die LED sollte aber im Ruhezustand aus sein, um die Aufmerksamkeit nicht übermäßig abzunutzen. Erst wenn der Draht durchtrennt wird, soll die LED leuchten. Abb. 4.4 zeigt die Schaltung. Solange der Überwachungsstromkreis geschlossen ist, wird der LED-Strom abgeleitet, da die LED kurzgeschlossen ist.

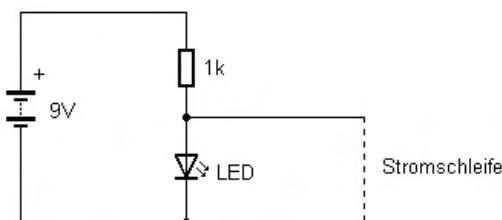


Abb. 4.4 LED kurzgeschlossen

Ein Nachteil der Schaltung ist, dass auch ohne Alarm ein dauernder Strom von ca. 9 mA fließt. Eine Batterie wäre relativ schnell erschöpft. Man sollte daher ein Steckernetzteil einsetzen.

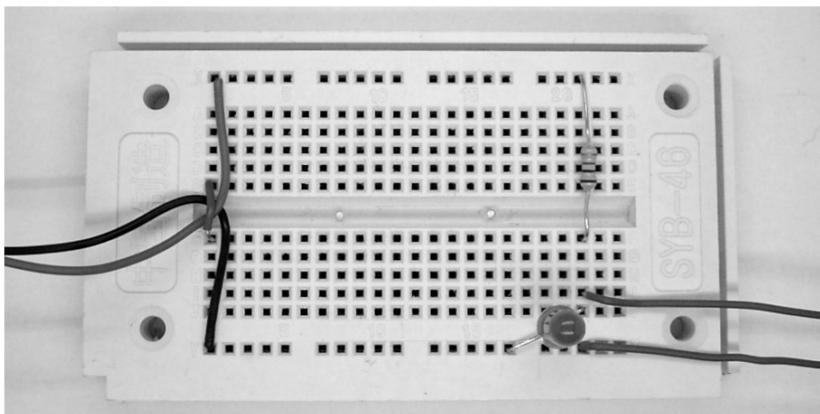


Abb. 4.5 Die Alarmschleife

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.

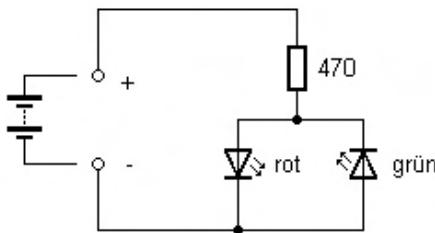


Abb. 4.6 Der Stromrichtungsanzeiger

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.

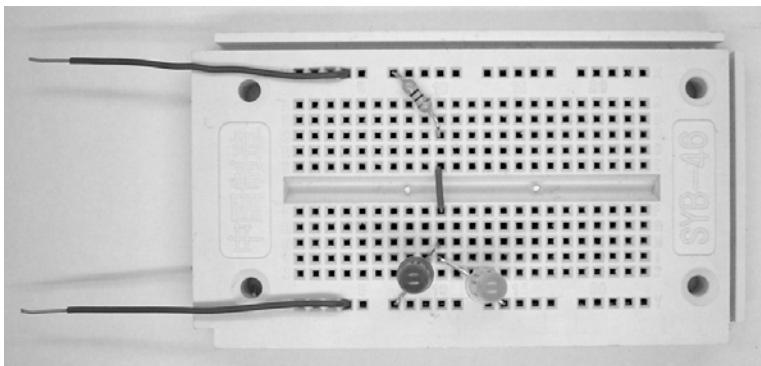


Abb. 4.7 Richtungstester mit Prüfkabeln

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.

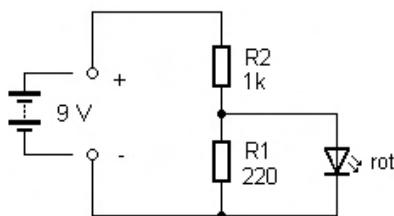


Abb. 4.8 Ein Batterieprüfer für 9 V

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.

$$U = U_{ges} * R1 / (R1 + R2)$$

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

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

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 R1 auf 330 Ω , 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.

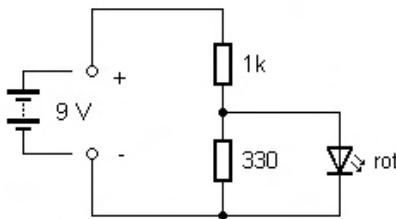


Abb. 4.9 Spannungsprüfung für den Bereich 6 V bis 9 V

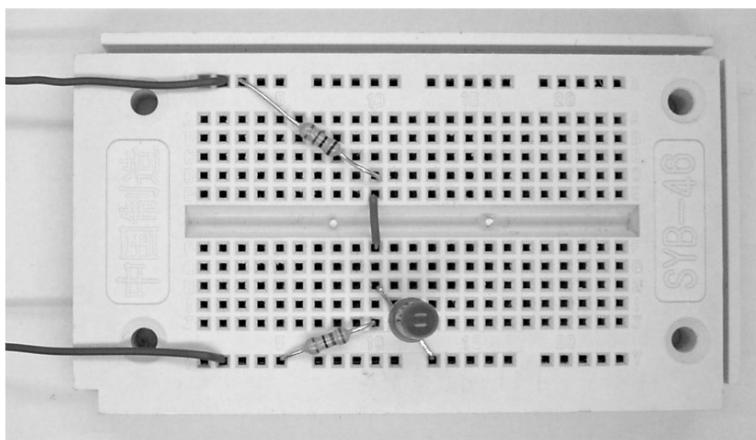


Abb. 4.10 Tester für 9-V-Batterien

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.

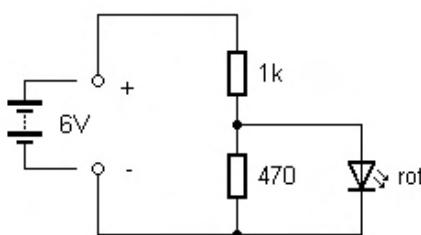


Abb. 4.11 Batterietester für 6 V

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 abhängig. 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 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.

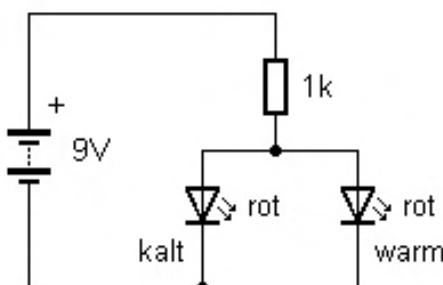


Abb. 4.12 Temperaturvergleich mit zwei LEDs

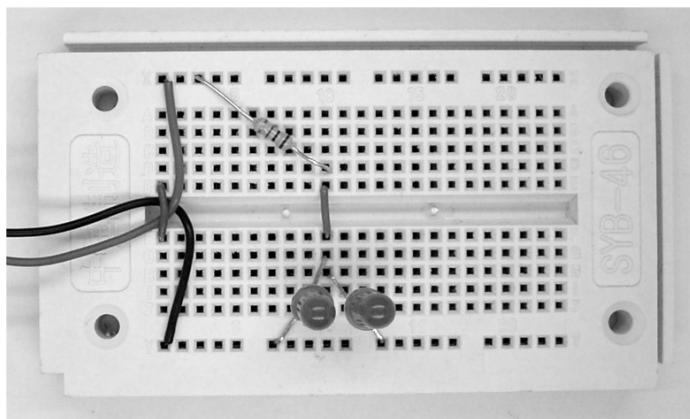


Abb. 4.13 Gleiche Temperatur und Helligkeit?

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.

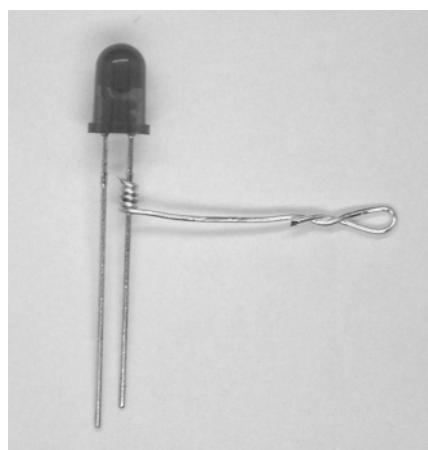


Abb. 4.14 Wärmeübertragung mit einem Draht

5 Fortgeschrittene Versuche mit LEDs*

Alle bisherigen Versuche kamen mit LEDs und Widerständen aus. Man findet LEDs jedoch auch in komplexen elektronischen Schaltungen mit Transistoren und ICs. Die folgenden Versuche geben zunächst einen kurzen Überblick über die Funktion des Transistors. Das benötigte Material geht über den Lieferumfang im Lernpaket LEDs hinaus und muss teilweise zusätzlich besorgt werden. Alle Schaltungen lassen sich jedoch auf der bereits im Lernpaket vorhandenen Steckplatine aufbauen.

Einige der folgenden Versuche wurden auch im Lernpaket Elektronik aus dem Franzis-Verlag vorgestellt, das bereits das nötige Material enthält und sich für eine vertiefte Beschäftigung mit der Elektronik anbietet.

5.1 Transistoren und mehr

Transistoren sind Bauelemente zur Verstärkung kleiner Ströme. Die oft verwendeten bipolaren Transistoren BC547 und BC557 unterscheiden sich in der Polarität. Man bezeichnet sie als NPN- und PNP-Transistoren.

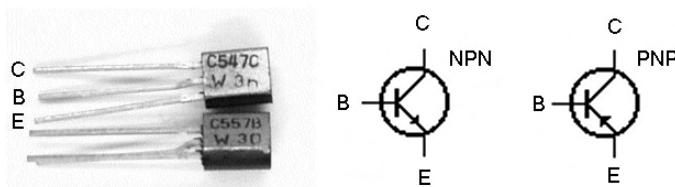


Abb. 5.1 Transistoren

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

Ein weiteres wichtiges Bauteil in der Elektronik ist der Kondensator. Ein Kondensator besteht aus zwei Metallflächen und einer Isolierschicht. Legt man eine elektrische

* Achtung: Die hier verwendeten Bauteile sind nicht im Lernpaket LEDs enthalten

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

Das Isoliermaterial (Dielektrikum) vergrößert die Kapazität gegenüber Luftisolation. Die keramischen Scheibenkondensatoren verwenden ein spezielles Keramikmaterial, mit dem man große Kapazitäten bei kleiner Bauform erreicht. Üblich sind z.B. keramische Scheibenkondensatoren mit 10 nF (Beschriftung 103, 10000 pF) und mit 100 nF (Beschriftung 104, 100000 pF).



Abb. 5.2 Ein keramischer Kondensator

Größere Kapazitäten erreicht man mit Elektrolytkondensatoren (Elkos). Das Dielektrikum besteht hier aus einer sehr dünnen Schicht Aluminiumoxid. Der Elko enthält einen flüssigen Elektrolyten und aufgewickelte Aluminiumfolien mit großer Oberfläche. Die Spannung darf nur in einer Richtung angelegt werden. In der falschen Richtung fließt ein Leckstrom und baut die Isolationsschicht allmählich ab, was zur Zerstörung des Bauteils führt. Der Minuspol ist durch einen weißen Streifen gekennzeichnet und hat einen kürzeren Anschlussdraht.



Abb. 5.3 Ein Elektrolytkondensator

5.2 Transistor-Grundschaltung

Die Schaltung nach Abb. 5.4 zeigt die Grundfunktion des NPN-Transistors. Es gibt zwei Stromkreise. Im Steuerstromkreis fließt ein kleiner Basisstrom, im Laststromkreis ein größerer Kollektorstrom. Beide Ströme gemeinsam fließen durch den Emitter. Da der Emitter hier am gemeinsamen Bezugspunkt der Schaltung liegt, nennt man diese Schaltung auch die Emitterschaltung. Sobald der Basisstromkreis geöffnet wird, fließt auch kein Laststrom mehr. Der entscheidende Punkt ist, dass der Basisstrom sehr viel kleiner ist als der Kollektorstrom. Der kleine Basisstrom wird also zu einem größeren Kollektorstrom verstärkt. Im vorliegenden Fall ist der Stromverstärkfaktor etwa 100. Der Basiswiderstand ist mit $100\text{ k}\Omega$ einhundertfach größer als der Vorwiderstand im Laststromkreis.

Der Transistor arbeitet in dieser Schaltung wie ein Schalter. Zwischen Kollektor und Emitter liegt nur noch ein sehr kleiner Spannungsabfall. Der Kollektorstrom ist bereits

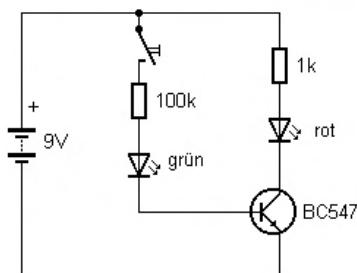


Abb. 5.4 Ein NPN-Transistor in Emitterschaltung

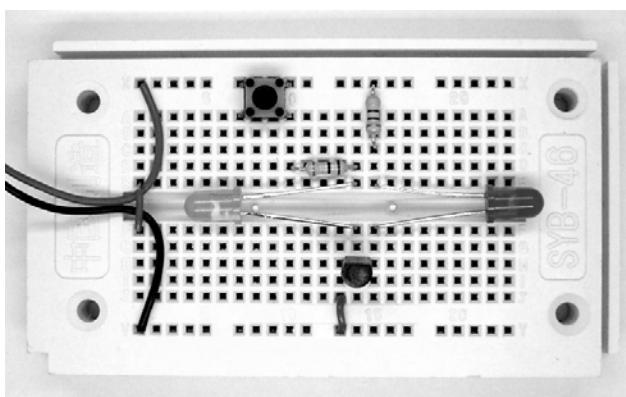


Abb. 5.5 Der Transistor in Emitterschaltung

durch den Verbraucher begrenzt und kann nicht weiter steigen. Der Kollektorstrom ist gesättigt, der Transistor ist also voll durchgesteuert.

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

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

Tatsächlich kann der Stromverstärkungsfaktor trotz aller Präzision bei der Herstellung von Transistoren nicht genau geplant werden. Sie können also davon ausgehen, dass z.B. zwei Transistoren BC547B bei einer genaueren Messung eine unterschiedliche Stromverstärkung zeigen. Die Transistoren werden bei der Herstellung getestet und in die Verstärkungsgruppen A (110 – 220), B (200 – 450) und C (420 – 800) eingeteilt. Die B-Typen haben damit mindestens eine Verstärkung von 200.

5.3 Nachlaufsteuerung

Die Stromverstärkung eines Transistors kann verwendet werden, um die Entladzeit eines Kondensators zu verlängern. Die Schaltung nach Abb. 5.6 verwendet einen Elko mit $100\text{ }\mu\text{F}$ als Ladekondensator. Nach einem kurzen Druck auf den Tastschalter ist er geladen und liefert nun für längere Zeit den Basisstrom der Emitterschaltung.

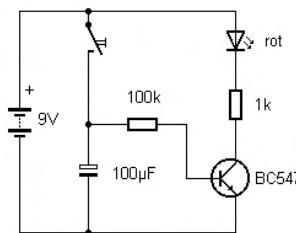


Abb. 5.6 Verzögerte Ausschaltung

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

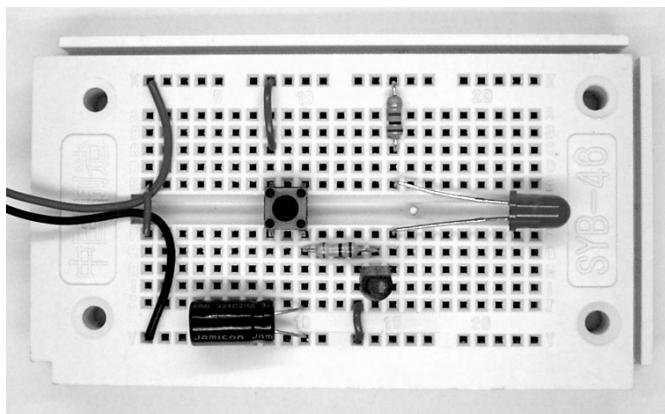


Abb. 5.7 Das Minutenlicht

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

5.4 Die Darlington-Schaltung

Die Stromverstärkungsfaktoren zweier Transistoren lassen sich multiplizieren, wenn man den verstärkten Strom des ersten Transistors als Basisstrom des zweiten Transistors noch einmal verstärkt. Die Darlington-Schaltung nach Abb. 5.8 verbindet beide Kollektoren, so dass nach außen ein Bauelement mit drei Anschlüssen erscheint, das man auch als Darlington-Transistor bezeichnet.

Wenn man von einem Verstärkungsfaktor 500 für jeden der Transistoren ausgeht, hat die Darlington-Schaltung eine Verstärkung von 250000. Nun leitet bereits ein Basiswiderstand von $10\text{ M}\Omega$ genügend um die LED einzuschalten. Im realen Versuch kann man statt des extrem hochohmigen Widerstands wieder einen Berührungskontakt verwenden. Wegen der großen Verstärkung reicht nun bereits eine leichte Berührung mit trockenem Finger. Der zusätzliche Schutzwiderstand in der Zuleitung zur Batterie schützt die Transistoren für den Fall, dass die Berührungskontakte versehentlich direkt verbunden werden.

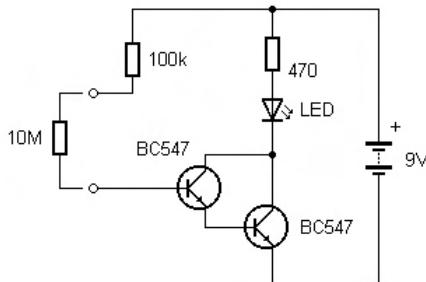


Abb. 5.8 Die Darlington-Schaltung

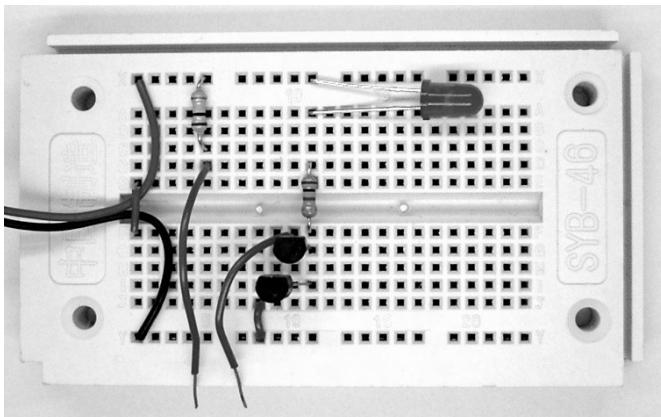


Abb. 5.9 Der Berührungssensor

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 Darlingtonsschaltung 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.

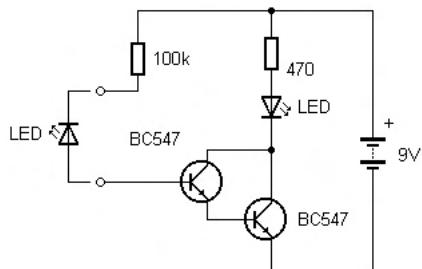


Abb. 5.10 Verstärkung des LED-Sperrstroms

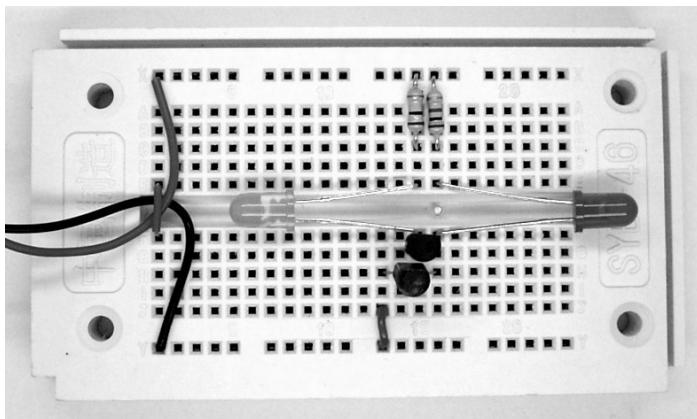


Abb. 5.11 Der LED-Lichtsensor

5.6 Die Konstantstromquelle

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

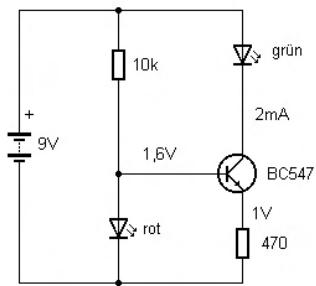


Abb. 5.12 Eine stabilisierte Stromquelle

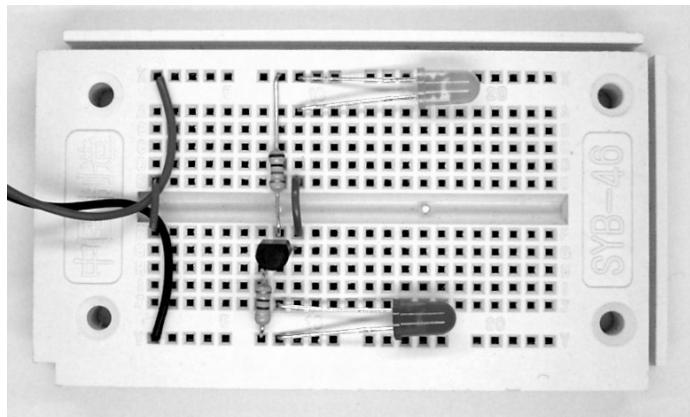


Abb. 5.13 Stabilisierung der LED-Helligkeit

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.

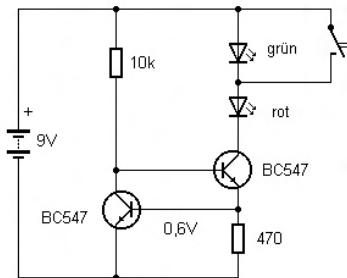


Abb. 5.14 Veränderte Konstantstromquelle

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.

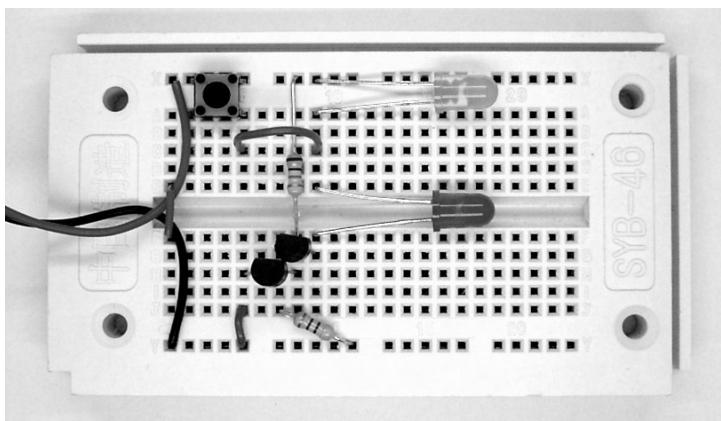


Abb. 5.15 Konstantstrom mit zwei NPN-Transistoren

6 Kippschaltungen mit LEDs*

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

6.1 Elektronischer Umschalter

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

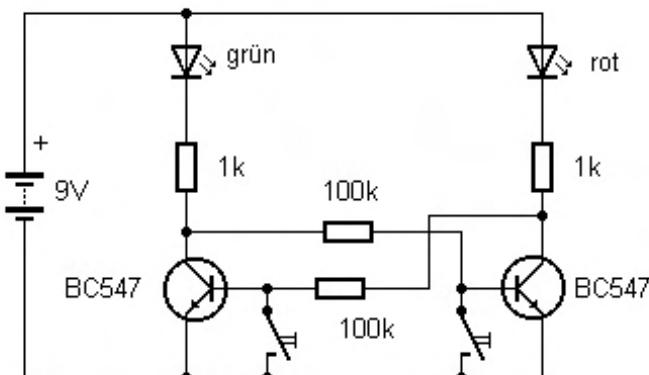


Abb. 6.1 Ein bistabiles Flipflop

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

* Achtung: Die hier verwendeten Bauteile sind nicht im Lernpaket LEDs enthalten

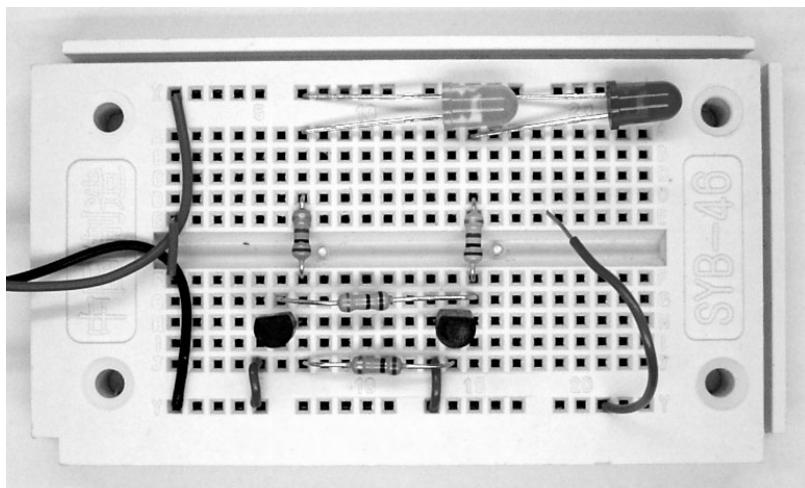


Abb. 6.2 Die einfache Kippschaltung

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

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

6.2 Die Thyristor-Schaltung

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

Das gleiche Verhalten lässt sich nach Abb. 6.3 mit einem NPN- und einem PNP-Transistor nachbilden. Der Kollektorstrom eines Transistors wird zugleich zum Basisstrom

des anderen Transistors. Damit sind entweder beide Transistoren gemeinsam gesperrt oder leitend. Nach dem Einschalten befindet sich die Schaltung zuerst im Sperrzustand. Eine kurze Schalterbetätigung schaltet in den An-Zustand um. Nur durch Abschalten der Betriebsspannung kehren die Transistoren in den gesperrten Zustand zurück.

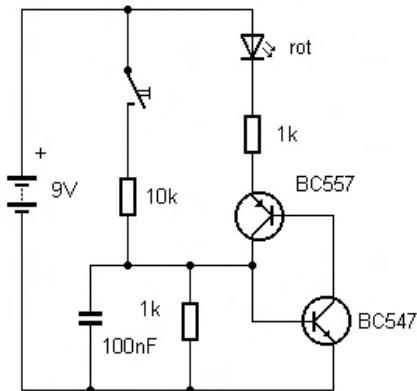


Abb. 6.3 Ersatzschaltung für einen Thyristor

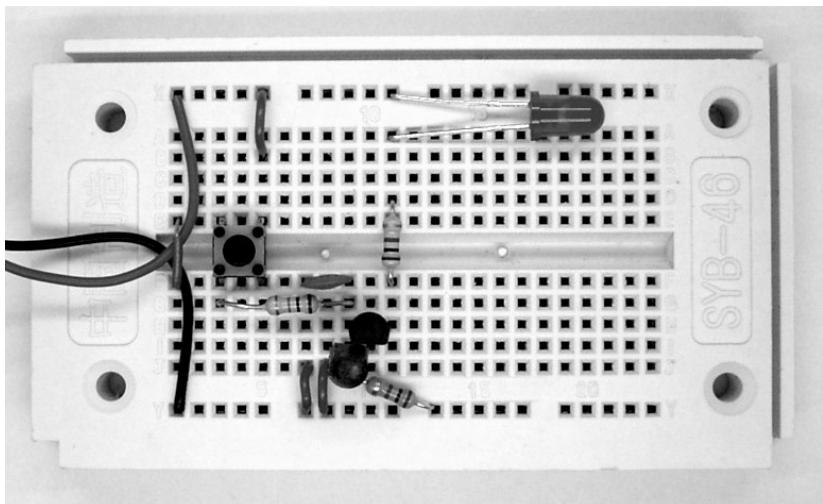


Abb. 6.4 Kippschaltung mit NPN- und PNP-Transistor

Theoretisch sollte die Schaltung auch ohne Basis-Emitterwiderstand funktionieren. Allerdings können kleinste Isolationsfehler die Schaltung dann bereits ohne Schaltsignal zünden. Dazu kommen die geringen Sperrsichtkapazitäten der Transistoren, die einen kleinen Ladestrom beim Einschalten bewirken. Da die Gesamtverstärkung wie bei einem Darlingtontransistor sehr groß ist, reicht schon ein sehr schwacher Impuls zum Zünden. Ein zusätzlicher Kondensator zwischen Basis und Emitter verhindert zuverlässig, dass die Schaltung beim Anlegen der Batteriespannung von allein einschaltet.

Die Schaltung kann mit einer kleinen Erweiterung auch die Funktion eines RS-Flip-flops übernehmen. Man kann z.B. eine Kurzschlussbrücke zwischen beide Emittoren legen. Solange dieser Nebenstromkreis besteht, ist der Verbraucher zwar noch an, die Transistoren sind jedoch bereits stromlos.

6.3 Der Schmitt-Trigger

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

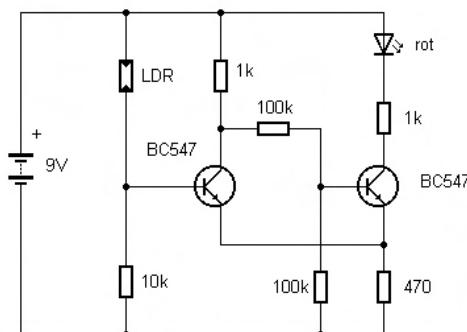


Abb. 6.5 Der Schmitt-Trigger

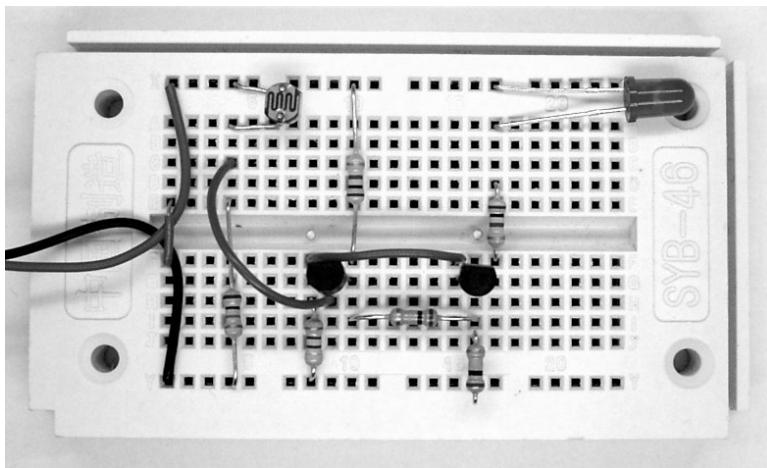


Abb. 6.6 Schmitt-Trigger als Dämmerungsschalter

Abb. 6.5 zeigt die klassische Schaltung des Schmitt-Triggers. Jede Kippschaltung braucht eine Rückkopplung zum Erreichen eines stabilen Zustands. Hier erfolgt die Rückkopplung über die Emitteranschlüsse. Der Spannungsabfall im gemeinsamen Emitterwiderstand sorgt dafür, dass jeweils ein eindeutiger Zustand vorliegt.

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

6.4 An/Aus-Taster

Oft verwendet man einen einfachen Tastschalter in der Funktion als Ein/Ausschalter: Einmal Tasten schaltet den Verbraucher an, der nächste Tastendruck schaltet wieder aus. Benötigt wird dann ein elektronischer Umschalter, der durch den Taster getriggert wird. Wichtig ist, dass die Schaltung selbst im Ruhezustand keinen Strom benötigt, damit auch der Langzeiteinsatz an einer Batterie möglich ist.

Abb. 6.7 zeigt eine einfache Schaltung mit einem NPN- und einem PNP-Transistor. Im eingeschalteten Zustand versorgen sich beide Transistoren gegenzeitig mit Basisstrom. Im nichtleitenden Zustand sind beide Transistoren gesperrt, so dass in der gesamten Schaltung kein Strom fließt. Der Kondensator lädt sich jeweils

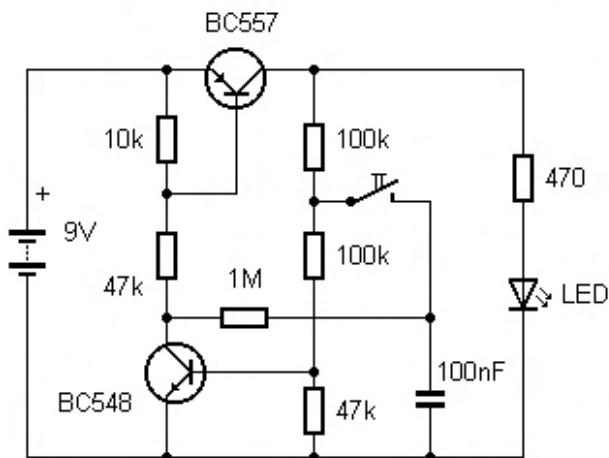


Abb. 6.7 Ein elektronischer Schalter

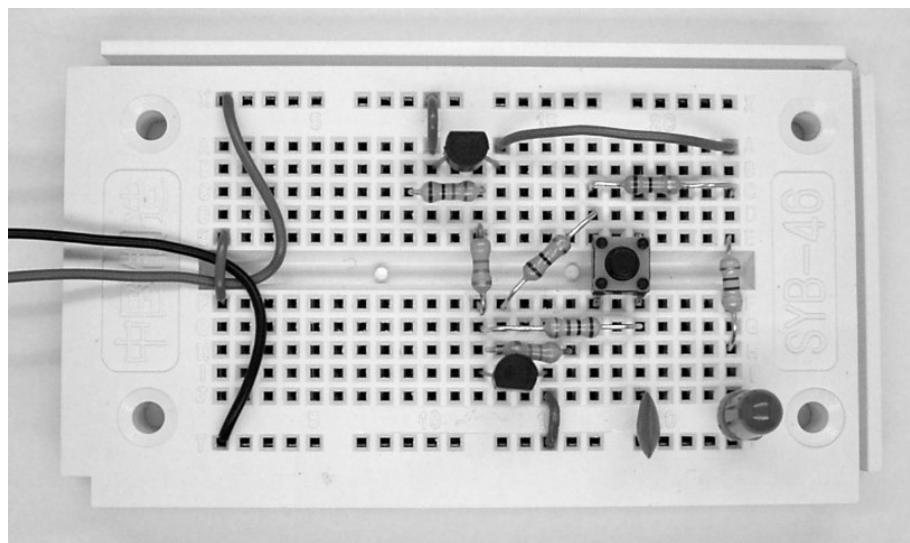


Abb. 6.8 Der Tastschalter

in den gegensätzlichen Zustand auf, d.h. er wird geladen, wenn der Verbraucher ausgeschaltet ist und entladen, wenn eingeschaltet wurde. Deshalb bewirkt jeder Tastendruck ein Umkippen in den anderen Zustand. Zwischen zwei Tastendrücken

muss allerdings eine Pause von ca. 0,5 s liegen, was gleichzeitig zur Entprellung des Tasters dient. Die Schaltung wurde hier mit einer LED eingesetzt. Selbstverständlich lassen sich auch andere Verbraucher schalten.

7 Blinker und Oszillatoren*

Oszillatoren sind Schaltungen, die selbständig Schwingungen erzeugen. Für langsame Umschaltvorgänge und Blinker werden meist Kippschaltungen mit Transistoren oder ICs eingesetzt. Höhere Frequenzen werden z.B. für Spannungswandler oder PWM-Steuerungen verwendet. Außer Transistoren kommen hier auch spezielle integrierte Schaltungen zum Einsatz.

7.1 Transistor-Wechselblinker

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

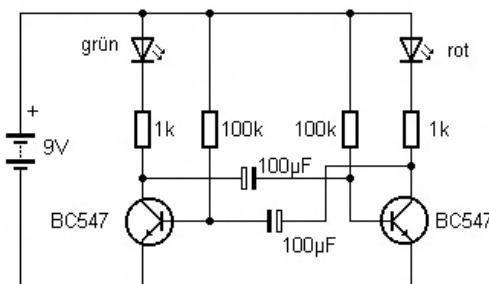


Abb. 7.1 Der Multivibrator

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

* Achtung: Die hier verwendeten Bauteile sind nicht im Lernpaket LEDs enthalten

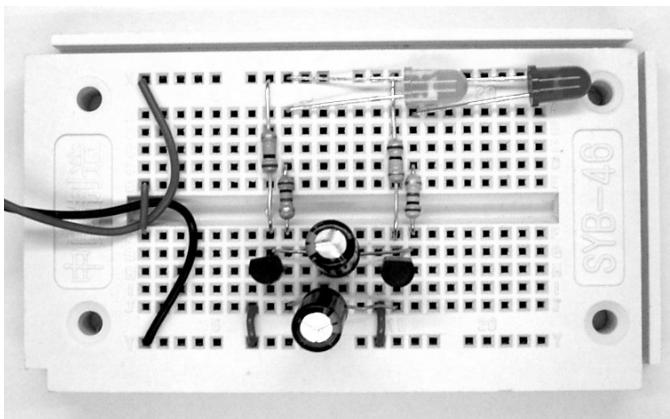


Abb. 7.2 Ein langsamer Wechselblinker

einer der beiden LEDs. Mit zwei Kondensatoren von 100 nF ergibt sich ein schnelles Flackern.

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

7.2 LED-Spannungswandler

Eine weiße LED benötigt eine Spannung von ca. 3,6 V. Wenn man eine einzelne 1,5-V-Zelle verwenden möchte, muss die Spannung durch einen Spannungswandler erhöht werden. Dazu benötigt man im einfachsten Fall einen Multivibrator und eine Spule.

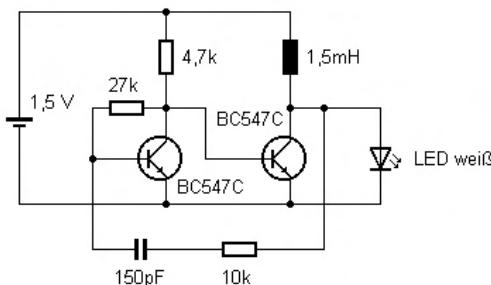


Abb. 7.3 Der Spannungswandler

Die Schaltung zeigt einen einfachen Rechteckgenerator (Multivibrator). Der Strom durch die Spule wird schnell ein- und ausgeschaltet. Die Spule arbeitet dabei als magnetischer Energiespeicher. Bei jedem Ausschalten entsteht eine Induktionsspannung, die sich zur Batteriespannung addiert. Die Höhe der Spannung richtet sich nach dem angeschlossenen Verbraucher. Sie passt sich selbst an, so dass z.B. eine weiße LED mehr Spannung erhält als eine rote. Meist haben Spannungswandler noch einen Gleichrichter und einen Siebelko. Hier kann man darauf verzichten, denn durch die LED fließt pulsierender Gleichstrom. Er ist im Mittel etwas kleiner als der Batteriestrom, weil die Spannung höher ist. Insgesamt hat die Schaltung einen besseren Wirkungsgrad als die normale Lösung mit höherer Batteriespannung und Vorwiderstand.

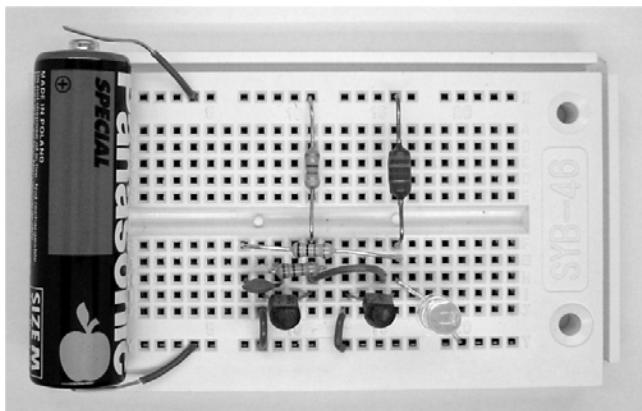


Abb. 7.4 Multivibrator als Spannungswandler

Das entscheidende Teil ist eine kleine Spule (Festinduktivität) mit 1,5 Millihenry. Das Bauteil sieht aus wie ein Widerstand. Die Farbringe rot, grün, braun stehen für $1500 \mu\text{H}$. Unter dem Schutzlack befindet sich ein kleiner Ferritkern und eine Drahtspule. Im Prinzip kann man sich eine passende Spule auch selbst herstellen. Etwas 200 Windungen auf einem Ferritstab reichen aus.

Die Batteriespannung darf bis etwa 0,7 V abfallen, die LED leuchtet dennoch weiter. Bei 1,5 V wird nur etwa 20 mA aus der Batterie aufgenommen. Je geringer die Batteriespannung wird, desto geringer wird der Strom. Zwar ist dann die LED nicht mehr sehr hell. Aber diese Schaltung hilft, auch noch den letzten Rest Energie aus der ältesten Batterie zu verbrauchen.

7.3 Blinkschaltung mit NE555

Der Universal-Timer NE555 ist ein weit verbreiteter integrierter Schaltkreis zur einfachen Erzeugung von Verzögerungszeiten und Rechtecksignalen. Mit nur zwei externen Bauteilen lässt sich bereits ein Tongenerator oder ein Blinker aufbauen. Das IC besteht intern im wesentlichen aus zwei Komparatoren und einem RS-Flipflop. Ein interner Spannungsteiler aus drei gleichen Widerständen stellt die Vergleichsspannung von 1/3 und 2/3 der Betriebsspannung bereit. Der obere Komparator mit dem Eingang THR (Threshold, Schwelle) steuert den Reset-Eingang des Flipflops, der untere mit dem Eingang TRG (Trigger, Auslösung) den Set-Eingang. Im gesetzten Zustand wird der Entladetransistor am Ausgang DIS (Discharge, Entladung) leitend. Zusätzlich gibt es eine Gegentakt-Ausgangsstufe. Das Flipflop verfügt außerdem über einen Reset-Eingang, der im Ruhezustand an die positive Betriebsspannung gelegt werden soll. Ein zusätzlicher Control-Eingang am Pin 5 erlaubt die Beeinflussung der Komparatorenspannungen von außen.

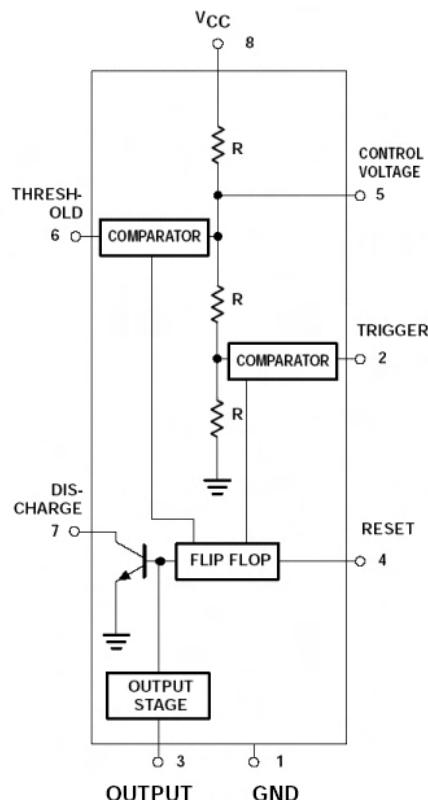


Abb. 7.5 Innenschaltbild des NE555

Die Schaltung nach Abb. 7.6 zeigt die typische Beschaltung für einen Rechteckgenerator. Ein Kondensator wird über beide $10\text{-k}\Omega$ -Widerstände geladen und beim Erreichen der oberen Schaltschwelle über den DIS-Ausgang entladen, bis die untere Schaltschwelle erreicht ist.

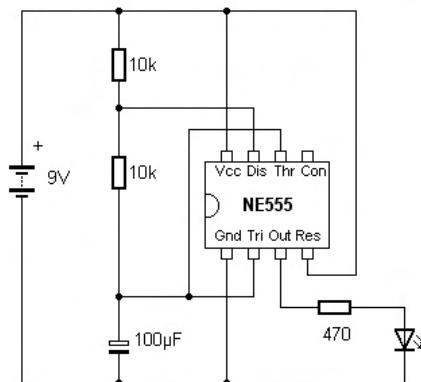


Abb. 7.6 Ein LED-Blinker

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

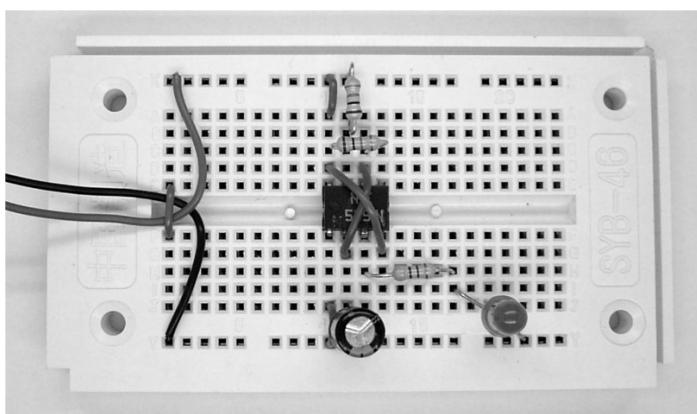


Abb. 7.7 LED-Blinker mit dem NE555

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.

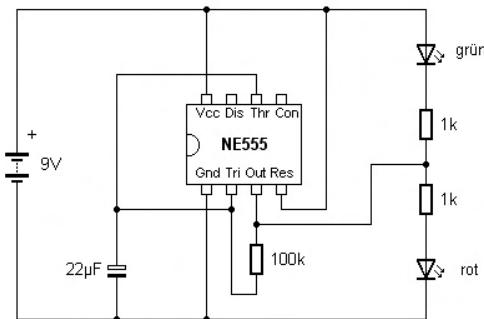


Abb. 7.8 Ein langsamer Blinker

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.

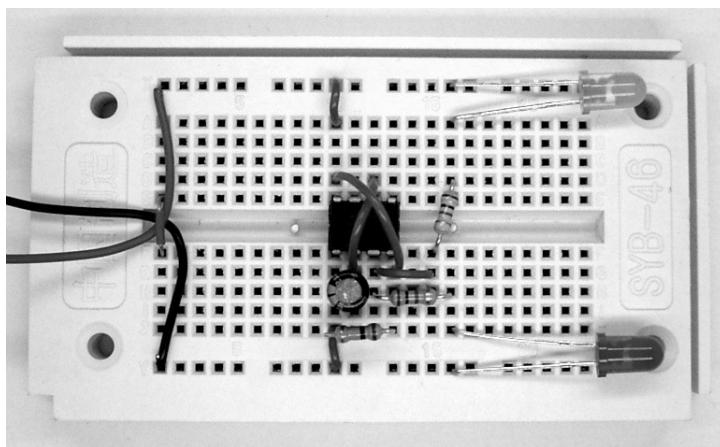


Abb. 7.9 Der Wechselblinker

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 Pulsweltenmodulation (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

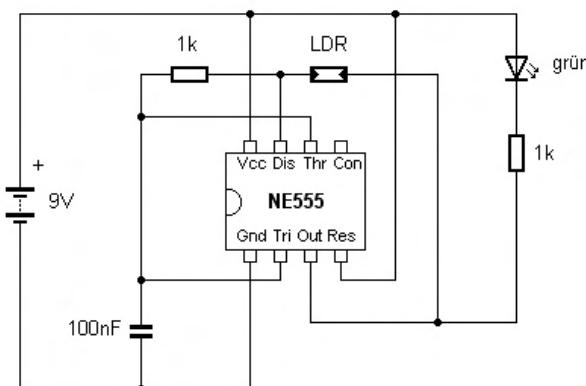


Abb. 7.10 Eine PWM-Steuerung

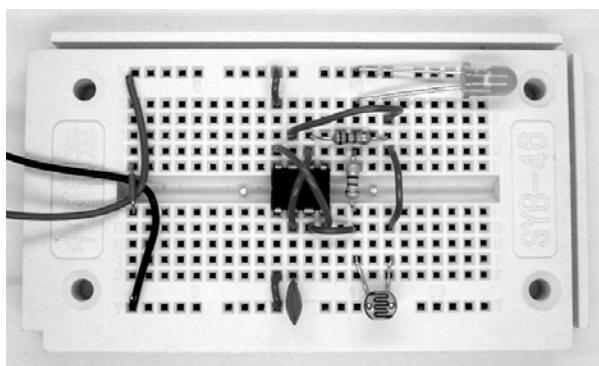


Abb. 7.11 LED-Helligkeitssteuerung

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 Dienst 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.

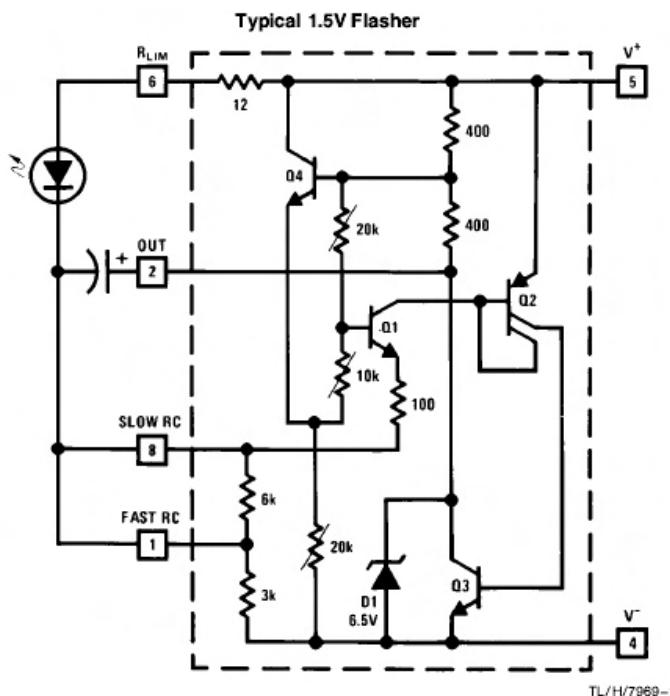


Abb. 7.12 Innenschaltung des LM3909 (National Semiconductor)

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.

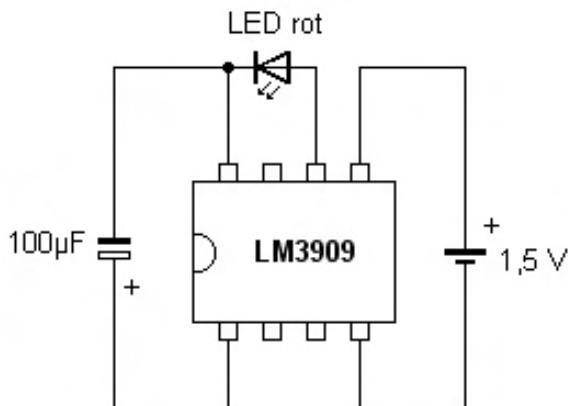


Abb. 7.13 Typische Anwendung des LM3909

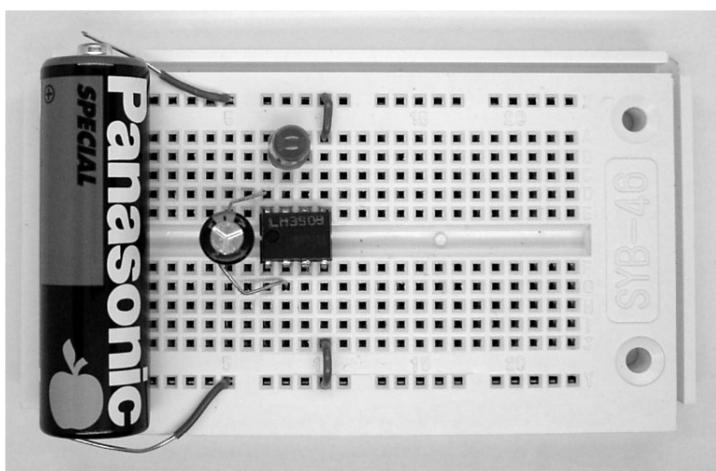


Abb. 7.14 Das integrierte LED-Blitzlicht

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- μ F-Elko erreicht man eine typische Blinkfrequenz von 1,1 Hz und einen mittleren Strom von nur 0,32 mA. Mit einem Elko von 300 μ 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.

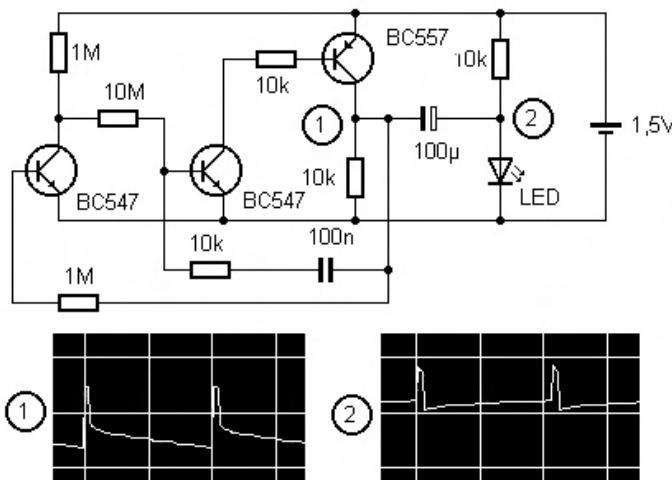


Abb. 7.15 LED-Blitzlicht mit Transistoren

Die Schaltung besteht aus einem astabilen Multivibrator mit besonderen Eigenschaften. Ein Elko von 100 μ 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 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 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 Verschwendungen 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.

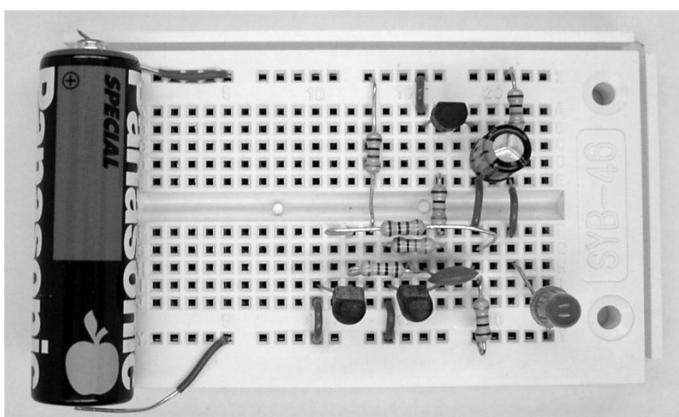


Abb. 7.16 LED-Blitzlicht mit langer Betriebsdauer

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-Blinder

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 Lernpaketts. Das Schaltbild nach Abb. 7.17 zeigt eine mögliche Lösung.

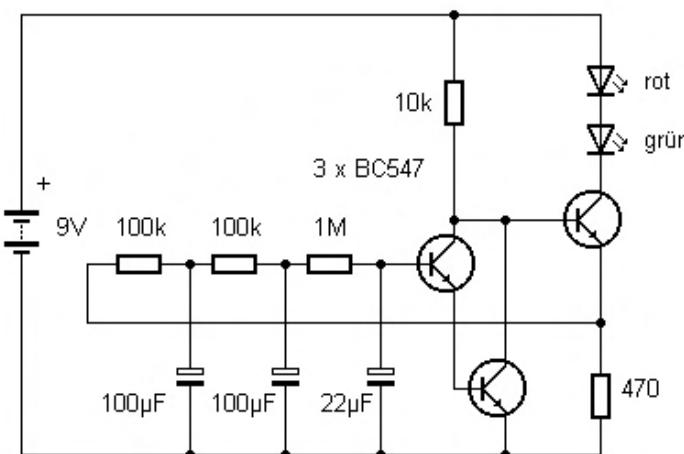


Abb. 7.17 Ein Phasenschieber-Oszillator

Die beiden linken Transistoren werden in einer Darlingtonsschaltung als Emitterstufe verwendet und drehen die Phase um 180 Grad. Die Ausgangsstufe arbeitet als Emitterfolger, wobei die LED in der Kollektorleitung zunächst nicht beachtet werden muss. Für die mittlere Gleichspannung besitzt die Gesamtschaltung eine starke Gelegenkopplung. Die Spannung am Emitterwiderstand 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- Ω -Widerstands.

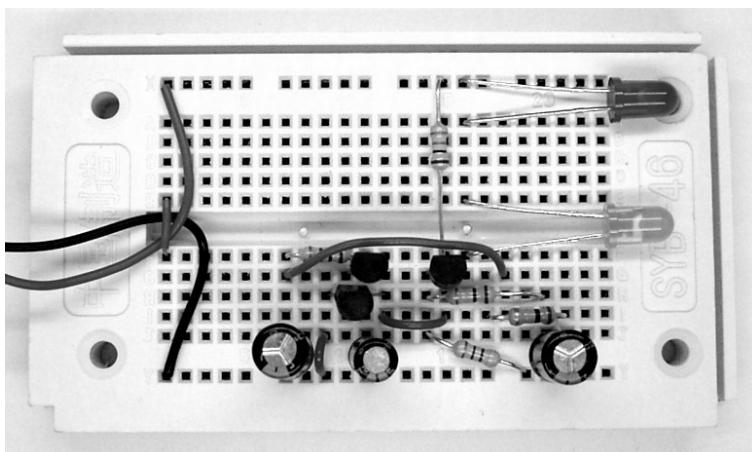


Abb. 7.18 Der Soft-Blinker

8 Stromversorgung und LED-Beleuchtungen*

LEDs dringen immer weiter in die Beleuchtungstechnik vor. Während die ersten LEDs allenfalls als Signallämpchen eingesetzt werden konnten, kommt der Wirkungsgrad moderner weißer LEDs inzwischen an den von Halogenlampen heran und übertrifft deutlich den kleiner Glühlampen. Power-LEDs können im Prinzip wie normale LEDs angewandt werden. Allerdings bieten sich hier fortschrittliche Konzepte der Spannungsversorgung z.B. mit Schaltreglern an.

8.1 Power-LEDs

Speziell für anspruchsvolle Beleuchtungsanwendungen hat die Firma Luxeon 1-W-LEDs unter der Sammelbezeichnung LUMILEDs auf den Markt gebracht. Diese Luxeon Emitter sind in unterschiedlichen Farben und mit drei Linsentypen für unterschiedliche Abstrahlcharakteristiken erhältlich. Die Farben Rot und Amber verwenden einen AlInGaP-Chip mit einer Durchlassspannung von 2,85V bei 350 mA, Grün, Blau, Cyan und Weiß haben mit einem InGaN-Chip eine Durchlassspannung von 3,42 V bei 350 mA.

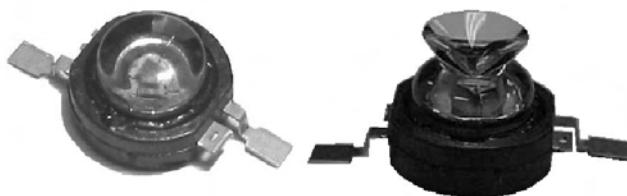


Abb. 8.1 Luxeon-Emitter für vordere und seitliche Abstrahlung

Die fest montierten Kunststofflinsen sind für verschiedene Anstrahlwinkel ausgelegt. Die flache Linse (Low Dome, Batwing) hat einen Abstrahlwinkel von 110°, während die hohe Linse (High Dome, Lambertian) in einem Winkel vom 140° abstrahlt. Mit einem speziellen trichterförmigen Aufbau erhält man eine bevorzugte seitliche Abstrahlung (Side Emitting) im Winkel 75° bis 85°.

* Achtung: Die hier verwendeten Bauteile sind nicht im Lernpaket LEDs enthalten

Übliche LEDs werden mit Strömen von 20 mA betrieben. Die Leistungsgrenze ergibt sich hauptsächlich aus der begrenzten Wärmeableitung vom LED-Chip. Mit den LU-MILEDs der Firma Luxeon wurde durch eine 20-fach verbesserte Wärmeableitung und einen größeren LED-Kristall der Nennstrom auf 350 mA erhöht. Bei einer Nennspannung von 3,42 V für die weiße LED beträgt die Leistungsaufnahme ca. 1W.

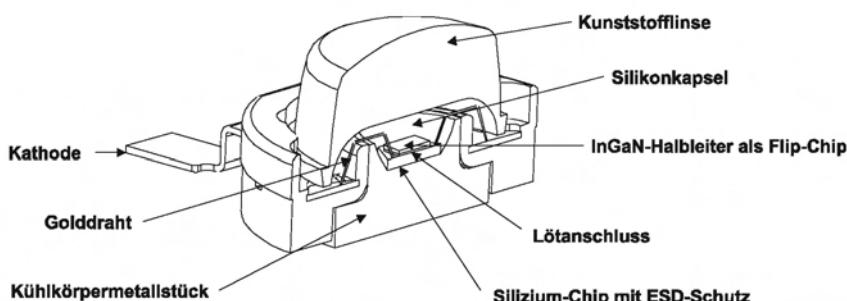


Abb. 8.2 Aufbau des Luxeon-Emitter

Entscheidend für den erfolgreichen Einsatz ist die optimale Abführung der Verlustwärme. Eine zu hohe Sperrsichttemperatur verringert die Lichtausbeute und die Lebensdauer. Der LED-Chip sitzt auf einem massiven Kühlkörperblock, der isoliert und mit guter Wärmeleitung auf einen Kühlkörper montiert werden soll. Lighteon empfiehlt die Montage auf einem 0,1 mm dicken Exoxydplatine, die auf ein 1,5 mm dickes Alublech geklebt ist. Der Kühlkörper der LED soll mit wärmeleitendem Kleber montiert werden. Die Verlustwärme wird dann über die Platine und das Alublech abgeführt. Die Montage ist relativ kritisch, so dass es sich empfiehlt, statt der einzelnen Power-LED gleich eine vormontierte Bauform auf einem Alu-Kühlblech zu kaufen. Zur Auswahl steht die sternförmige „Luxeon star“, die quadratische „Luxeon star/c“



Abb. 8.3 Auf Kühlbleche vormontierte Luxeon-Emitter

und die quadratische „star/o“ mit einer zusätzlichen Sammellinse für einen Abstrahlwinkel von 10°.

Die Ansteuerung einer 1-W-LED ist nicht schwieriger als die einer Standard-LED. Es reicht schon ein einfacher Vorwiderstand zum Einstellen des korrekten Stroms. Allerdings muss man sich wegen des größeren Stroms bereits Gedanken über die zulässige Verlustleistung des Widerstands machen.

Tabelle 8.1: Vorwiderstände für weiße Luxeon-Emitter bei 350 mA

Spannung	Widerstand	Verlustleistung
4,5 V	3,1 Ω	0,4 W
6 V	7,4 Ω	1 W
9 V	16 Ω	2 W
12 V	24,5 Ω	3 W

Für Batteriebetrieb empfiehlt sich eine Spannung von 4,5 V, wobei bereits ein Standard-Metallschichtwiderstand mit einer Belastbarkeit von 0,4 W ausreicht. Bei höheren Anschlussspannungen sollte man Draht-Widerstände mit höherer Belastbarkeit verwenden. Bei Verwendung eines Steckernetzteils bietet sich eine Dimensionierung für 12 V an, wobei man mit dem Bereichsschalter zwischen 4,5 V und 12 V in weiten Grenzen dimmen kann.

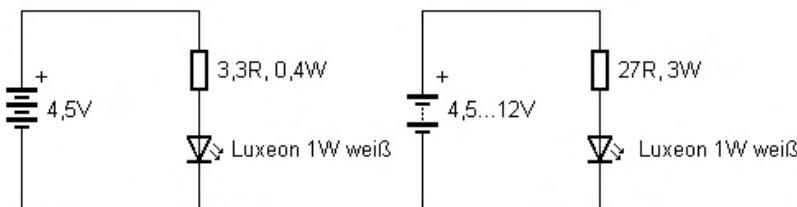


Abb. 8.4 Betrieb mit Vorwiderstand

8.2 Konstantstromquelle mit LM317

Ein Vorwiderstand passt jeweils für eine genau definierte Spannung optimal. Eine Konstantstromquelle dagegen stabilisiert den Strom, wobei die Eingangsspannung in weiten Grenzen variieren darf. Die Helligkeit ist dann nicht mehr von der genauen Betriebsspannung abhängig.

Der LM317T ist ein einstellbarer Spannungsregler im TO220-Gehäuse. Der Regelbereich umfasst 1,2 V bis 37 V bei einem maximalen Ausgangsstrom von 1,5 A. Zwischen dem Eingang ADJ und dem Ausgangspin Vout liegt eine konstante Spannung von 1,25 V. Durch einen äußeren Spannungsteiler wird die Ausgangsspannung eingestellt. Der Festwiderstand zwischen Vout und ADJ soll im Interesse eines ausreichenden Querstroms immer 240Ω besitzen. Für die Ausgangsspannung in Abhängigkeit vom einstellbaren Widerstand gilt dann:

$$V_{\text{out}} = 1,25 \text{ V} * (R + 240 \Omega) / 240 \Omega$$

Für einen Widerstand von $2,2 \text{ k}\Omega$ ergibt sich eine Ausgangsspannung von 12,7 V. Verwendet man ein Potentiometer mit $2,2 \text{ k}\Omega$, dann ergibt sich ein Einstellbereich von 1,25 V bis 12,7 V. Der Regler ist bei ausreichender Kühlung bis 1,5 A belastbar. Das IC besitzt eine interne Strombegrenzung und eine Übertemperatursicherung.

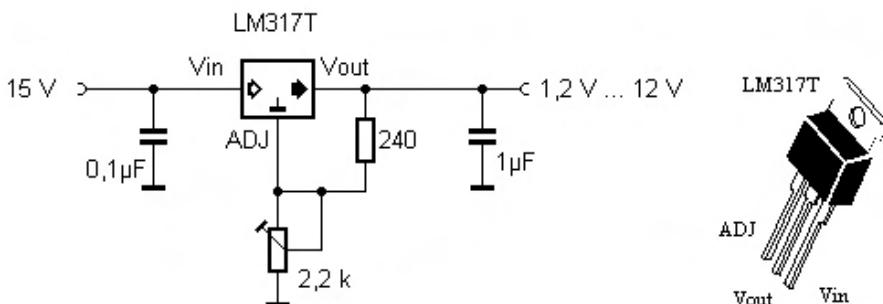


Abb. 8.5 Standard-Anwendung des LM317T

Der Spannungsregler kann auch als Konstantstromquelle geschaltet werden. Abb. 8.6 zeigt eine einfache Schaltung für einen stabilen Strom von ca. 350 mA. Am Ausgang liegt ein Widerstand von $3,6 \Omega$. Der Regler sorgt für eine stabile Spannung von 1,25 V an diesem Widerstand. Damit kann der Strom berechnet werden:

$$I = 1,25 \text{ V} / 3,6 \Omega$$

$$I = 0,374 \text{ A}$$

Dieser Strom ist unabhängig von der Betriebsspannung, solange die Eingangsspannung des Reglers um zwischen ca. 2 V und 40 V über der Ausgangsspannung liegt. Die untere Grenze darf unterschritten werden, wenn es nicht auf höchste Genauigkeit ankommt. In der vorliegenden Schaltung ist die Regler-Eingangsspannung um die LED-Arbeitsspannung geringer als die Batteriespannung. Bei nur 6 V ist der Strom bereits leicht abgesunken, was aber an der Helligkeit kaum zu bemerken ist. Der Regler hat dann nur eine Spannung von $6 \text{ V} - 3,5 \text{ V} - 1,25 \text{ V} = 1,25 \text{ V}$ als Spannungsreserve. Bereits ab ca. 6,5 V wird der volle Ausgangsstrom erreicht.

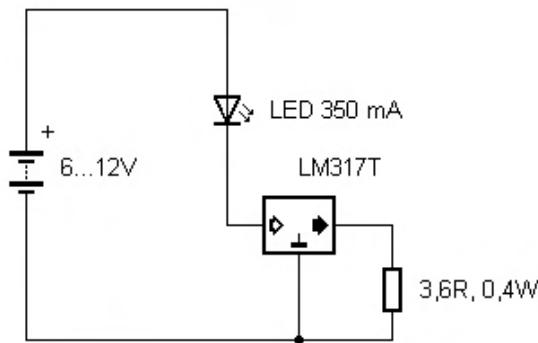


Abb. 8.6 Der LM317T als Stromregler

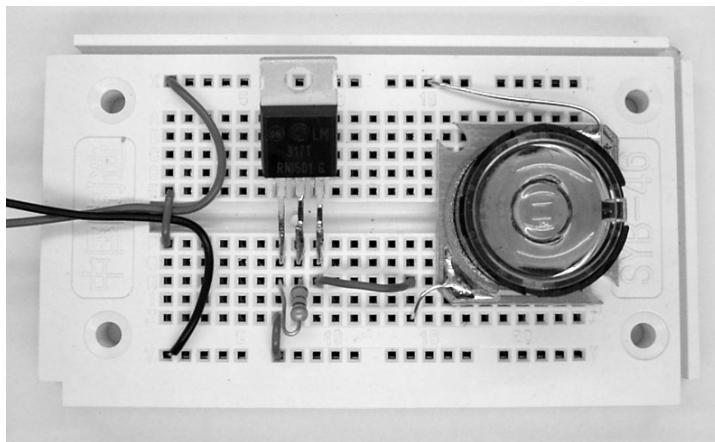


Abb. 8.7 Testaufbau ohne Kühlkörper

Die obere Spannungsgrenze wird vor allem von der Kühlung des ICs bestimmt. Die aufgenommene Leistung beträgt bei einer Eingangsspannung von 12 V bereits ca. 2,5 W.

$$P = U * I$$

$$P = (12 \text{ V} - 3,5 \text{ V} - 1,25 \text{ V}) * 0,35 \text{ A}$$

$$P = 2,54 \text{ W}$$

Um diese Leistung abzuführen, ist ein relativ großer Kühlkörper mit ca. 20 K/W erforderlich. Ein zu kleiner Kühlkörper lässt die Kristalltemperatur so weit ansteigen, dass die interne Leistungsbegrenzung anspricht und den Strom automatisch herabregelt.

Die Leistungsbilanz zeigt ein grundsätzliches Problem jedes Linearreglers. Genau wie bei in einem einfachen Vorwiderstand entsteht eine große Verlustwärme, die von der „vernichteten“ Spannung abhängt. Der elektrische Wirkungsgrad beträgt nur noch 3,5 V/U_{bat}, also ca. 58% bei einer Batteriespannung von 6 V und ca. 29% bei einer Batteriespannung von 12 V. Der gute Wirkungsgrad einer Power-LED wird damit deutlich herabgesetzt. Wenn es auf einen möglichst guten Wirkungsgrad ankommt, sollte die Betriebsspannung also nicht höher als nötig sein. Bei einer Versorgungsspannung von 12 V sollte man zwei Power-LEDs in Reihe schalten, um den Wirkungsgrad zu verbessern.

Die Schaltung lässt sich mit einem größeren Widerstand von z.B. 62 Ω für Standard-LEDs bei einem Strom von ca. 20 mA betreiben. Bei nicht zu hoher Eingangsspannung bis ca. 6 V kann der kleinere LM317LZ im TO-92-Gehäude eingesetzt werden, der auch im folgenden Abschnitt verwendet wird.

8.3 LED-Dimmer

Eine regelbare Konstantstromquelle lässt sich sowohl mit einem integrierten Spannungsregler als auch mit einem Transistor aufbauen. Eine Transistorschaltung arbeitet mit geringerem Spannungsverlust und kommt daher bereits mit einer Eingangsspannung von 4 V aus.

Die Schaltung nach Abb. 8.8 verwendet eine übliche Konstantstromschaltung mit einem NPN-Transistor. Die Eingangsspannung wird über LM317LZ als Spannungsregler auf 1,25 V stabilisiert. Die Si-Diode hebt die Spannung am unteren Ende des Potis so weit an, dass hier gerade ein geringer Ausgangsstrom beginnt. Geht man von einer Basis-Emitterspannung von 0,7 V aus, ergibt sich am oberen Anschlag eine Emitterspannung von $1,25 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 0,55 \text{ V}$. Der Emitterwiderstand von 2 Ω stellt dann einen Strom von 275 mA ein.

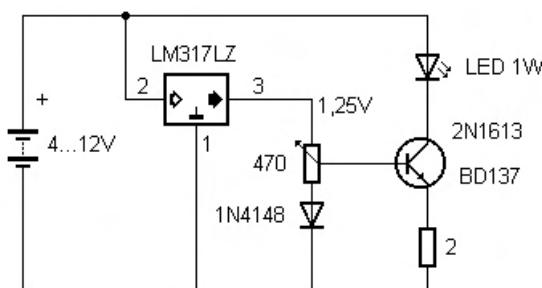


Abb. 8.8 Eine einstellbare Konstantstromquelle

Abb. 8.9 zeigt einen Probeaufbau der Schaltung auf einer Steckplatine. Wegen der dünneren Anschlussdrähte wurde der 2N1613 gewählt. Der Transistor trägt einen Kühlstern zur besseren Wärmeableitung. Der BD137 eignet sich dagegen besser für die Montage auf einem Kühlkörper.

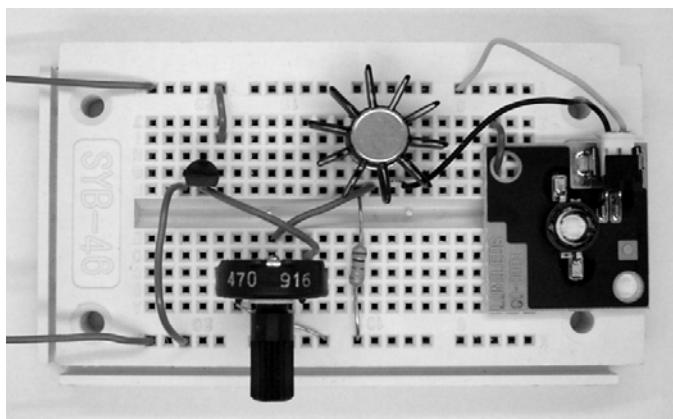


Abb. 8.9 Geregelte Konstanstromquelle mit 2N1613

8.4 Spannungswandler mit NE555

Wenn eine LED mit höherer Spannung betrieben werden soll, geht bei Verwendung eines Vorwiderstands oder in einem Längsregler erhebliche Energie verloren. Ein großer Teil des guten Wirkungsgrads moderner LEDs wird wieder zunichte gemacht. Vor allem beim Einsatz von Power-LEDs kann auch die Verlustwärme nachteilig sein, da man zusätzliche Kühlkörper benötigt. All diese Nachteile vermeidet ein Schaltregler. Statt eines speziellen Schaltregler-ICs kann ein erster Versuch schon mit einem einfachen Timerbaustein NE555 durchgeführt werden.

Abb. 8.10 zeigt einen sehr einfachen Schaltregler mit einem NE555. Am Pin 3 entsteht ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von ca. 100 kHz. Die Spule mit einer Induktivität von 100 μH sorgt für die Anpassung an die Power-LED.

Die Schaltung zeigt bei 12 V eine Stromaufnahme von 100 mA. Damit wird eine Leistung von 1,2 W aufgenommen und maximal ca. 1 W an die LED abgegeben. Bei geringerer Eingangsspannung sinkt auch der Eingangsstrom. Bei 6 V Batteriespannung wird ca. 50 mA aufgenommen, bei 3 V nur noch ca. 20 mA.

Das Oszilloskopgramm in Abb. 8.12 verdeutlicht, wie die Schaltung arbeitet. Der untere Kanal zeigt die Ausgangsspannung am Pin 3 des NE555. Der obere Kanal zeigt den

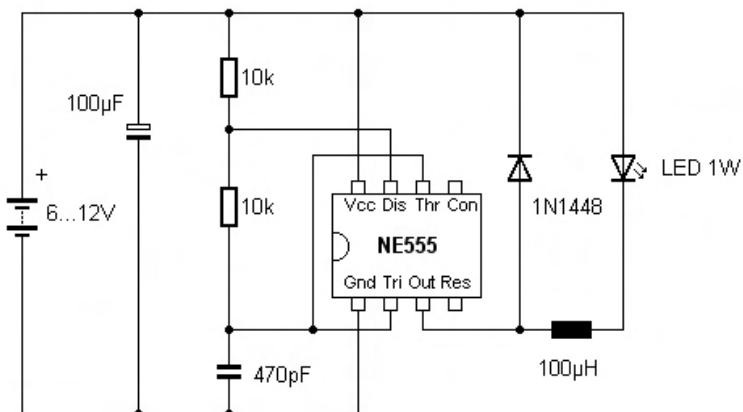


Abb. 8.10 Ein ungeregelter Schaltregler

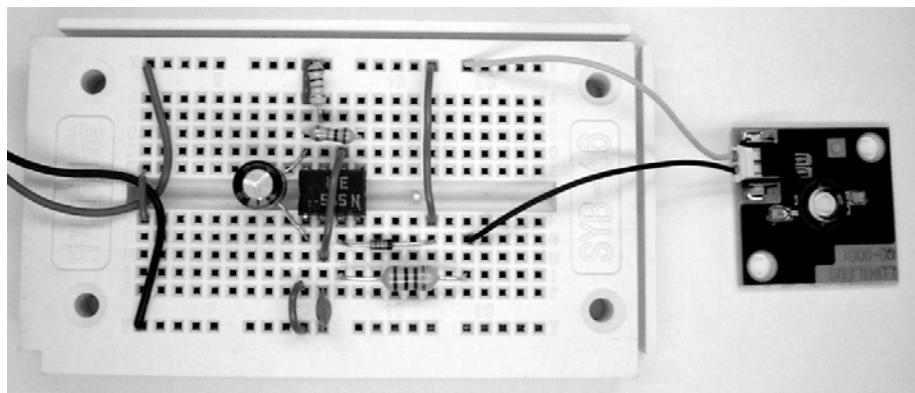


Abb. 8.11 Der NE555-Spannungswandler

Strom durch die Spule und die LED, gemessen über den Spannungsabfall an einem zusätzlichen Widerstand von $2,7\ \Omega$. Im Low-Zustand steigt der Strom nahezu linear an. In dieser Phase speichert die Spule Energie in ihrem Magnetfeld. Gleichzeitig erhöht sich auch die C-E-Spannung des internen Schaltransistors. Nach dem Wechsel fließt weiterhin Strom durch die LED und die Spule. Im High-Zustand nimmt der Strom linear ab. In dieser Phase gibt die Spule die gespeicherte Energie wieder ab. Strom fließt durch die Si-Diode. Die Power-LED erhält einen dreieckförmig modulierten Arbeitsstrom.

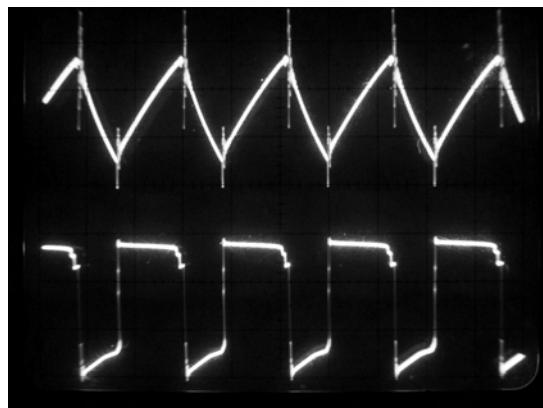


Abb.. 8.12 Strom und Spannung an der Speicherdrossel

Dieser einfache Schaltregler hat noch nicht den besten erreichbaren Wirkungsgrad, weil der NE555 an seiner Leistungsgrenze arbeitet. Die Schalttransistor der Ausgangsstufe muss zwar nur einen mittleren Strom von 100 mA verkraften, wird aber gegen Ende der Ladephase bis zu einem Spitzenstrom von 300 mA belastet. Dabei tritt ein Spannungsabfall bis ca. 3 V auf. Die Diode 1N4148 verursacht ebenfalls Verluste, die man z.B. mit einer Schottkydiode verringern könnte. Und die relativ kleine Spule besitzt einen relativ großen Gleichstromwiderstand von $1,7\ \Omega$ und einen recht kleinen Kern, der zusätzliche Verluste verursacht. Dennoch ist der Wirkungsgrad bereits wesentlich besser als bei einem Linearregler. Einen guten Eindruck liefert die Temperatur der Bauteile. Weder der NE555 noch die anderen Bauteile zeigen eine spürbare Erwärmung. Dagegen wird das Kühlblech der Power-LED sehr warm.

Dieser Step-Down-Wandler ist ungeregelt, d.h., der Ausgangstrom hängt stark von der Eingangsspannung ab. Die Schaltung lässt sich bis herab zu einer Batteriespannung von 4,5 V einsetzen. Der relativ gute Wirkungsgrad der Schaltung bleibt auch bei kleiner Eingangsspannung erhalten. Der Wandler eignet sich daher für Batteriebetrieb mit wechselnder Eingangsspannung und für einfache Anwendungen, in denen die Helligkeit über die Eingangsspannung verändert werden soll, z.B. über ein umschaltbares Steckernetzteil.

8.5 Konstantstrom-Schaltregler mit LM2574

Der integrierte Schaltregler LM2574 von National Semiconductor vereinfacht den Aufbau eines Spannungswandlers, weil dank eines internen 52-kHz-Oszillators nur noch wenige externe Komponenten erforderlich sind. Das IC ist für Lastströme bis 0,5

A ausgelegt. Die maximale Eingangsspannung ist 45 V bzw. 60 V in der HV-Variante. Das IC wird für feste Ausgangsspannungen von 3,3 V, 5 V, 12 V oder 15 V oder für einstellbare Spannungen in der Version LM2574-ADJ geliefert. Abb. 8.13 zeigt das Blockschaltbild und eine typische Anwendung als Spep-Down-Wandler. Der Spannungsteiler R2/R1 fehlt in der ADJ-Version, so dass die Spannung am Pin 1 auf 1,23 V geregelt wird. Ein externer Spannungsteiler legt nun die Ausgangsspannung fest.

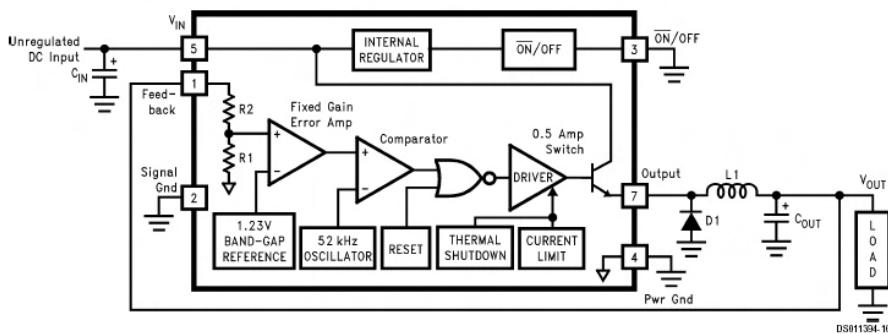


Abb. 8.13 Der Schaltregler LM2574 (National Semiconductor)

Ein Schaltregler für LEDs sollte nicht die Spannung sondern den Strom konstant halten. Der Konstantstromregler nach Abb. 8.14 regelt den Spannungsabfall an einem Shunt auf eine Spannung von 1,23 V. Die LED selbst erhält einen ungeglätteten Strom.

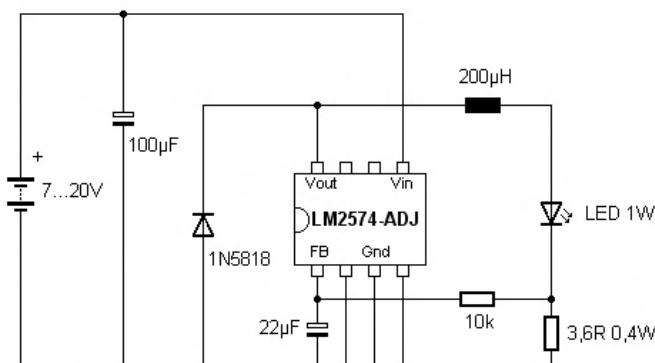


Abb. 8.14 Ein stromgeregelter Schaltregler

Der Probeaufbau des Reglers verwendet zwei Festinduktivitäten mit $100\text{ }\mu\text{H}$ in Reihe. Diese Drosseln zeigen bereits eine spürbare Erwärmung. Ein besserer Wirkungsgrad ist mit speziellen Speicherdrosseln wie in Kap. 8.7 zu erwarten. Die Schottkydiode 1N5818 ist für einen maximalen Strom von 1 A und eine Sperrspannung von 30 V ausgelegt. Sie zeigt im Betrieb kaum eine Erwärmung.

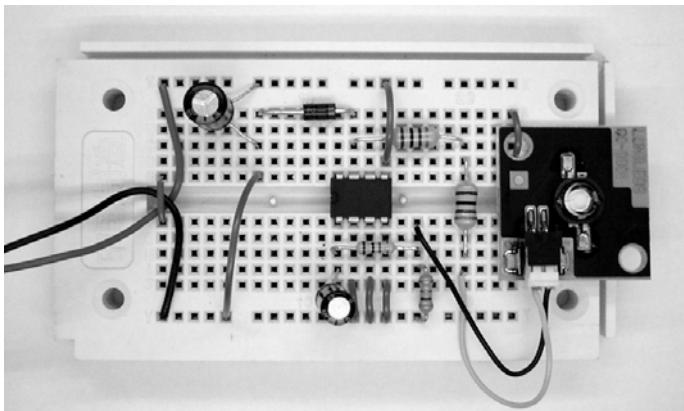


Abb. 8.15 Der Probeaufbau des Schaltreglers

Der Ausgang Pin 8 des Reglers liefert ein sauberes Rechtecksignal (vgl. Abb. 8.16). Man erkennt, dass die Ausgangsstufe den Strom ohne größere Spannungsverluste liefert. Abb. 8.17 zeigt die Spannung am Messwiderstand von $3,6\text{ }\Omega$, die sich dreieckförmig zwischen 0,9 V und 1,8 V bewegt. Der Mittelwert regelt sich auf ca. 1,23 V ein, was einem Strom von ca. 350 mA entspricht.

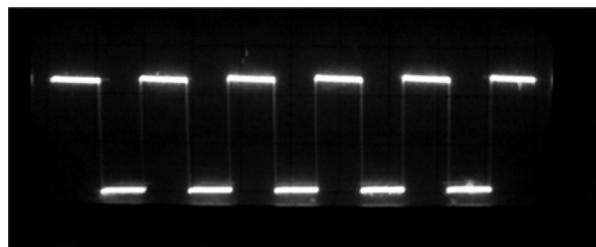


Abb. 8.16 Die Spannung am Pin 8

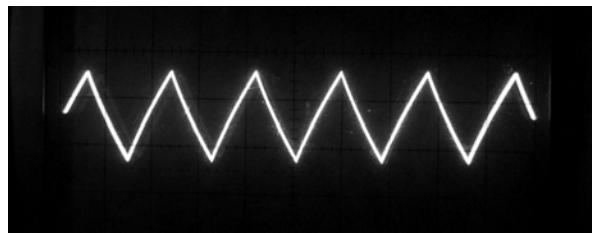


Abb. 8.17 Der LED-Strom

Die korrekte Funktion eines Schaltreglers lässt sich mit einer Messung des Eingangsstroms erkennen. Wenn man die Eingangsspannung erhöht, verringert sich der Eingangsstrom. Gleichzeitig bleibt die LED-Helligkeit konstant, d.h., die Leistungsaufnahme bleibt gleich.

8.6 Dimmer-Schaltregler

Die Schaltung aus dem vorigen Abschnitt lässt sich relativ einfach zu einem Dimmer erweitern. Dazu koppelt man einen einstellbaren Teil der LED-Spannung zurück auf den Feed-Back-Eingang. Wenn das Poti am unteren Anschlag steht, wird der Strom weiterhin nur durch den Strom-Messwiderstand von $3,6\ \Omega$ bestimmt. Am oberen Anschlag wird eine Teilspannung der Summe aus Spannungsabfall am Widerstand und der LED-Spannung für die Regelung zurückgekoppelt. Der LM2574 regelt dann den Strom so weit zurück, dass die Teilspannung 1,23 V beträgt. Im Endeffekt lässt sich die LED-Helligkeit damit zwischen fast Null und maximaler Helligkeit einstellen.

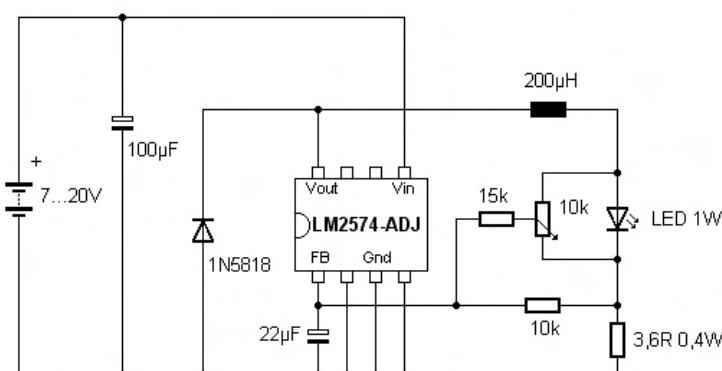


Abb. 8.18 Erweiterung des Konstantstrom-Reglers

Die Stromaufnahme des Reglers richtet sich nach der Eingangsspannung und der Potistellung. Bei einer Eingangsspannung von 12 V kann der aufgenommene Strom im Bereich 30 mA bis 200 mA eingestellt werden. Der Regler eignet sich z.B. für Beleuchtungszwecke im Camping, wo es darauf ankommt, eine lange Batterie-Standzeit zu erreichen.

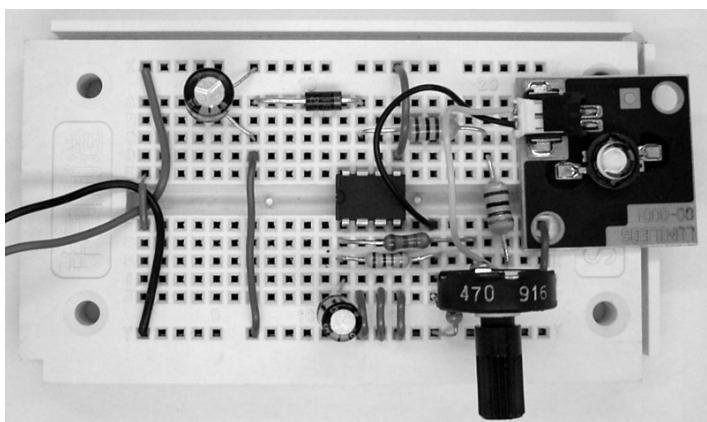


Abb. 8.19 Der Schaltregler mit Dimmer

8.7 3-A-Schaltregler LM2576

Will man mehrere Power-LEDs an einer gemeinsamen Stromversorgung betreiben, können diese entweder in Reihe über einen konstanten Strom oder parallel über eine konstante Spannung gespeist werden. Bei Parallelschaltung sollte jeweils noch ein kleiner Vorwiderstand eingesetzt werden, um den Einfluss von Toleranzen, Leitungs-widerständen und unterschiedlichen Arbeitstemperaturen zu vermindern.

Der Schaltregler LM2576 entspricht weitgehend dem LM2574, ist aber für einen Strom bis 3 A ausgelegt und wird im TO220-Gehäuse mit 5 Anschlüssen (Pentawatt) geliefert. Hier wird der LM2576-ADJ für eine einstellbare Ausgangsspannung verwendet. Mit einem Spannungsteiler $2 \text{ k}\Omega / 1 \text{ k}\Omega$ wird die Ausgangsspannung auf $3 * 1,23 \text{ V} = 3,69 \text{ V}$ geregelt. Bei einer LED-Spannung von 3,42 V und einem Vorwider-satnd von 1Ω stellt sich theoretisch ein LED-Strom von 270 mA ein.

Die Schaltung kann bis zu zehn Power-LEDs versorgen, wobei jede einen Vorwider-stand von 1Ω haben soll. Der größere Ausgangsstrom macht die Verwendung einer geeigneten Speicherdrossel unabdingbar. Fertig gewickelte Speicherdrosseln werden mit definierter Induktivität und für einen maximalen Strom angeboten, bei dem der Kern noch nicht in die magnetische Sättigung geht. Der Probeaufbau nach Abb. 8.21 zeigt die Verwendung einer Ringkerndrossel für einen Spitzstrom bis 5 A.

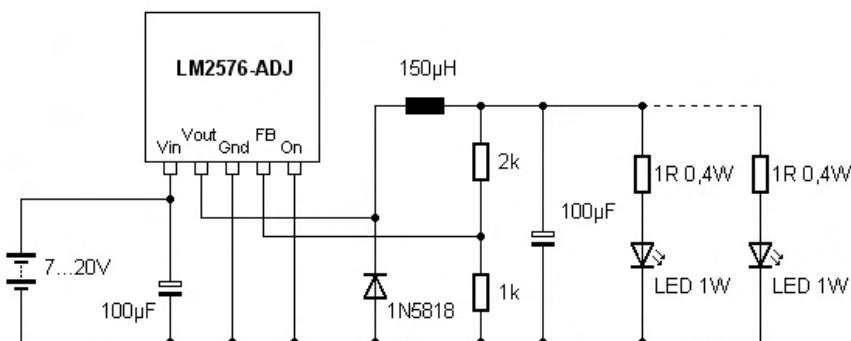


Abb. 8.20 Geregelter Spannungswandler mit dem LM2576

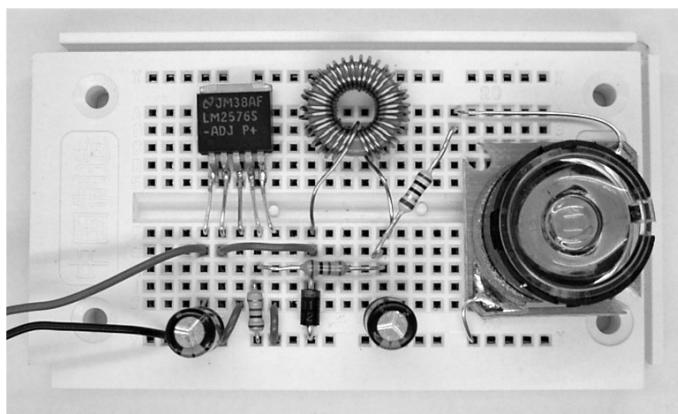


Abb. 8.21 Testaufbau des LED-Schaltreglers

Der tatsächliche LED-Strom lässt sich leicht über den Spannungsabfall am Vorwiderstand messen. Es wurde eine relativ hohe Abhängigkeit von der Arbeitstemperatur festgestellt. Beim Einschalten stellt sich zunächst ein Strom von 220 mA ein. Mit zunehmender Erwärmung des LED-Moduls steigt der Strom deutlich an und erreicht bis zu 300 mA. Die LED-Spannung ändert sich also über den Temperaturbereich um 80 mV. Die höhere Arbeitstemperatur bringt zugleich einen geringeren optischen Wirkungsgrad und eine schnellere Alterung mit sich. Für den Dauereinsatz sollte man daher für eine zusätzliche Kühlfläche sorgen. Für mehr als drei LED-Module sollte überdies der Schaltregler gekühlt werden, und man sollte eine größere Shottkydiode mit einem maximalen Strom von 3 A einsetzen.

Anhang

Bauteile im Lernkaket LEDs:

- 2 rote LEDs
- 2 gelbe LEDs
- 2 grüne LEDs
- 1 superhelle weiße LED
- 2 Widerstände 100 Ω
- 2 Widerstände 220 Ω
- 2 Widerstände 330 Ω
- 2 Widerstände 470 Ω
- 2 Widerstände 1000 Ω
- 1 m Schaltdraht
- 1 Steckplatine mit 270 Kontakten

Bezugsquellen:

Der Bauteilesatz zum Lernpaket LEDs wurde in Zusammenarbeit mit der Firma AK MODUL-BUS Computer GmbH zusammengestellt. Über mögliche Ersatzteilbeschaffung informiert Sie der Online-Shop der Firma unter:

www.ak-modul-bus.de

Weitere Lieferfirmen für LEDs und andere elektronische Bauteile:

www.conrad.de

www.reichelt.de

www.segor.de

www.kessler-elektronik.de

Literatur:

Kainka, Häßler, Straub, Grundwissen Elektronik, Franzis-Verlag 2004

B. Kainka, Lernpaket Elektrotechnik, Franzis-Verlag 2005

B. Kainka, Lernpaket Elektronik, Franzis-Verlag 2005

Schnellstart LEDs

Die Entwicklung superheller organischer Leuchtdioden hat zu einer wahren 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 Erfolgsergebnisse 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]