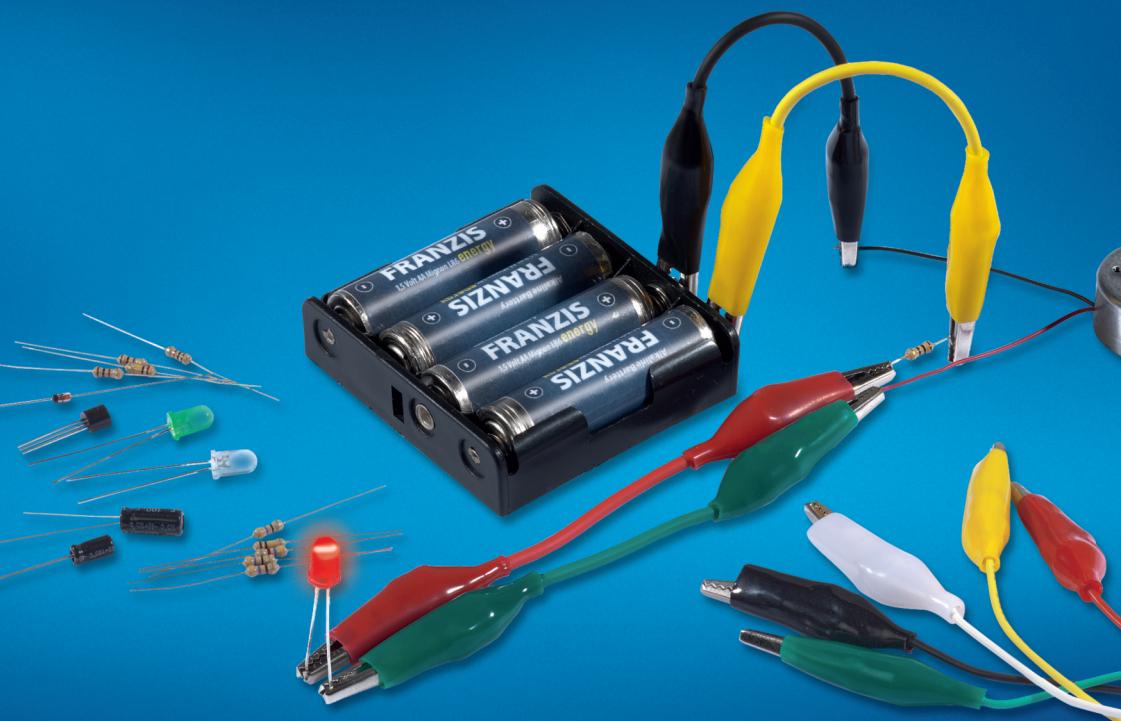


Das Franzis Lernpaket

Einstieg in die Elektronik



FRANZIS

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

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

Liebe Kunden!

Dieses Produkt wurde in Übereinstimmung mit den geltenden europäischen Richtlinien hergestellt und trägt daher das CE-Zeichen. Der bestimmungsgemäße Gebrauch ist in der beiliegenden Anleitung beschrieben.



Bei jeder anderen Nutzung oder Veränderung des Produktes sind allein Sie für die Einhaltung der geltenden Regeln verantwortlich. Bauen Sie die Schaltungen deshalb genau so auf, wie es in der Anleitung beschrieben wird. Das Produkt darf nur zusammen mit dieser Anleitung weitergegeben werden.

Das Symbol der durchkreuzten Mülltonne bedeutet, dass dieses Produkt getrennt vom Hausmüll als Elektroschrott dem Recycling zugeführt werden muss. Wo Sie die nächstgelegene kostenlose Annahmestelle finden, sagt Ihnen Ihre kommunale Verwaltung.



Autor: Burkhard Kainka

© 2020 Franzis Verlag GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, D-85540 Haar b. München

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.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Der elektrische Stromkreis.....	13
2.1	Vorsicht, heiß!	13
2.2	Der Motor im Stromkreis	14
2.3	Strom und Stromrichtung.....	15
2.4	Energie und Leistung.....	17
2.5	Spannung	19
2.6	Widerstände	22
3	Leuchtdioden.....	27
3.1	Eine LED-Lampe	27
3.2	Vorwiderstände.....	28
3.3	Untersuchung der Mindestspannung	31
3.4	Steigerung der Effizienz	32
4	Schalter.....	37
4.1	Erschütterungssensor	37
4.2	AN oder AUS	38
4.3	Umschalter	41
4.4	Die UND-Schaltung	43
4.5	Die ODER-Schaltung.....	44
4.6	Wechselschalter	45
5	Parallel- und Reihenschaltung	49
5.1	Farbspiele	49
5.2	Parallelschaltung von Verbrauchern.....	50
5.3	Reihenschaltung von LEDs	53

5.4	Die Si-Diode.....	55
5.5	Ein Polaritätstester.....	56
6	Elektromagnetismus und Induktion	57
6.1	Dynamo-Taschenlampe.....	57
6.2	Drehrichtungsanzeige	59
6.3	Induktion und EMK.....	59
7	Der Kondensator.....	63
7.1	Blitzlicht	63
7.2	Laden und entladen	64
7.3	Wechsel-Blitzlicht	65
7.4	Dynamo-Blitzlampe.....	66
8	Der Transistor	67
8.1	Berührungssensor.....	67
8.2	Stromverstärkung	69
8.3	Der Inverter	70
8.4	Zeitschalter.....	72
8.5	Motorschalter	73
8.6	Ein Drehsensor.....	74
9	Messgeräte.....	77
9.1	Spannungsmessung	77
9.2	Stromstärkemessung	81
9.3	Widerstandsmessung	82
9.4	Batterietester.....	85
9.5	Dioden- und Transistorprüfer	86
10	Messungen im Stromkreis	89
10.1	Spannung, Stromstärke und Widerstand.....	89
10.2	Reihenschaltung und Spannungsteiler.....	90
10.3	Parallelschaltung von Widerständen	92

10.4	Messfehler.....	94
10.5	Innenwiderstand einer Spannungsquelle	95
10.6	Diodenkennlinien	97
10.7	Messungen an LED-Schaltungen	104
10.8	Messungen an einer Transistor-Schaltstufe.....	106
Anhang		109

1 Einleitung

Dieses Lernpaket wurde zusammengestellt, um Ihnen einen leichten Start in die Elektronik zu ermöglichen. Die wichtigsten Bauteile und die wichtigsten Informationen in kompakter Form ermöglichen einen optimalen Einstieg. Führen Sie einfache Experimente aus, und erlernen Sie dabei die Grundlagen.

Das Lernpaket gliedert sich in zwei große Abschnitte. In Kapitel 2 bis 8 stehen einfache Experimente ohne umfangreiche Berechnungen im Vordergrund. Sie erhalten ein Gefühl für die physikalischen Zusammenhänge und lernen, auch komplexe Schaltungen zu durchschauen. Im zweiten Teil des Lernpakets ab Kapitel 9 werden dann auch Messungen und Berechnungen durchgeführt. Die Versuche stützen sich auf einfache analoge und digitale Messgeräte, die nicht im Materialsatz enthalten sind und zusätzlich angeschafft werden müssen. Sie erhalten eine gründliche Einführung in die Messtechnik und in die Berechnung der wichtigsten Kennwerte in elektrischen Stromkreisen.

Diese Anleitung geht von der Praxis aus und vermeidet unnötig tiefe Ausflüge in die Theorie, damit Sie zügig zu den interessanten Experimenten vorstoßen. Sie werden aber bemerken, dass auch in der praktischen Anwendung immer etwas Theorie nötig ist. Im ersten, rein experimentellen Teil des Lernpakets wird daher immer wieder etwas vorgegriffen, um Entscheidungen für bestimmte Bauteile in knapper Form zu begründen. Messungen und Berechnungen werden erst dann behandelt, wenn auch klar ist, wozu man sie braucht.

Die folgende Übersicht zeigt Ihnen alle vorhandenen Bauteile in ihrem realen Aussehen und als Schaltsymbol, wie es in den Schaltplänen verwendet wird.

Batteriefach

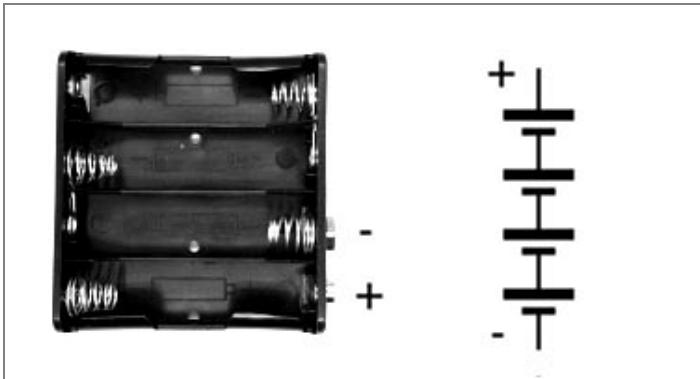


Abb. 1.1: Batteriefach und Schaltsymbol der Batterie

Das Batteriefach für vier Mignonzellen kann direkt mit den Krokodilklemmen angeschlossen werden. Einige Versuche verwenden andere Batterieformen, wie z. B. eine 4,5-V-Flachbatterie oder eine 9-V-Blockbatterie.

Der Motor

Der Gleichstrommotor ist für eine Spannung von ca. 1 V bis 12 V ausgelegt. Er kann in beliebiger Polung mit einer Batterie verbunden und damit in beiden Drehrichtungen betrieben werden.

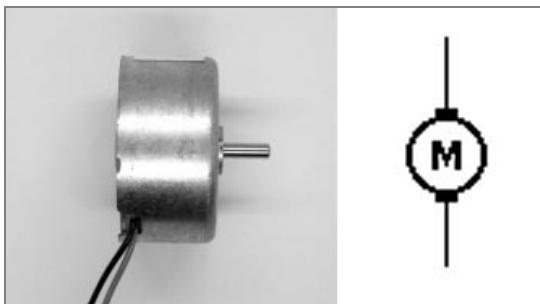


Abb. 1.2: Der Elektromotor

Leuchtdioden

Das Lernpaket enthält eine rote, eine grüne und eine superhelle weiße LED. Bei LEDs muss 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.

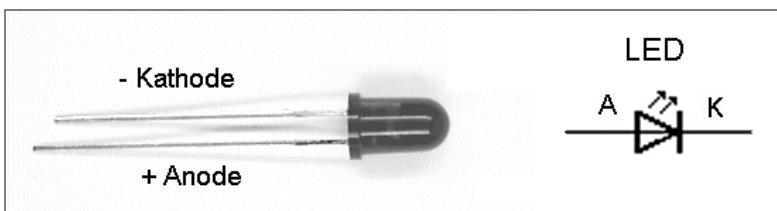
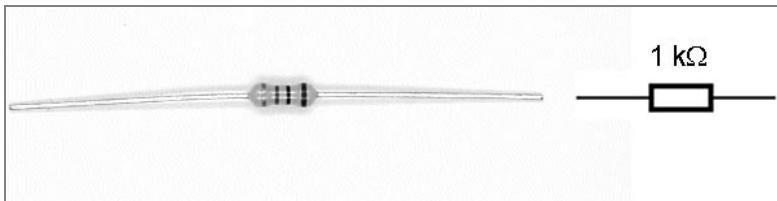


Abb. 1.3: Die Leuchtdiode

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.

**Abb. 1.4:** Ein Widerstand

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 (Ω). Ein vierter Ring gibt die Toleranz an. Ein goldener Ring steht hier für eine maximale Abweichung von 5 %. Im Lernpaket befinden sich jeweils zwei Widerstände der folgenden Werte:

- | | |
|----------------|------------------------|
| 47 Ω | gelb, violett, schwarz |
| 100 Ω | braun, schwarz, braun |
| 470 Ω | gelb, violett, braun |
| 1 k Ω | braun, schwarz, rot |
| 100 k Ω | braun, schwarz, gelb |

Kondensatoren

Ein Kondensator besteht aus zwei Metallflächen und einer Isolierschicht. Legt man eine elektrische Spannung an, bildet sich zwischen den Kondensatorplatten ein elektrisches Kraftfeld, in dem Energie gespeichert ist. Ein Kondensator mit großer Plattenfläche und kleinem Plattenabstand hat eine große Kapazität, speichert also bei einer gegebenen Spannung viel Ladung. Die Kapazität eines Kondensators wird in Farad (F) bzw. in Mikrofarad (μF) gemessen.

Die Kondensatoren im Lernpaket sind Elektrolytkondensatoren (Elkos). Die Isolierung 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 gekenn-

zeichnet und hat einen kürzeren Anschlussdraht. Das Lernpaket enthält einen Elko mit $100 \mu\text{F}$ und einen mit $22 \mu\text{F}$.

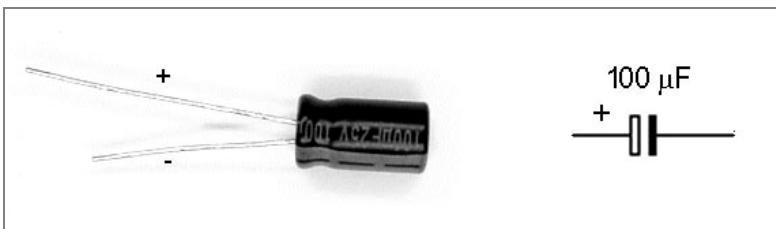


Abb. 1.5: Der Elektrolytkondensator

Transistor

Transistoren sind Bauelemente zur Verstärkung kleiner Ströme. Man unterscheidet NPN- und PNP-Transistoren. Das Lernpaket enthält einen NPN-Transistor vom Typ BC547.

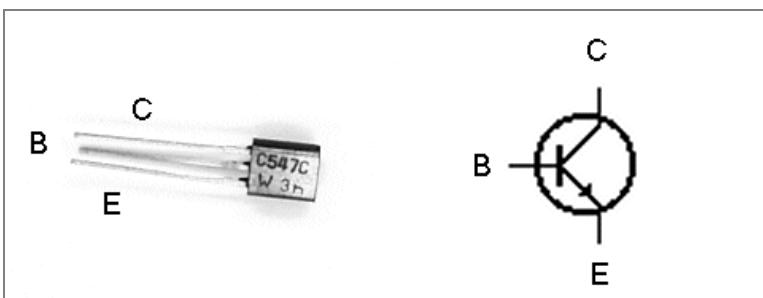


Abb. 1.6: Der Transistor

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

Si-Diode

Eine Diode ist ein elektrisches Ventil und lässt Strom nur in einer Richtung durch. Man unterscheidet Dioden nach ihrem Ausgangsmaterial Germanium (Ge) oder Silizium (Si). Die Diode im Lernpaket ist eine Si-Diode vom Typ 1N4148. Es handelt sich um eine Universaldiode für Ströme bis 100 mA. Beim Einbau muss grundsätzlich die Richtung beachtet werden. Die Kathode ist mit einem schwarzen Ring gekennzeichnet.

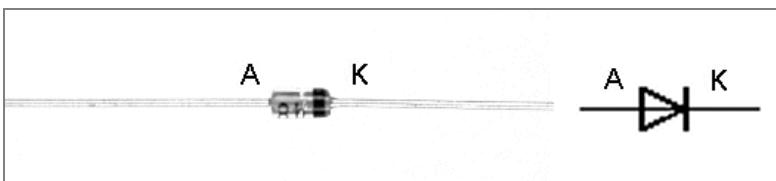


Abb. 1.7: Die Diode 1N4148

2 Der elektrische Stromkreis

Der erfolgreiche Einstieg in die Elektrotechnik erfordert klare Vorstellungen von den Vorgängen im elektrischen Stromkreis. Ladung, Strom, Spannung, Leistung, Energie und Widerstand die Grundbegriffe, die man nicht nur theoretisch beherrschen sollte, sondern die man in realen Schaltungen anwenden können sollte. Hier werden einfache Versuche zum Stromkreis vorgestellt, die diese Grundlagen anschaulich vermitteln sollen.

2.1 Vorsicht, heiß!

Legen Sie vier frische Mignonzellen in das Batteriefach. Halten Sie den Widerstand mit den Farbringern braun, schwarz, braun (100 Ohm) direkt an die Anschlüsse. Der Widerstand wird warm, nach einiger Zeit sogar heiß. So haben Sie mit wenigen Handgriffen eine kleine elektrische Heizung gebaut. Was hier passiert, soll in den folgenden Abschnitten genauer untersucht werden.



Abb. 2.1: Die elektrische Heizung

2.2 Der Motor im Stromkreis

Grundlage der Elektrotechnik ist der elektrische Stromkreis. Auch komplexe Schaltungen beruhen auf einfachen Stromkreisen. Führen Sie zuerst einige Versuche durch. Dabei wird grundsätzlich eine elektrische Energiequelle und ein Verbraucher benötigt.

Verbinden Sie das Batteriefach über zwei Leitungen mit dem Motor, wie es das Foto auf der nächsten Seite zeigt. Die Leitungen wurden mit Absicht in einem Kreis ausgelegt, um den Stromkreis anzudeuten. Die Kabel wurden übrigens speziell für die Fotos im Handbuch gekürzt. Die Krokodilkabel in Ihrem Experimentiersatz sind länger.

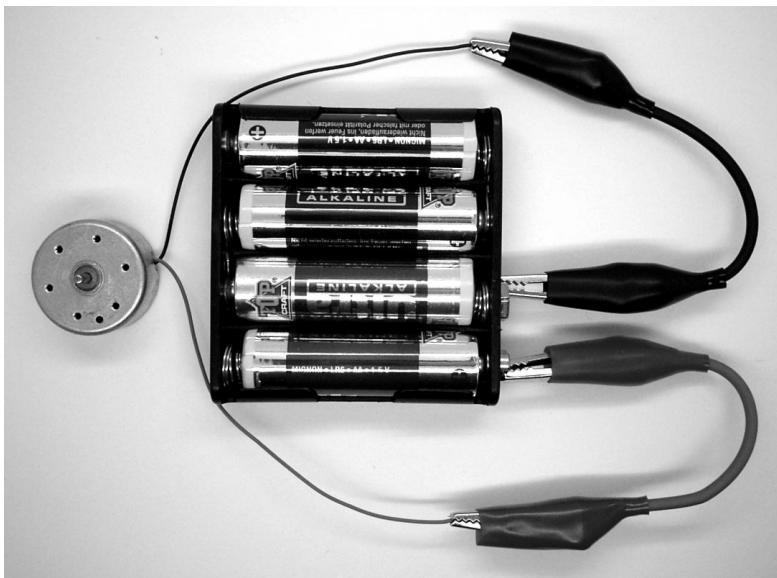


Abb. 2.2: Ein Stromkreis mit Batterie und Motor

2.3 Strom und Stromrichtung

Der Aufbau soll nun in einem Schaltbild betrachtet werden. Abb. 2.3 zeigt die Batterie mit vier Zellen, den Motor und die beiden Verbindungsleitungen. Die Schaltung stellt einen geschlossenen Stromkreis dar. Sobald Sie eine der Krokodilklemmen lösen, unterbrechen Sie den Kreis und schalten damit den Strom ab.

Achtung! Vermeiden Sie unbedingt eine direkte Verbindung der Batteriepole ohne einen Verbraucher. Ein solcher Kurzschluss wäre zwar auch ein Stromkreis, es würde aber zu viel Strom fließen und eventuell die Kabel, zumindest aber die Batterie beschädigen.

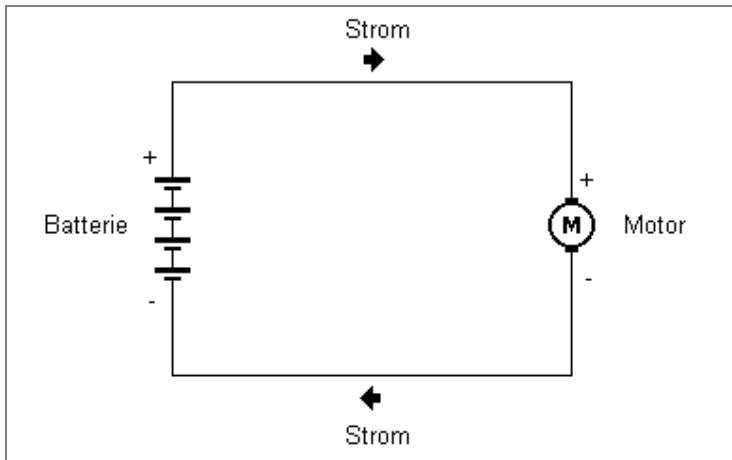


Abb. 2.3: Der einfache Stromkreis

Die Pfeile im Schaltbild zeigen die Richtung des fließenden Stroms. Strom fließt immer vom Pluspol der Batterie durch den Verbraucher zurück zum Minuspol der Batterie. Strom ist die Bewegung elektrischer Ladung, die ohnehin immer in jedem Material enthalten ist. Tatsächlich wird die bewegte elektrische Ladung von negativ geladenen Teilchen getragen, den Elektronen, die sich genau in Gegenrichtung zum elektrischen Strom bewegen. Die Stromrichtung ist letztlich historisch durch eine willkürliche Definition festgelegt worden. Danach tragen die Protonen im Inneren der Atomkerne eine positive Ladung, die kleineren Elektronen dagegen eine negative.

Der elektrische Strom wird in Ampere (A) gemessen, die elektrische Ladung in Coulomb (C). Wenn eine Ladung von 1 C sich in einer Sekunde durch den Draht bewegt, beträgt die Stromstärke 1 A. Die Stromstärke kann mit einem Messgerät gemessen werden, was weiter unten genauer erläutert wird. Aus der Stromstärke und einer gemessenen Zeit kann auch die insgesamt bewegte elektrische Ladung berechnet werden. Vorerst sollen aber nur Versuche ohne Messungen vorgestellt werden. Sie erhalten bereits viele Hinweise, wann mehr oder weniger Strom fließt, brauchen sich jedoch noch nicht mit genauen Messwerten auseinanderzusetzen.

Vertauschen Sie nun die Anschlüsse an der Batterie oder am Motor. Sie werden feststellen, dass sich die Drehrichtung des Motors ändert. Es handelt sich weiterhin um einen einfachen (unverzweigten) Stromkreis, auch wenn die Schaltung nun etwas anders aussieht.

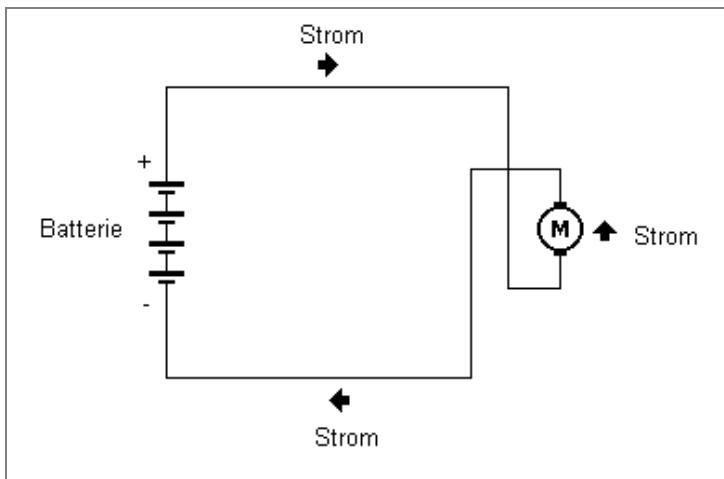


Abb. 2.4: Umkehrung der Drehrichtung

2.4 Energie und Leistung

Nun könnte jemand vermuten, ein geschlossener Kreislauf bedeutet, dass die Batterie eigentlich niemals »leer« werden kann. Richtig ist, dass die elektrische Ladung erhalten bleibt und sich niemals »verbraucht«. Allerdings erfordert es Energie, die Ladung zu bewegen. Man kann sich die Batterie wie eine Pumpe für die elektrische Ladung vorstellen.

Im geschlossenen Stromkreis gibt es einen Energiefluss von der Batterie zum Motor. Elektrische Energie wird von der Batterie abgegeben und im Motor in Bewegungsenergie, Wärme und Schallenergie umgesetzt. Irgendwann ist die Energie der Batterie verbraucht, dann ist zwar die elektrische Ladung in den Drähten noch vorhanden, aber es fehlt die Energie, sie zu bewegen, d. h., es fließt kein Strom mehr.

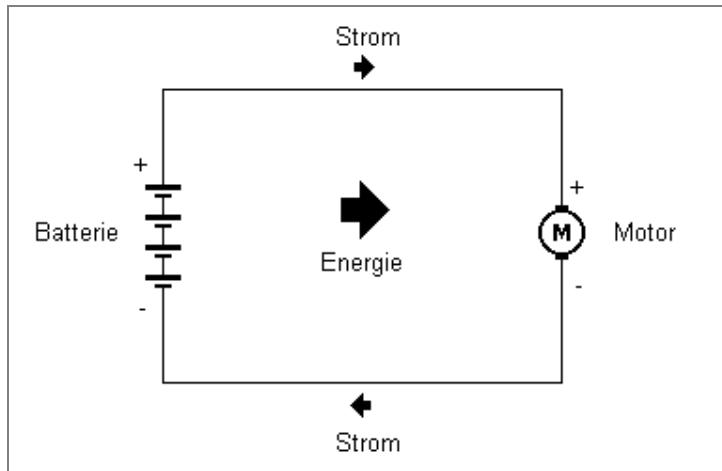


Abb. 2.5: Energiefluss von der Batterie zum Verbraucher

Bremsen Sie einmal die Motorachse mit Ihren Fingern ab. Sie spüren dabei die Kraft des Motors. Der Motor verrichtet mehr mechanische Arbeit. Gleichzeitig fließt nun mehr Strom durch den Motor, und es wird mehr Energie verbraucht, die Batterie wird also weniger lange durchhalten.

Arbeit und Energie werden in Joule (J) gemessen, und zwar ganz unabhängig davon, ob es sich um elektrische, mechanische oder eine andere Form von Energie handelt. Allgemein gilt der Energieerhaltungssatz. Dieses physikalische Gesetz besagt, dass Energie weder verschwinden noch aus dem Nichts auftauchen kann. Wenn also der Motor eine Energie von einem Joule verbraucht hat, muss ein Joule von der Batterie geliefert worden sein. Dabei kann man hier davon ausgehen, dass Energieverluste in den Zuleitungskabeln vernachlässigt werden können. Die elektrische Leistung wird übrigens in Watt (W) gemessen. Eine Leistung von 1 W bedeutet, dass in jeder Sekunde eine Arbeit von 1 J verrichtet wird, oder um es anders zu sagen, dass in jeder Sekunde die Energie 1 J verbraucht wird. Der Motor hat bei mittlerer Belastung eine Leistung von etwa 1 W, im Leerlauf jedoch nur etwa 0,1 W. Weiter unten wird gezeigt, wie man Arbeit, Energie und Leistung genau bestimmen kann.

2.5 Spannung

Wenn Sie eine passende Batterie für ein bestimmtes Gerät besorgen, müssen Sie immer die elektrische Spannung beachten. Eine einzelne Zink-Kohle-Zelle (Trockenzelle) oder eine Alkalizelle hat eine Spannung von 1,5 Volt. Vier Zellen zusammen in einer Reihe haben 6 Volt (6 V). Das gilt allerdings nur bei frischen Batterien und geringer Belastung. Die tatsächliche Spannung kann geringer sein. Der verwendete Motor kann in einem Bereich zwischen 1 V und 12 V eingesetzt werden.

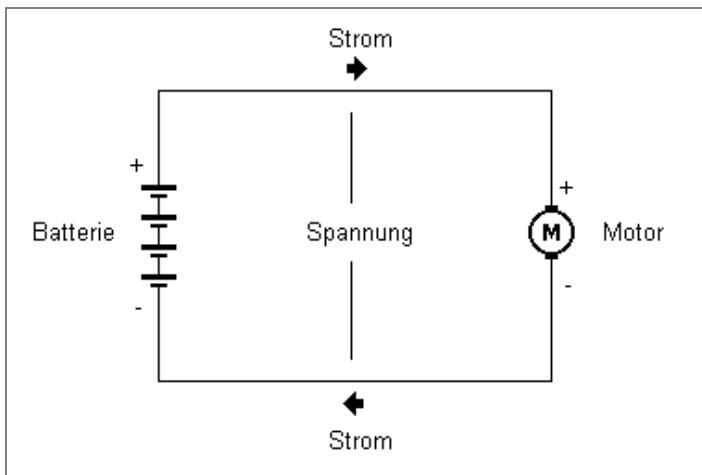


Abb. 2.6: Die elektrische Spannung im Stromkreis

Die elektrische Spannung besteht immer zwischen den beiden Polen der Batterie. Die Batterie hat ihre Spannung unabhängig davon, ob gerade Strom fließt. Die Spannung ist aber umgekehrt eine notwendige Voraussetzung dafür, dass Strom fließen kann, wenn der Stromkreis geschlossen wird. Je größer die Spannung, desto mehr Strom wird durch den Verbraucher fließen, und desto mehr Energie wird in einer bestimmten Zeit umgesetzt. Die tatsächliche Spannung kann mit einem Messgerät ermittelt werden. Einen groben Eindruck vermittelt aber auch schon der laufende Motor. Wenn die Batterie nur noch eine geringe Spannung hat, ist die Drehzahl geringer.

Verwenden Sie den Motor als einfachen Batterietester. Setzen Sie einen zu untersuchenden Batteriesatz in das Batteriefach und schließen Sie den Motor an. Die Leerlaufdrehzahl vermittelt einen ersten Eindruck vom Zustand der Batterien. Wenn Sie die Achse mit dem Finger abbremsen, erhalten Sie überdies einen Eindruck vom Zustand der Batterie unter Last. Es fließt dann ein größerer Strom, die Batterie muss also mehr Arbeit verrichten. Bei schon weitgehend erschöpften Batterien bricht die Spannung unter der höheren Belastung ein, so dass sich der Motor leichter abbremsen lässt.

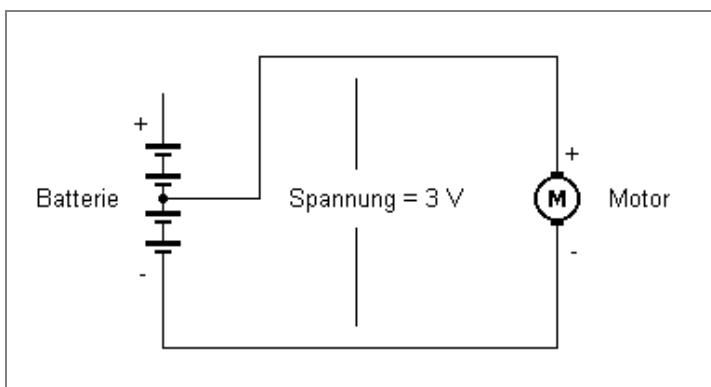


Abb. 2.7: Abgriff einer Teilspannung

Betreiben Sie den Motor auch einmal mit der halben Spannung. Da vier Zellen in Reihe geschaltet sind, können Sie mit den Krokodilklemmen auch einen Teil der Spannung abgreifen. Sie werden feststellen, dass die Leerlaufdrehzahl des Motors entsprechend der kleineren Anschlussspannung geringer wird.

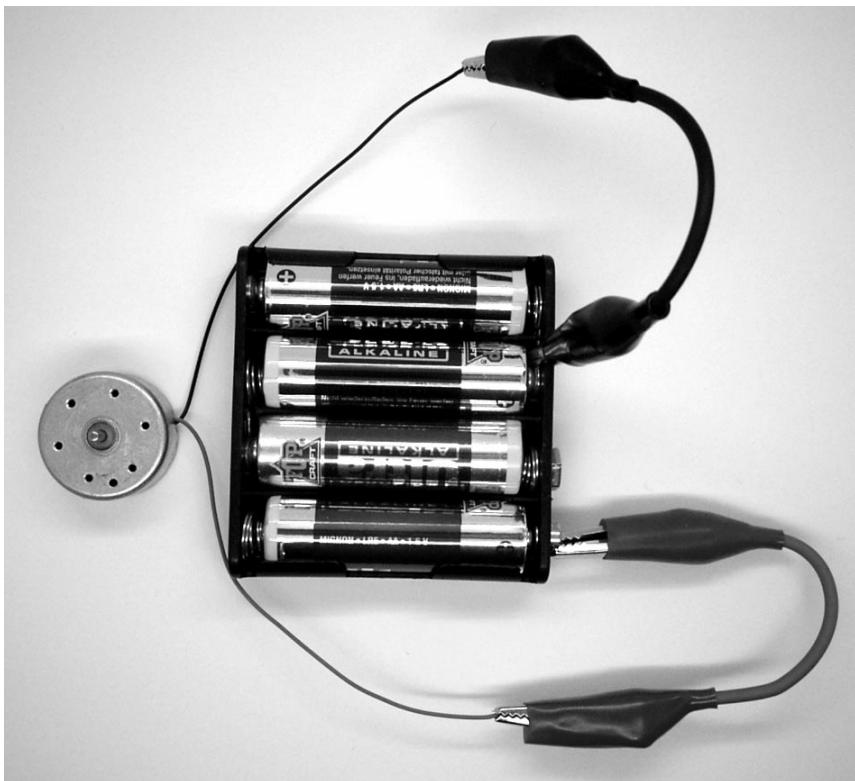


Abb. 2.8: Abgriff der Batteriespannung bei 3 V

Testen Sie alle erreichbaren Spannungen 1,5 V, 3 V, 4,5 V und 6 V. Stellen Sie fest, ob 1,5 V schon als Anlaufspannung für den Motor reichen. Bei einer zu kleinen Spannung läuft der Motor nicht mehr zuverlässig an, sondern er muss angestoßen werden.



Abb. 2.9: Alle Abgriffe des Batteriefachs

2.6 Widerstände

Die Versuche mit dem Gleichstrommotor haben bereits das Prinzip des Stromkreises und der Umwandlung elektrischer Energie in andere Energieformen gezeigt. Ein kleiner Elektromotor hat einen Wirkungsgrad unter 50 %, d. h. weniger als die Hälfte der elektrischen Energie wird in mechanische Arbeit umgesetzt. Der größere Teil wird in Wärme verwandelt. Wegen der Größe des Motors ist allerdings kaum eine Erwärmung spürbar.

Anders sind die Verhältnisse bei einem Widerstand als Verbraucher. Hier wird 100 % der zugeführten Energie in Wärme umgewandelt. Weil der Widerstand klein ist und nur eine geringe thermische Trägheit hat, kann man eine deutliche Erwärmung feststellen.

Das Wort Widerstand hat zwei Bedeutungen. Einmal meint es ein Bauteil und einmal eine Eigenschaft von Bauteilen. Jedes elektrische Gerät und auch jeder Draht besitzt elektrischen Widerstand. Je größer der Widerstand, desto geringer ist der Strom. Widerstand ist also die Eigenschaft, den Stromfluss zu behindern. Die Einheit für den Widerstand ist Ohm (Ω). Durch einen Widerstand von 1Ω fließt an einer Spannung von 1 V ein Strom von 1 A .



Abb. 2.10: Ein Widerstand im Stromkreis

Schließen Sie den $100\text{-}\Omega$ -Widerstand mit den Farbringern braun, schwarz, braun an die 6-V -Batterie an. Nach etwa 10 Sekunden können Sie eine deutliche Erwärmung fühlen.

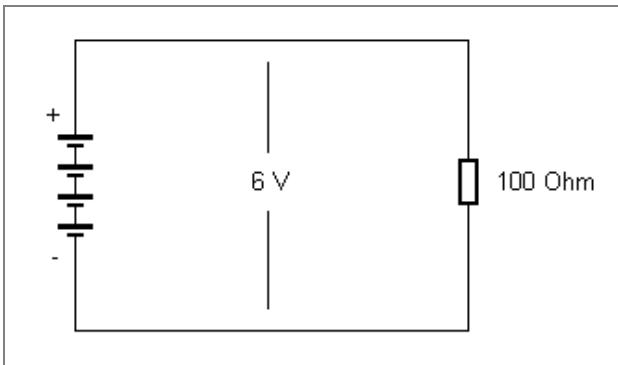


Abb. 2.11: Ein Widerstand als elektrischer Verbraucher

Genaue Berechnungen der Stromstärke mit Widerständen finden Sie weiter unten in Kap. 10. Damit Sie aber einen Eindruck von der in diesem Versuch umgesetzten Energie gewinnen, soll hier etwas vorgegriffen werden. Durch einen Widerstand von 100 Ohm (100Ω) fließt an einer Spannung von 6 V ein Strom von $0,06 \text{ A} = 60 \text{ mA}$. Dabei wird eine Leistung von $0,36 \text{ W}$ in Wärme umgewandelt, in jeder Sekunde entsteht also eine Wärmemenge von $0,36 \text{ J}$. Für einen Widerstand dieser Größe wird übrigens eine maximale Leistung von $0,25 \text{ W}$ angegeben. Der Widerstand ist also bereits etwas überlastet, was aber bei einer Versuchsdauer von z. B. einer Minute nicht schadet. Nur wenn lange eine wesentlich zu große Leistung umgesetzt wird, führt die starke Erwärmung zu einer Beschädigung bis hin zum Verschmoren oder Durchbrennen.

Testen Sie auch andere Widerstände an einer Spannung von 6 V. Je größer der Widerstand, desto geringer die Stromstärke. Ein Widerstand mit 470Ω ist rund fünf mal größer als der $100\text{-}\Omega$ -Widerstand. Damit ist der Strom bei gleicher Spannung fünf mal kleiner, und es wird auch nur ein Fünftel der Leistung in Wärme umgesetzt. Testen Sie, ob trotzdem noch eine Erwärmung eindeutig fühlbar ist. Vorsicht ist bei 47Ω geboten. Die elektrische Leistung liegt bei fast $0,8 \text{ W}$, wenn Sie eine Spannung von 6 V verwenden. Bei rund dreifacher Überlastung des Widerstands kann man sich bereits ernsthaft die Finger verbrennen! Schließen Sie den Stromkreis deshalb nur für kurze Zeit.

Im Prinzip haben Sie mit den realen Experimenten bereits eine kleine elektrische Heizung gebaut. Interessant wäre die Frage, ob dafür eine

ernsthafte Anwendung existiert. Sie könnten z. B. daran denken, einen elektrischen Handwärmer mit Batteriebetrieb zu bauen, der an kalten Wintertagen in der Manteltasche eingeschaltet werden kann. Die entscheidende Frage ist dabei, wie lange die Batterien halten werden. Alkali-batterien und auch manche Mignonakkus haben eine Kapazität von 2000 mAh. Geht man von einer mittleren Spannung von 1,2 V aus, könnte eine Stunde lang ein Strom von 2000 mA fließen und damit eine elektrische Leistung von 2,4 W entnommen werden. Die verfügbare Energie erscheint damit zu gering für eine ernsthafte Anwendung als Wärmequelle. Sie erhalten nur wenig Wärme für viel Geld.

Das Ziel muss eher sein, Batterien nur in solchen Anwendungen einzusetzen, wo möglichst wenig Wärme entsteht. Unter diesem Gesichtspunkt ist z. B. ein Glühlämpchen weniger ideal, denn mehr als 80 % der elektrischen Energie werden in Wärme umgewandelt, was auch deutlich zu spüren ist. Leuchtdioden dagegen haben teilweise einen sehr guten Wirkungsgrad und verursachen nur geringe Wärmeverluste.

3 Leuchtdioden

LEDs sind ein sehr aktuelles Arbeitsfeld der Elektrotechnik und Elektronik. Der Anwender benötigt einige Grundlagen, um LED-Schaltungen richtig zu dimensionieren. Die folgenden praktischen Versuche weisen den Weg.

3.1 Eine LED-Lampe

LEDs ersetzen zunehmend herkömmliche Glühlampen. Moderne weiße LEDs bieten strahlend weißes Licht und lange Batterielebensdauer. Bauen Sie selbst eine solche Lampe. Wichtig ist der Widerstand mit 100 Ohm (braun, schwarz, braun), der die LED vor einer Überlastung schützt. Beim Aufbau muss die Polung der Batterie und der LED beachtet werden. Die Kathode (K) liegt am kürzeren Anschlussdraht. Falls die LED nicht leuchtet, wurden wahrscheinlich die Anschlüsse vertauscht.

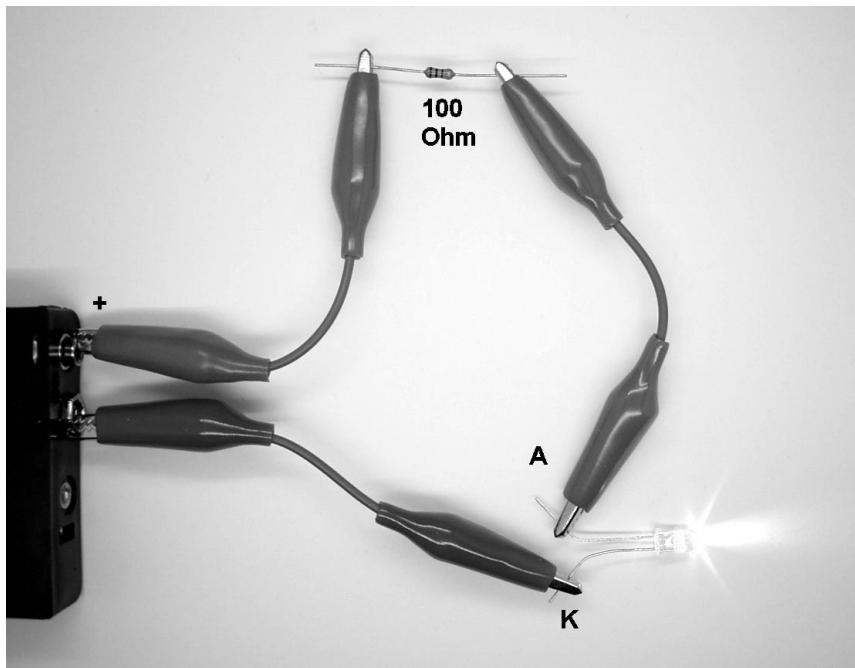


Abb. 3.1: Anschluss einer weißen LED

3.2 Vorwiderstände

In Ihrem Lernpaket sind drei Leuchtdioden (LED, Light Emitting Diode) mit unterschiedlichen Farben enthalten. Eine LED hat eine ähnliche Funktion wie eine Glühlampe, darf aber niemals einfach direkt an die Batterie angeschlossen werden. Achtung, Sie müssen immer einen Vorwiderstand verwenden! Andernfalls kann zu viel Strom fließen und die LED in kürzester Zeit zerstören. Die entscheidende Kenngröße einer LED ist nicht so sehr die Anschlussspannung, sondern der erlaubte Strom. Ein Widerstand sorgt dafür, dass der Strom nicht zu groß wird.

Für die Funktion der LED ist auch die richtige Polung wichtig. Der Minuspol (die Kathode) ist der kurze Anschluss der LED. Bauen Sie

einen Stromkreis mit Batterie, Vorwiderstand und roter LED auf. Verwenden Sie keinen kleineren Widerstand als $470\ \Omega$ (gelb, violett, braun).

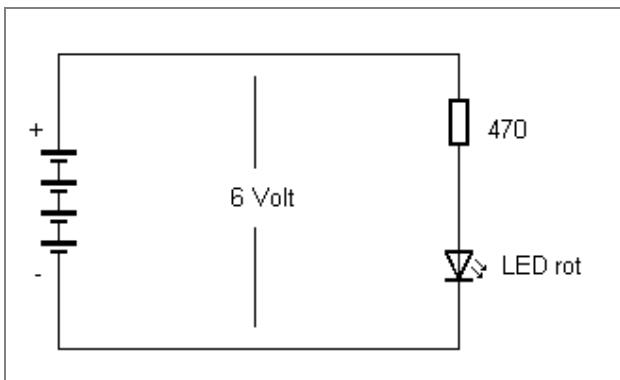


Abb. 3.2: Die LED mit Vorwiderstand

In dieser Schaltung fließt noch nicht der maximal erlaubte Strom durch die LED. Tatsächlich ist der Strom kleiner als 10 mA, während bis zu 20 mA üblich sind. Weiter unten wird noch genauer untersucht, wie man die größte Helligkeit erreichen kann. Für einfache Experimente ist es aber oft vorteilhaft, nicht den maximalen Strom zu verwenden, sondern mit weniger Strom zu arbeiten. Insbesondere halten die Batterien länger.

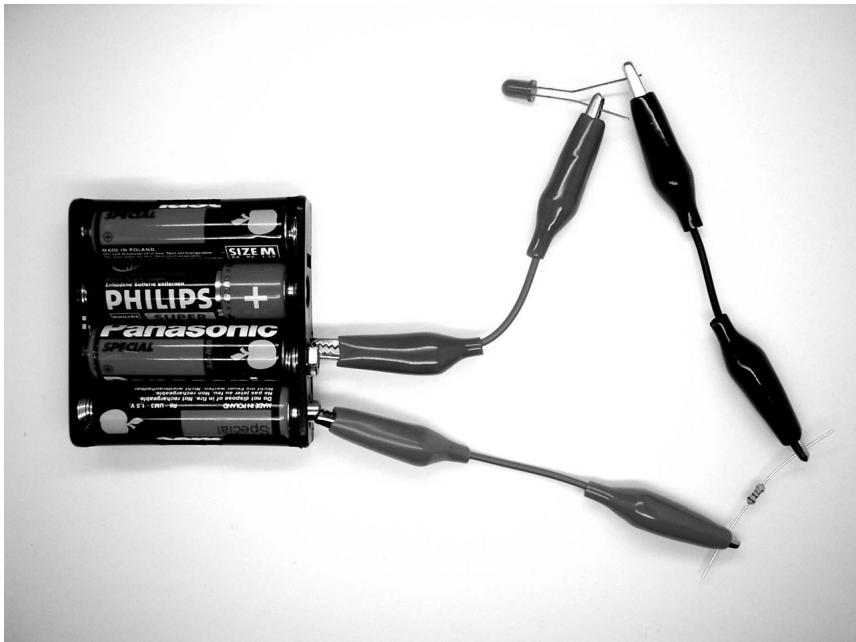


Abb. 3.4: Stromkreis mit roter LED

Testen Sie nun in der gleichen Schaltung die grüne und die weiße LED. Untersuchen Sie auch einmal, wie sich die LED verhält, wenn man sie verkehrt herum einsetzt oder wenn man die Batterie umpolt. Die LED bleibt dann aus. Es fließt kein Strom, und die LED nimmt keinen Schaden, jedenfalls solange die Spannung nicht größer als 6 V ist. Bei größeren Batteriespannungen ist Vorsicht geboten.

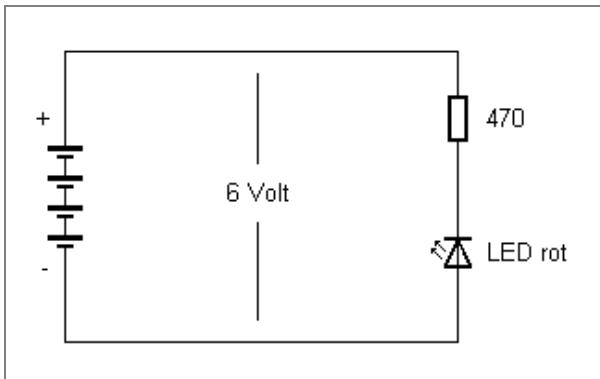


Abb. 3.5: Eine LED in Sperrrichtung

Die Leuchtdiode ist wie andere Dioden ein elektrisches Ventil, das elektrischen Strom nur in einer Richtung passieren lässt. In Sperrrichtung fließt auch bei der vollen Spannung von 6 V kein Strom. In Durchlassrichtung dagegen wird der erlaubte Strom von 20 mA schon bei sehr viel kleineren Spannungen erreicht.

3.3 Untersuchung der Mindestspannung

Jede Diode benötigt eine gewisse Spannung in Durchlassrichtung, bevor ein merklicher Strom fließt. Oberhalb dieser Schwelle steigt der Strom steil an.

Die Durchlassspannung einer LED hängt stark von der Farbe und vom Typ ab. Unterhalb einer bestimmten Schwelle fließt noch kein merklicher Strom. Man braucht also eine Mindestspannung, damit die LED überhaupt leuchtet. Darüber führt eine geringe Spannungserhöhung zu einem steilen Stromanstieg. Die Schwellspannung soll nun grob untersucht werden. Verwenden Sie dazu unterschiedliche Abgriffe und testen Sie die Schaltung mit verschiedenen LEDs bei Spannungen von 1,5 V, 3 V, 4,5 V und 6 V.

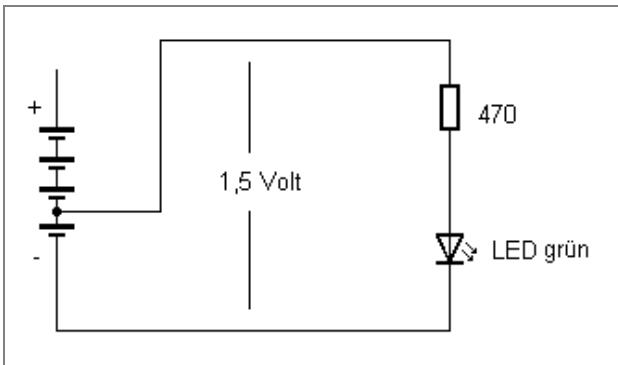


Abb. 3.6: Test einer grünen LED bei 1,5 V

Bei noch frischen Batterien werden Sie folgende Ergebnisse finden: Die rote LED beginnt bereits bei einer Spannung von 1,5 schwach zu leuchten. Eventuell müssen Sie den Raum abdunkeln, um etwas zu erkennen. Mit 3 V leuchtet die LED schon sehr hell. Dagegen bewirken weitere Erhöhungen auf 4,5 V und 6 V nur noch wenig.

Die grüne LED braucht etwas mehr Spannung und ist bei 1,5 V noch ganz aus. Bei 3 V leuchtet sie jedoch recht hell, so dass auch eine Spannungsänderung auf 4,5 V und 6 V keinen allzu großen Unterschied mehr macht. Daraus kann man schließen, dass die Schwelle nicht allzu weit über 1,5 V liegt. Tatsächlich setzt ein merklicher Strom bei etwa 1,7 V ein, wie weiter unten noch genauer gezeigt wird.

Die weiße LED leuchtet bei 3 V gerade sehr schwach, die Schwelle liegt also etwa hier. Beim Übergang auf 4,5 V ist der Helligkeitsunterschied groß, die Steigerung auf 6 V bringt dagegen keinen großen Unterschied mehr.

3.4 Steigerung der Effizienz

Die bisherigen Versuche zeigen, dass eine genaue Planung einer LED-Schaltung nur mit exakten Daten möglich ist. Eine wichtige Frage ist z. B. die nach dem optimalen Vorwiderstand. Auch hier soll wieder mit einigen Ergebnissen vorgegriffen werden. Für die weiße LED kann man mit einer Schwellenspannung von 3 V und einer Arbeitsspannung von

ca. 3,6 V bei dem erlaubten Arbeitsstrom von 25 mA rechnen. Am Vorwiderstand muss daher eine Spannung von $6 \text{ V} - 3,6 \text{ V} = 2,4 \text{ V}$ abfallen. Mit einem Widerstand von 100Ω ergibt sich ein Strom von 24 mA, was als guter Kompromiss angesehen werden kann (vgl. Kap. 3.1).

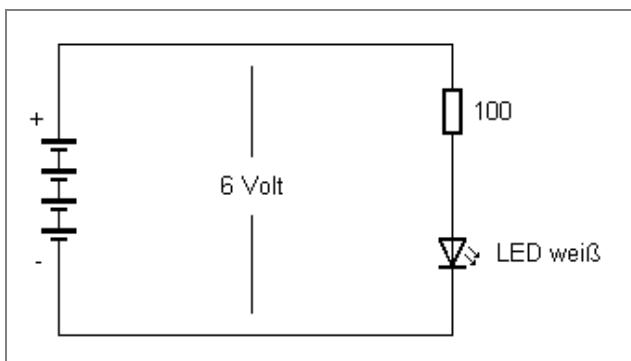


Abb. 3.7: Eine weiße LED-Lampe mit großer Helligkeit

Die Schaltung nach Abb. 3.7 ist für eine Batteriespannung von 6 V optimal. Allerdings wird ein relativ großer Anteil der Gesamtenergie im Vorwiderstand in nutzlose Wärme umgewandelt. Man kann den Gesamtwirkungsgrad verbessern, indem man die Batteriespannung nicht zu weit oberhalb der LED-Durchlassspannung wählt. Abb. 3.8 zeigt eine mögliche Dimensionierung mit drei Batteriezellen. Am Vorwiderstand liegt nun eine Spannung von $4,5 \text{ V} - 3,6 \text{ V} = 0,9 \text{ V}$. Der Widerstand von 47Ω stellt einen Strom von ca. 19 mA ein. Diese Berechnungen werden weiter unten noch genauer erläutert. Die Versuche zeigen aber schon die Tendenz: Eine geringere Batteriespannung erfordert einen kleineren Vorwiderstand.

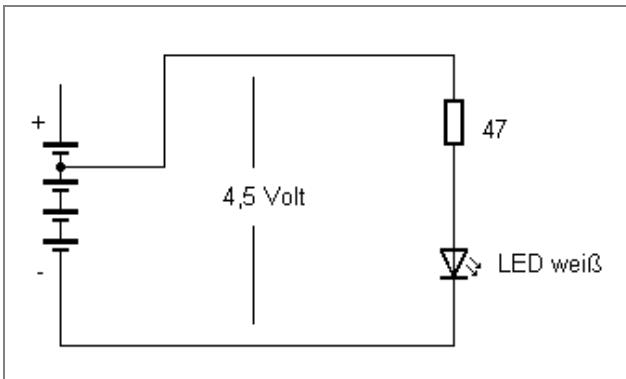


Abb. 3.8: LED-Lampe mit drei Zellen

Mit dieser Dimensionierung hat man auch die Möglichkeit eine 4,5-V-Flachbatterie für die LED-Taschenlampe zu verwenden. Der relativ geringe Strom und die große Batterie führen zu einer Betriebsdauer von mehreren hundert Stunden. Gegenüber einer Glühlampe ergibt sich noch ein weiterer Vorteil: Bei der Entladung sinkt die Batteriespannung und damit auch der LED-Strom kontinuierlich ab. Dabei ändert sich zwar die Helligkeit, nicht aber die Farbtemperatur der LED. Auch bei einer Helligkeit von 10 % vom Anfangswert ist die Lampe noch einsetzbar. Die LED ist also noch bei stark entladener Batterie zu verwenden, während eine Glühlampe bei entladener Batterie relativ plötzlich ganz ausfällt. Mit einer LED ist die Batterie besser auszunutzen, was insgesamt zu einer Betriebsdauer bis zu 1000 Stunden führen kann.



Abb. 3.9: LED-Lampe mit Flachbatterie

Statt Batterien könnte man auch NiCd-Akkus einsetzen. Die Zellenspannung liegt bei etwa 1,2 V. Mit nur drei Zellen kommt man zu nahe an die LED-Durchlassspannung. Man sollte daher 4 Zellen mit zusammen 4,8 V verwenden. Bei der Dimensionierung des Vorwiderstands muss beachtet werden, dass die Zellenspannung kurz nach dem Laden bei ca. 1,4 bis 1,5 V liegen kann. Insgesamt können bis zu 6 V anliegen. Der Vorwiderstand sollte daher mit 100Ω gewählt werden.

4 Schalter

Es gibt viele unterschiedliche Schalter-Bauformen, vom Tastschalter bis zum Kippschalter, vom Schließkontakt bis zum Umschalter und vom einpoligen bis zum mehrpoligen Schalter. In einfachen Experimenten können Sie jede Bauform durch die im Lernpaket vorhandenen Experimentierkabel ersetzen. Anders als bei Schaltern mit geschlossenen Bauformen sehen Sie anschaulich, welche Kontakte geschlossen oder offen sind.

4.1 Erschütterungssensor

Setzen Sie drei Batterien in das Batteriefach ein: Legen Sie an Stelle der vierten Batterie einen Widerstand mit 470 Ohm (gelb, violett, braun) ein. Stecken Sie zusätzlich eine LED in der richtigen Polung an die Anschlüsse. Das besondere an diesem Aufbau ist, dass er keine zuverlässigen Verbindungen bietet. Vor allem der locker eingelegte Widerstand hat mal Kontakt und mal nicht. Klopfen Sie nun auf den Tisch. Die LED wird deutlich sichtbar flackern.



Abb. 4.1: Stromkreis mit lockerem Kontakt

Dieser Aufbau stellt einen Stromkreis mit Schalter dar. Allerdings ist der Schalter eher zufällig geschlossen oder geöffnet. Wenn dieser Effekt hier nicht gewünscht wäre, müsste man die Verbindung als »Wackelkontakt« bezeichnen.

4.2 AN oder AUS

Bauen Sie einen Stromkreis mit einem Ein/Aus-Schalter auf. Verwenden Sie zwei offene Krokodilklemmen als Schaltkontakte. Wenn Sie die Kontakte zusammenhalten, schließt sich der Stromkreis. Bei loser Berührung entspricht die Funktion der eines Tastschalters, wie er z. B. bei Klingelknöpfen verwendet wird. Wenn Sie dagegen beide Kontakte zusammenkneifen, erhalten Sie einen Schalter, der selbst in der geschlossenen Schaltung verharrt, wie es z. B. bei Wippschaltern oder Schaltern mit Kipphebeln der Fall ist.

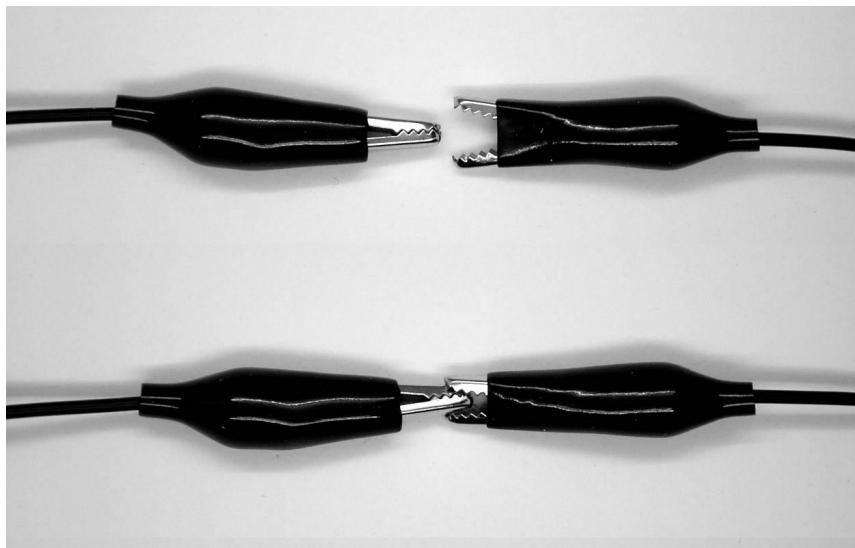


Abb. 4.2: Realisierung eines Schaltkontakte

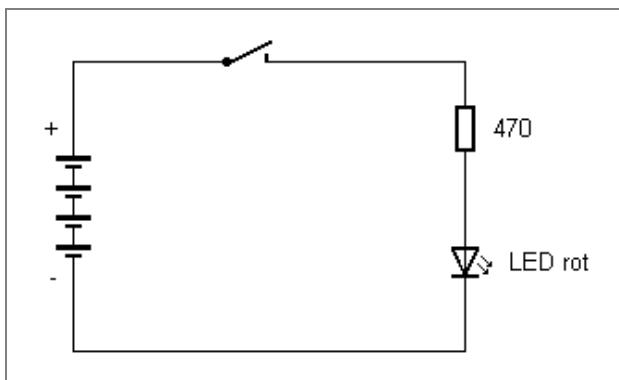


Abb. 4.3: Ein Stromkreis mit Schalter

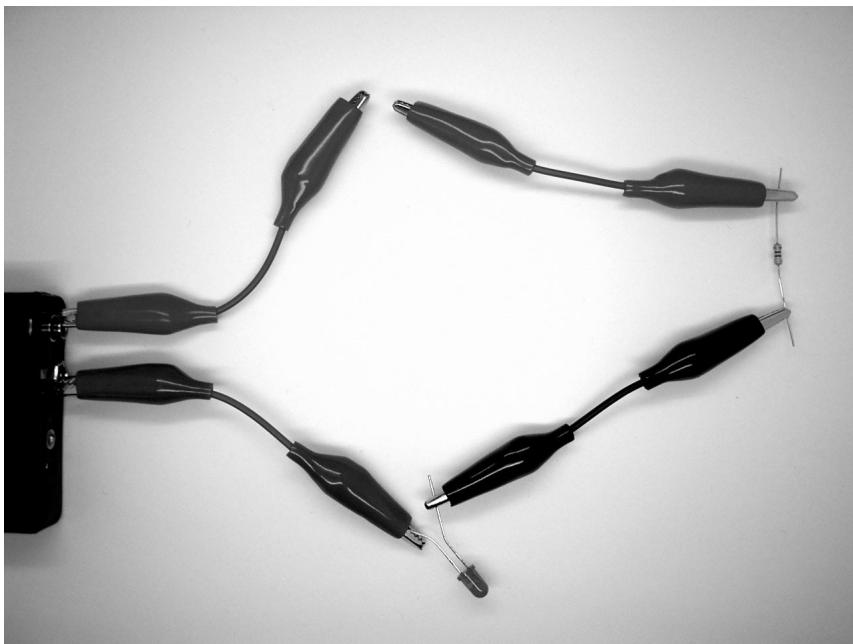


Abb. 4.4: Ein geöffneter Stromkreis

Prinzipiell kann man den Schalter an jeder Stelle im Stromkreis anordnen. Es ist jedoch üblich, ihn in die Plusleitung zu legen. Die Minusleitung wird dann als Null- oder Masseleitung betrachtet, bildet also den Bezugspunkt für die Messung von Spannungen. Im offenen Zustand findet man dann im rechten Teil der Schaltung keine Spannung gegenüber Masse.

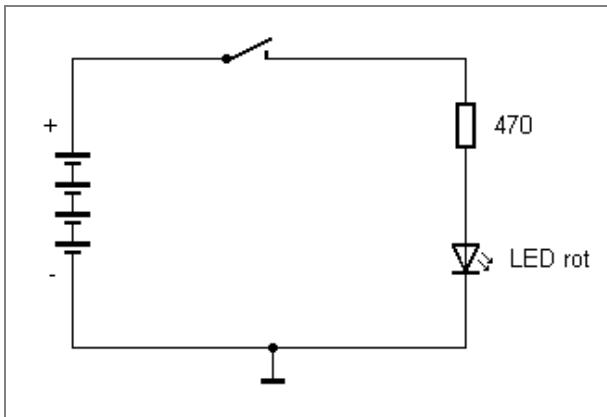


Abb. 4.5: Das Massezeichen als Bezugspunkt

Die Masseleitung ist vor allem bei Geräten wichtig, die einseitig mit Erde bzw. mit einem Schutzleiter verbunden sind. So ist z. B. ein PC oder ein Oszilloskop im allgemeinen über den Schutzleiter der Steckdose geerdet.

4.3 Umschalter

Ein Umschalter schaltet wechselseitig einen von zwei Verbrauchern ein. Hier werden eine rote und eine grüne LED geschaltet. Manche Umschalter besitzen auch noch eine neutrale Mittelstellung, in der beide Kontakte geöffnet sind. Auch dieses Verhalten ist mit dem nachgebildeten Schalter darstellbar.

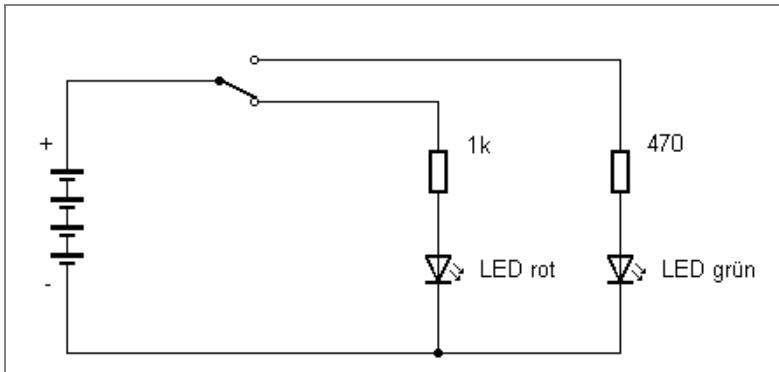


Abb. 4.6: Ein Umschalter für zwei LEDs

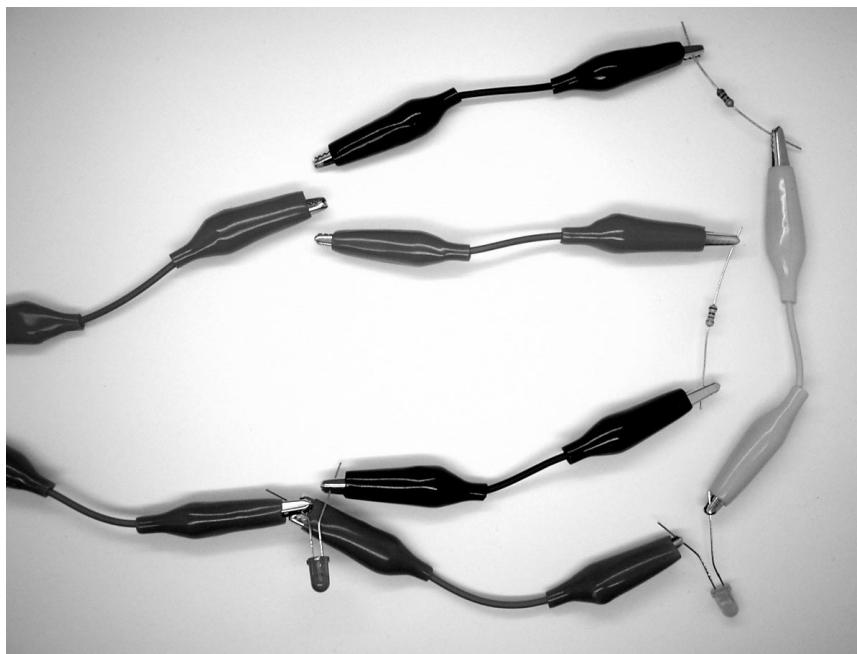


Abb. 4.7: Aufbau eines Umschalters aus Krokodilklemmen

Die Schaltung nach Abb. 4.6 verwendet einen eigenen Vorwiderstand für jede LED. Es entspricht der üblichen Schaltungstechnik, den Vorwiderstand als Teil des Verbrauchers zu sehen. In diesem Fall ist es jedoch auch möglich, einen der beiden Widerstände einzusparen. Abb. 4.8 zeigt diese Variante.

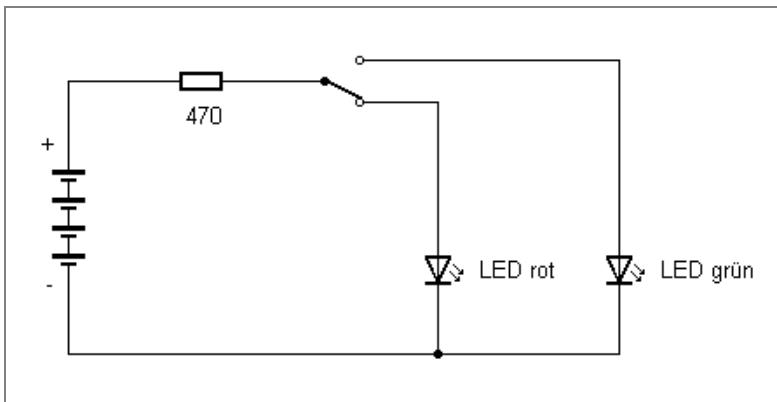


Abb. 4.8: Umschalter mit gemeinsamem Vorwiderstand

4.4 Die UND-Schaltung

Wenn mehrere Schalter in einem Stromkreis vorhanden sind, muss festgelegt werden, unter welchen Bedingungen der Verbraucher eingeschaltet sein soll. Bei der UND-Schaltung lautet die Regel, nur wenn Schalter 1 und Schalter 2 geschlossen sind, fließt Strom. Die Schalter müssen dazu in Reihe geschaltet sein. Die UND-Schaltung findet z. B. Verwendung bei Sicherheitsschaltern an Maschinen. Man muss beide Schalter mit beiden Händen bedienen, um die Maschine einzuschalten, um sicher zu stellen, dass sich keine Hand mehr im Gefahrenbereich befindet.

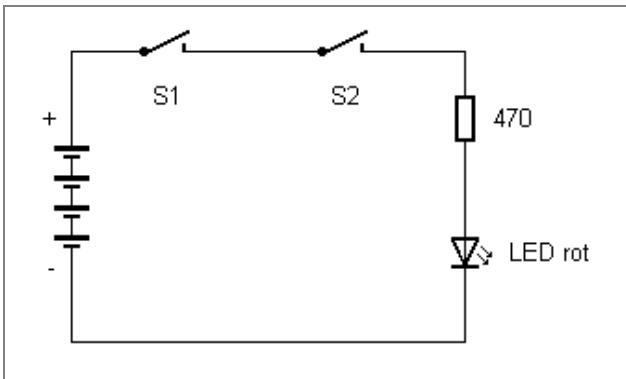


Abb. 4.9: Die UND-Schaltung mit zwei Schaltern

Die Funktion der Schaltung lässt sich als digitale UND-Funktion in einer Zustandstabelle beschreiben.

Tabelle 4.1: Die UND-Funktion

S_1	S_2	<i>LED</i>
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Die UND-Schaltung lässt sich auch auf drei oder mehr Schalter erweitern. In jedem Fall ist der Stromkreis nur dann geschlossen, wenn alle Schalter geschlossen sind.

4.5 Die ODER-Schaltung

Schaltet man zwei oder mehr Schalter parallel, ergibt sich eine logische ODER-Funktion. Wenn S1 oder S2 oder beide eingeschaltet sind, fließt Strom durch den Verbraucher.

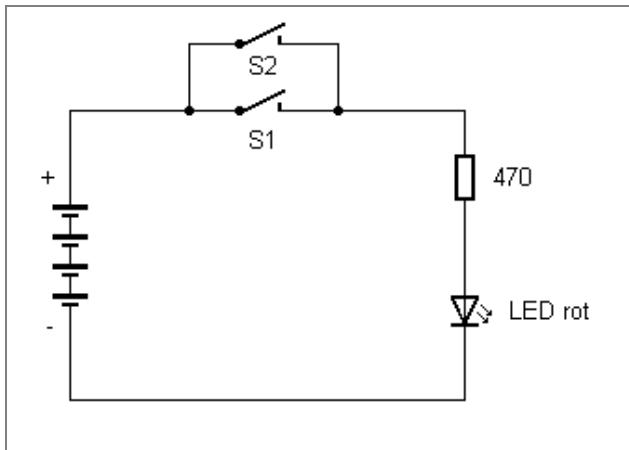


Abb. 4.10: Die Oder-Schaltung

Tabelle 4.2: Die ODER-Funktion

S_1	S_2	LED
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

4.6 Wechselschalter

Die Wechselschaltung wird vor allem bei Flurbeleuchtungen verwendet. Zwei Schalter an beiden Seiten eines Flurs erlauben jeweils das Ein- und Ausschalten des Lichts. Hier benötigt man zwei Umschalter und eine zweifache Leitung zwischen beiden. Die Lampe ist immer dann an, wenn entweder beide Schalter in der oberen Stellung stehen oder wenn beide unten stehen.

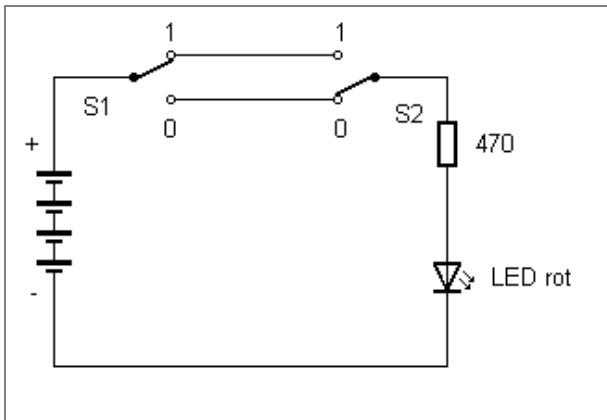


Abb. 4.11: Die Wechselschaltung

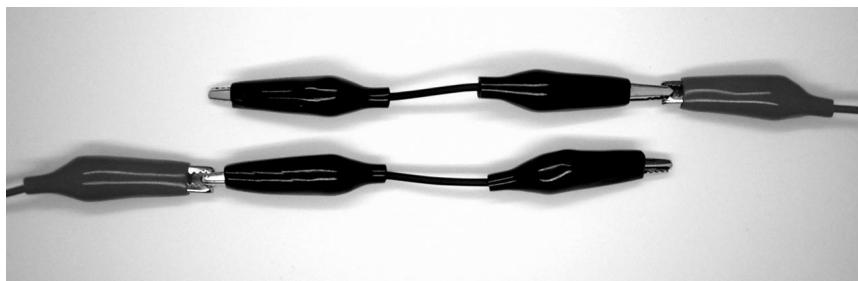


Abb. 4.12: Zwei Umschalter in der Wechselschaltung

Betrachtet man die Schaltung als logische Grundschaltung, spricht man hier von einer Äquivalenzschaltung mit der Zustandstabelle nach Tabelle 4. Der Verbraucher wird nur bei äquivalenten Schalterzuständen eingeschaltet, d. h. wenn beide entweder in Stellung 1 oder beide in Stellung 0 stehen.

Tabelle 4 Die Äquivalenzfunktion

S_1	S_2	<i>LED</i>
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Vertauscht man die Leitungen an einem der Schalter, kehrt sich die Funktion um. Nun leuchtet die LED immer dann, wenn beide Schalter unterschiedlich stehen. Man spricht nun von einer Exklusiv-Oder-Schaltung (XOR). Im praktischen Einsatz als Flurlichtschalter macht die Polung jedoch kaum einen Unterschied. Da man den Schaltzustand des entfernten Schalters nicht sieht, schaltet man in beiden Fällen einfach um, wenn ein anderer als der vorhandene Zustand gewünscht wird.

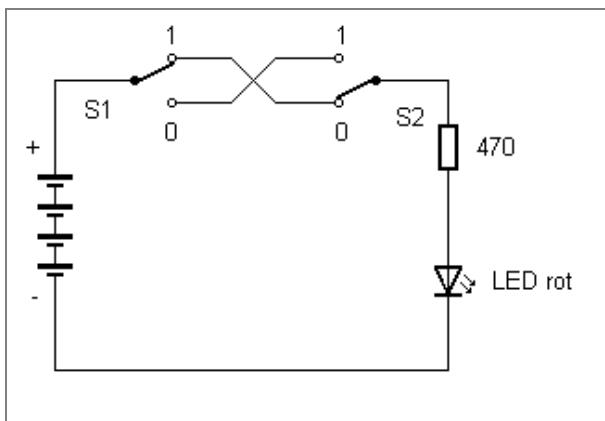
**Abb. 4.13:** Die Exklusiv-Oder-Schaltung

Tabelle Die Antivalenzfunktion, XOR

S_1	S_2	LED
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

5 Parallel- und Reihenschaltung

Komplexe Schaltungen mit mehreren Verbrauchern lassen zahlreiche Variationen zu. Im Einzelfall muss genau überlegt werden, ob eine Parallel- oder eine Reihenschaltung günstiger ist.

5.1 Farbspiele

Bauen Sie einen Stromkreis mit 6-V-Battrie, weißer LED und Vorwiderstand $470\ \Omega$ auf, wie es bereits in Kap. 3 gezeigt wurde. Der Schalter soll zunächst noch geöffnet sein, bzw. die rote LED wird noch nicht angeschlossen

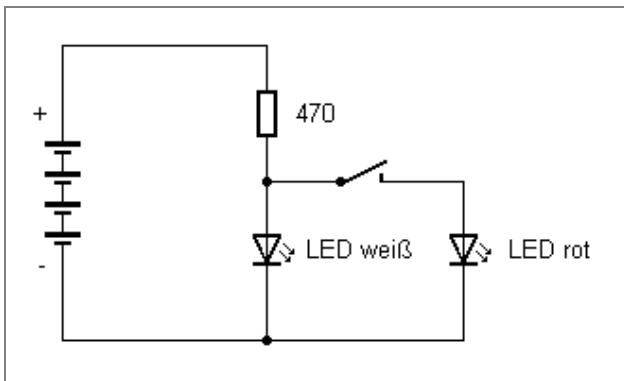


Abb. 5.1: Parallelschaltung unterschiedlicher LEDs

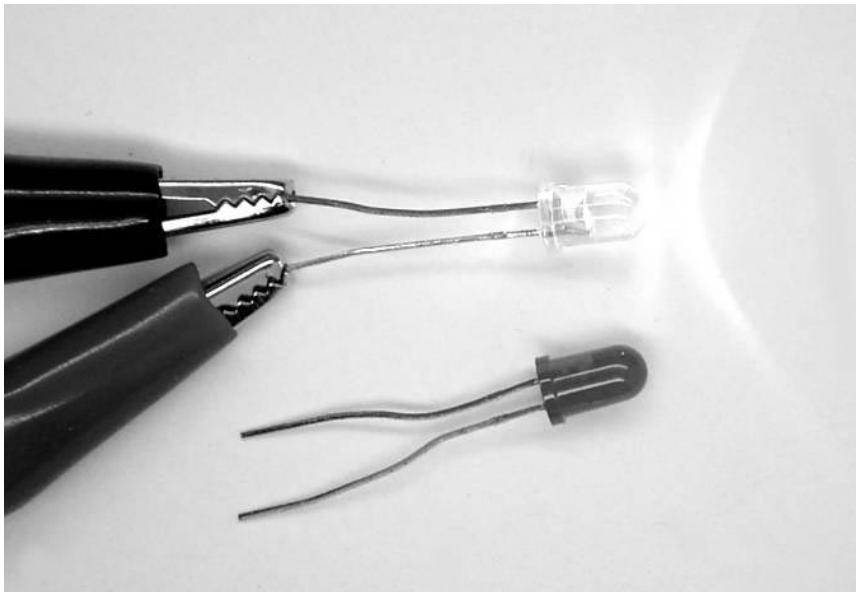


Abb. 5.2: Gleiche Polung beider LEDs

Halten Sie dann eine rote LED parallel an die weiße LED, also Kathode an Kathode und Anode an Anode. Nun leuchtet die rote, aber die weiße LED geht aus. Das ist vielleicht überraschend, weil ein einfacher Schalter oder Kontakt reicht, um eine Umschalt-Funktion zu erreichen. Der Versuch zeigt aber auch, dass eine einfache Parallelschaltung mit zwei unterschiedlichen LEDs nicht funktioniert.

5.2 Parallelschaltung von Verbrauchern

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

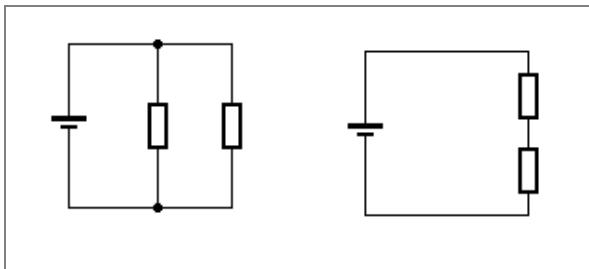


Abb. 5.3: Parallel- und Reihenschaltung

Wenn beide Verbraucher parallel angeschlossen werden (Abb. 5.3 links), erhalten sie die selbe Spannung. Ein Beispiel ist die Verdrahtung in einem KFZ. Die Batterie und alle Lampen haben eine Spannung von 12 V. Sie müssen also parallel angeschlossen werden.

Wenn zwei Verbraucher in Reihe geschaltet werden (Abb. 5.3 rechts), fließt durch sie der gleiche Strom. Jeder erhält jedoch nur einen Teil der Batteriespannung. So könnte man z. B. zwei gleiche 6-V-Lampen in Reihe an einer 12-V-Batterie betreiben. Auch die bereits verwendete LED-Schaltung mit Vorwiderstand ist eine Reihenschaltung, bei der an der LED ein Teil der Batteriespannung liegt.

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 sinnvoll, einen gemeinsamen Vorwiderstand zu verwenden, wie es im vorigen Abschnitt gezeigt wurde.

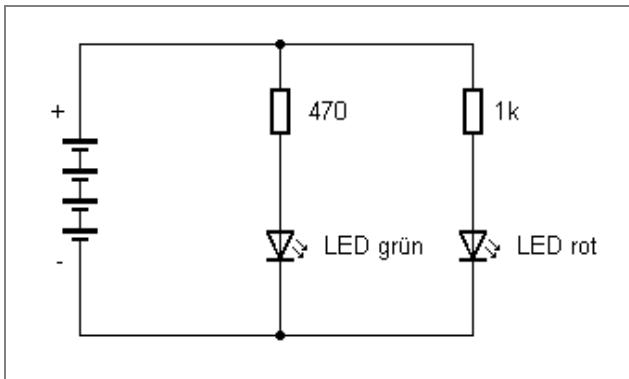


Abb. 5.4: Die Parallelschaltung

Man kann je nach Bedarf gleiche oder unterschiedliche Widerstände für beide LEDs einsetzen. Für gleiche Helligkeit kann es erforderlich sein, einen größeren Widerstand für die rote LED zu verwenden, weil an ihr eine kleinere Spannung liegt und mehr Spannung vom Vorwiderstand abfallen muss. Mit den gewählten Widerständen $470\ \Omega$ und $1\ k\Omega$ ist der Unterschied überkompensiert, d. h. es fließt weniger Strom durch die rote LED. Insgesamt sind beide LEDs aber etwa gleich hell, weil die rote LED bei gleichem Strom etwas heller wirkt.

Mit nur einem Vorwiderstand erhält man ein überraschendes Ergebnis. Sobald die rote LED eingeschaltet wird, geht die grüne LED aus oder leuchtet nur noch extrem schwach. Bei einer Parallelschaltung ist also keine sinnvolle Stromverteilung möglich. Durch die LED mit der kleineren Arbeitsspannung fließt der größere Strom. Das gleiche Ergebnis wurde in Kap 5.1 bereits für eine weiße und eine rote LED gefunden.

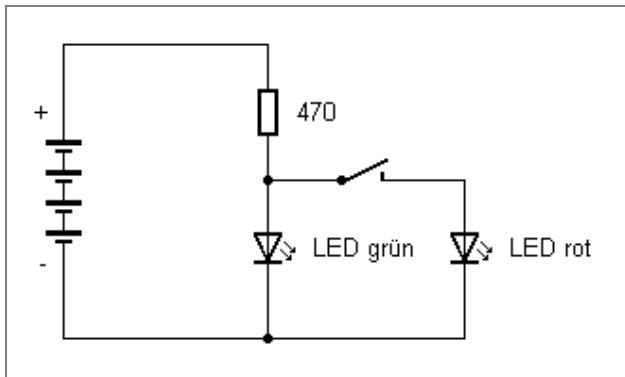


Abb. 5.5: Verwendung eines gemeinsamen Vorwiderstands

5.3 Reihenschaltung von LEDs

Eine Reihenschaltung kann gerade bei LEDs sehr sinnvoll sein, weil sie einen besseren Wirkungsgrad verspricht. Die Batteriespannung muss in jedem Fall größer sein als die Summe der LED-Spannungen. Mit etwa 1,8 V an der roten LED und 2,2 V an der grünen LED benötigen beide zusammen rund 4 V. Am Vorwiderstand liegen die restlichen 2 V. Damit wird nur noch ein Drittel der gesamten von der Batterie gelieferten Energie im Vorwiderstand in Wärme umgewandelt. Mit einem Widerstand von 100Ω ergibt sich ein Diodenstrom von 20 mA.

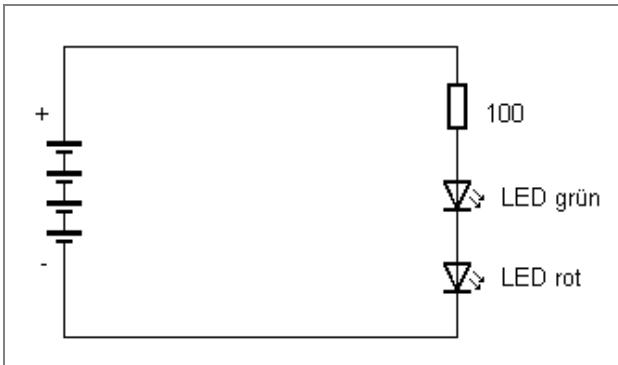


Abb. 5.6: Reihenschaltung von zwei LEDs

Wenn Sie alle drei vorhandenen LEDs in einer Reihenschaltung verwenden wollen, müssen Sie bereits eine höhere Spannung als 6 V verwenden. An den Dioden liegt im Betrieb eine Spannung von $1,8\text{ V} + 2,2\text{ V} + 3,6\text{ V} = 7,6\text{ V}$. An einer 9-V-Batterie ergibt sich ein Strom von ca. 14 mA.

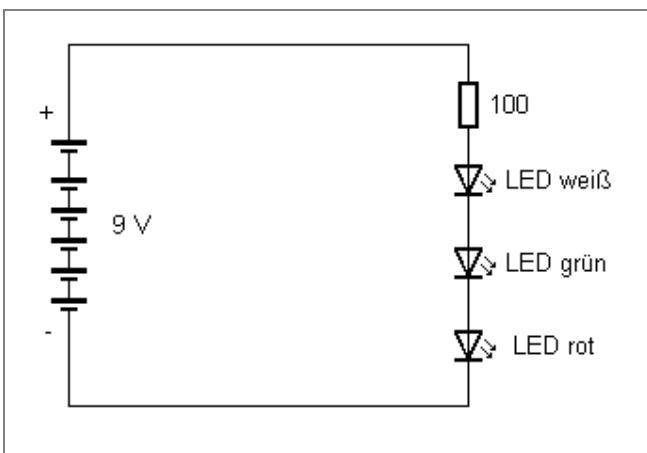


Abb. 5.7: Drei LEDs an einer 9-V-Batterie

5.4 Die Si-Diode

Jede Diode ist ein elektrisches Ventil, das Strom nur in einer Richtung passieren lässt. Das gilt für eine LED ebenso wie für die Siliziumdiode 1N4148. Man kann die Diode vereinfacht als einen Schalter betrachten, der immer dann geschlossen ist, wenn die entsprechende Stromrichtung vorliegt. Bei genauerer Betrachtung liegt in Durchlassrichtung eine geringe Spannung von ca. 0,6 V an der Diode, die sich nur wenig mit dem Strom ändert.

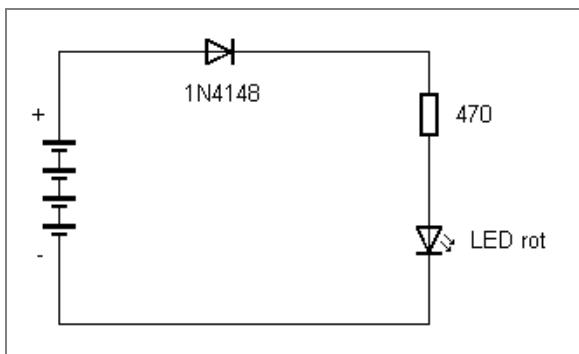


Abb. 5.8: Die Siliziumdiode in Durchlassrichtung

Dreht man die Diode um, verhält sie sich wie ein geöffneter Schalter. Im Stromkreis fließt kein Strom, die LED bleibt also aus.

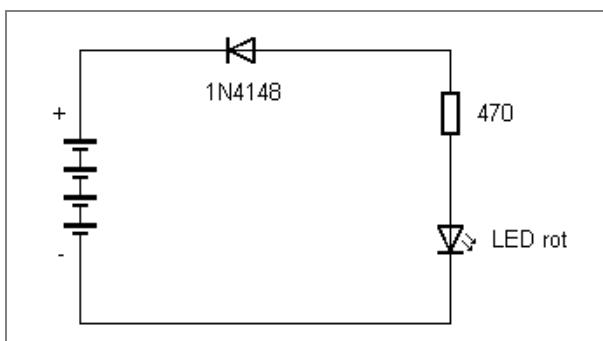


Abb. 5.9: Die Diode in Sperrrichtung

Statt der Si-Diode können Sie auch die grüne LED verwenden. Dabei wird das gleiche Verhalten festgestellt. Nur bei richtiger Polung befindet sich die LED in Durchlassrichtung und ermöglicht einen Strom im Kreis. Der entscheidende Unterschied zwischen Si-Diode und LED ist, dass die LED in Durchlassrichtung einen Teil der umgesetzten Energie in Licht umwandelt, während die Si-Diode nur Wärme erzeugt.

5.5 Ein Polaritätstester

Schalten Sie zwei antiparallele LEDs mit einem gemeinsamen Vorwiderstand in Reihe. Diese Schaltung kann als Test für die Polung einer Spannungsquelle eingesetzt werden. Die grüne LED leuchtet, wenn der Pluspol am Vorwiderstand liegt. Bei umgekehrter Polarität leuchtet die rote LED.

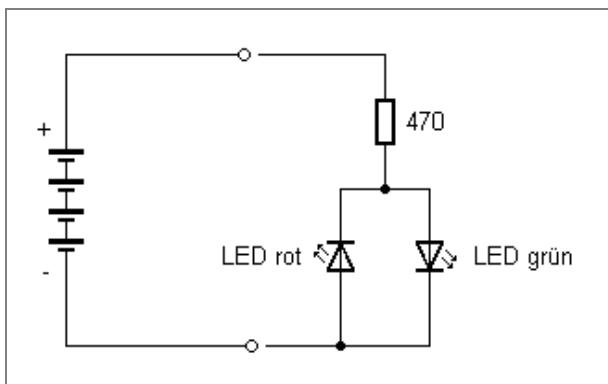


Abb. 5.10: Ein Polungstester mit zwei LEDs

6 Elektromagnetismus und Induktion

Die magnetische Wirkung des elektrischen Stroms führte zur Erfindung des Elektromotors. Umgekehrt erzeugt die Bewegung eines Drahtes im magnetischen Feld eine elektrische Spannung, was die Erfindung des Dynamos ermöglichte. Was in jedem Kraftwerk im Großen geschieht, kann hier im Kleinen erprobt werden.

6.1 Dynamo-Taschenlampe

Verbinden Sie die rote LED mit den Anschlüssen des Gleichstrommotors. Versetzen Sie dann die Achse in schnelle Drehung. Testen Sie beide Richtungen. Bei genügender Drehzahl und der richtigen Drehrichtung leuchtet die LED hell auf. Der Motor wird hier als Generator oder Dynamo verwendet, d. h. Sie wandeln mechanische Energie in elektrische Energie um.

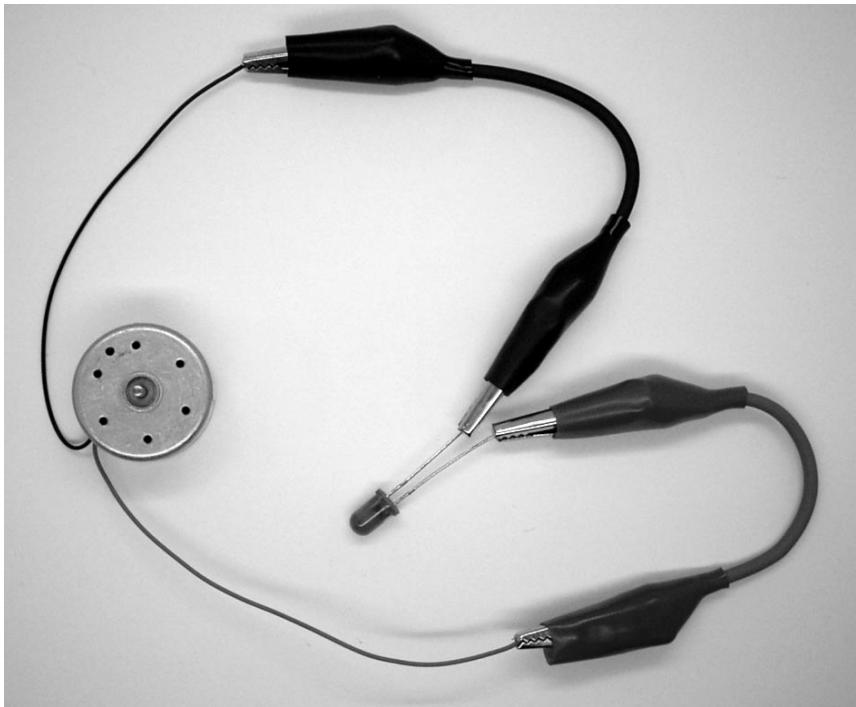


Abb. 6.1: Der Motor als Stromgenerator

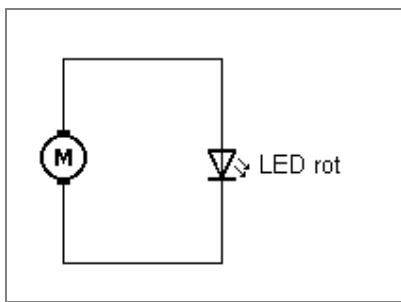


Abb. 6.2: Schaltbild der Generatorlampe

Führen Sie den Versuch auch mit der weißen LED durch. Wegen der höheren Spannung müssen Sie die Achse entsprechend schneller drehen.

6.2 Drehrichtungsanzeige

Verbinden Sie zwei antiparallele LEDs mit dem Motor. Verwenden Sie einen Vorwiderstand, um eine Überlastung bei hoher Drehzahl zu vermeiden. Die Drehrichtung entscheidet darüber, welche von beiden LEDs leuchtet. Der Gleichstromgenerator ist also als Generator eine Spannungsquelle mit frei wählbarer Polarität.

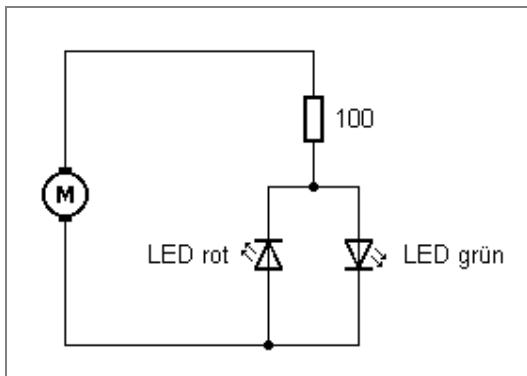


Abb. 6.3:
Drehrichtungsanzeiger
mit LEDs

6.3 Induktion und EMK

Die bisherigen Versuche zeigten die elektromagnetische Induktion im Motor. Magnetismus und Elektrizität hängen eng zusammen: Um einen elektrischen Strom bildet sich ein magnetisches Kraftfeld. In einer stromdurchflossenen Spule entsteht deshalb ein kräftiges Magnetfeld. Umgekehrt führt jede Änderung eines Magnetfeldes in einer Spule zur Induktion einer elektrischen Spannung. Beide Vorgänge treten im Gleichstrommotor auf.

Die Wechselwirkung des durch einen Strom erzeugten Magnetfeldes der Ankerspule im Motor mit den eingebauten Permanentmagneten bewirkt die Drehung der Motorachse. Andererseits führt jede Drehung der Motorachse zu einer Veränderung des Magnetfelds im Anker und damit zur Induktion einer Spannung. In der Ankerspule selbst ändern das Magnetfeld und die Spannung periodisch ihre Richtung. Durch die

rotierende Ankerspule fließt also Wechselstrom. Nach außen hin tritt jedoch Gleichstrom auf, weil die Schleifbürsten und der Kommutator im Gleichstrommotor die Richtung entsprechend umpolen. Der Motor erzeugt als Generator eine elektromotorische Kraft (EMK), die als Gleichspannung an den Anschlussklemmen auftaucht.

In Kap. 2.5 wurde bereits die Abhängigkeit der Motordrehzahl von der Spannung untersucht. Eine doppelte Spannung führt auch zu einer doppelten Leerlaufdrehzahl. Im Motor tritt dabei ein Regelvorgang auf, der dazu führt, dass die induzierte Spannung (EMK) geringfügig unter der Anschlussspannung liegt. Der Strom durch den Motor ist proportional zur Differenz beider Spannungen. Beim Anfahren und bei starker mechanischer Belastung fließt entsprechend viel Strom, weil die Drehzahl geringer als die Leerlaufdrehzahl ist.

Die beschriebenen Vorgänge lassen sich anschaulich untersuchen, wenn man den Motorstrom mit einer LED anzeigt. Die Schaltung in Abb. 6.4 verwendet eine LED als Stromindikator.

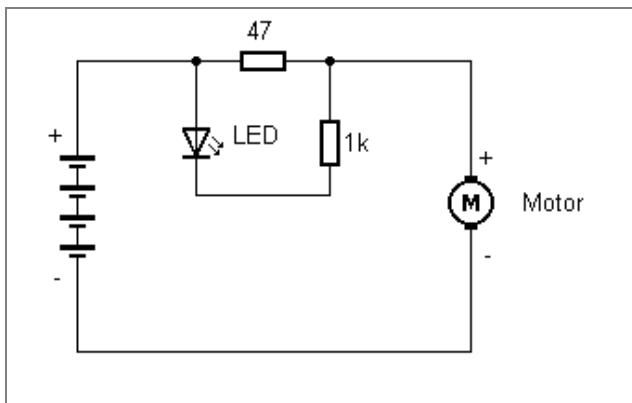


Abb. 6.4: Anzeige des Motorstroms durch eine LED

Da der Motorstrom wesentlich größer als der erlaubte LED-Strom sein kann, benötigt man einen Nebenwiderstand (Shunt). Der größte Teil des Stroms fließt durch den Nebenwiderstand mit $47\ \Omega$, nur ein kleiner Teil durch die LED. Beim Einschalten des Motors können Sie den Anlauf-

stromstoß deutlich erkennen. Auch jedes Abbremsen der Motorachse führt zu einem größeren Strom.

Testen Sie die Schaltung mit unterschiedlichen Batteriespannungen zwischen 3 V und 9 V. Sie werden feststellen, dass zwar die Leerlaufdrehzahl mit der Anschlussspannung steigt, nicht aber der Leerlaufstrom.

7 Der Kondensator

Kondensatoren sind Speicher elektrischer Ladung und damit Energiespeicher. Mit den im Lernpaket enthaltenen Elektrolytkondensatoren lassen sich die Vorgänge beim Laden und Entladen eines Kondensators anschaulich untersuchen.

7.1 Blitzlicht

Laden Sie den Elektrolytkondensator von 100 µF an der Batterie auf. Achtung, die Polung muss stimmen! Der Minuspol des Kondensators ist durch einen weißen Strich gekennzeichnet und liegt am kurzen Anschlussdraht.



Abb. 7.1: Aufladen des Kondensators

Entfernen Sie den Elko von der Batterie und halten Sie ihn in richtiger Polung an die weiße LED, also Minuspol an Kathode. Sie sehen einen kurzen, aber intensiven Lichtblitz.

Sie können den Versuch beliebig oft wiederholen. Jedes Aufladen füllt den Kondensator mit frischer Energie für den nächsten Lichtblitz. Da hier ohne Vorwiderstand gearbeitet wird, wird die LED mit einem höheren Strom betrieben als normal. Für den kurzen Moment des Lichtblitzes während der Entladung des Kondensators ist das unschädlich. Vermeiden Sie aber unbedingt eine direkte Verbindung der LED mit der Batterie!

7.2 Laden und entladen

Wiederholen Sie den Einführungsversuch aus dem vorigen Abschnitt mit der roten LED und mit einem Vorwiderstand. Testen Sie unterschiedliche Widerstände zwischen $47\ \Omega$ und $1\ k\Omega$. Ein größerer Widerstand verringert die Intensität der leuchtenden LED, vergrößert aber zugleich die Leuchtdauer.

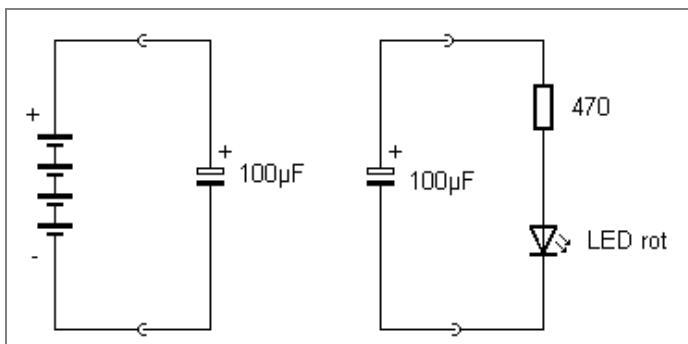


Abb. 7.2: Laden und Entladen des Kondensators

Untersuchen Sie die Schaltung auch mit dem kleineren Kondensator von $22\ \mu F$. Sie werden feststellen, dass die Lichtblitze schwächer ausfallen. Die gespeicherte Ladung hängt von der Kapazität des Kondensators und von der Ladespannung ab. Ein Kondensator mit der Kapazität 1 Farad

(1F) enthält bei einer Spannung von 1 V eine Ladung von 1 C = 1 As, kann also mit einem Strom von 1 A in einer Sekunde entladen werden. Ein Kondensator mit einem Mikrofarad ($1 \mu\text{F}$) speichert nur ein Millionstel dieser Ladung. Bei $100 \mu\text{F}$ und 6 V beträgt sie Ladung 0,6 mAs. Bei einem Strom von 20 mA wäre der Kondensator also in $30 \text{ ms} = 0,03 \text{ s}$ entladen.

Verwenden sie auch einmal einen großen Widerstand von $100 \text{ k}\Omega$. Der Entladestrom ist dann sehr viel geringer, so dass man das Leuchten der LED nur im abgedunkelten Raum erkennen kann. Die Entladezeit steigt aber deutlich an. Auch nach 10 Sekunden ist noch ein schwaches Leuchten zu sehen.

7.3 Wechsel-Blitzlicht

Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 7.3 mit einem Umschalter auf. Hier wird nicht nur der Entladestrom, sondern auch der Ladestrom sichtbar gemacht. Bei jedem Ladevorgang leuchtet die grüne LED, beim Entladen die rote.

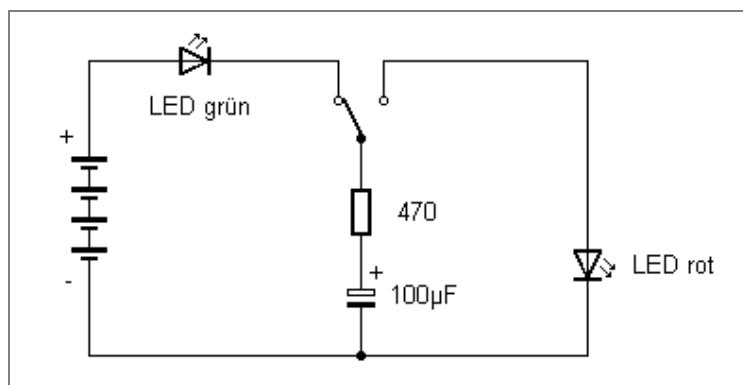


Abb. 7.3: Der Wechsel-Blitzer

7.4 Dynamo-Blitzlampe

Ersetzen Sie nach Abb. 7.4 die Batterie durch den Motor als Dynamo. Durch kräftiges Drehen laden Sie den Kondensator auf. Eine Si-Diode verhindert die Entladung über den Motor. Der geladene Elko wird bei geschlossenem Schalter über die LED entladen, wobei ein einzelner Lichtblitz entsteht. Der Versuch kann beliebig oft wiederholt werden. Je nach Anschluss des Motors ist für das Aufladen eine Links- oder Rechtsdrehung erforderlich.

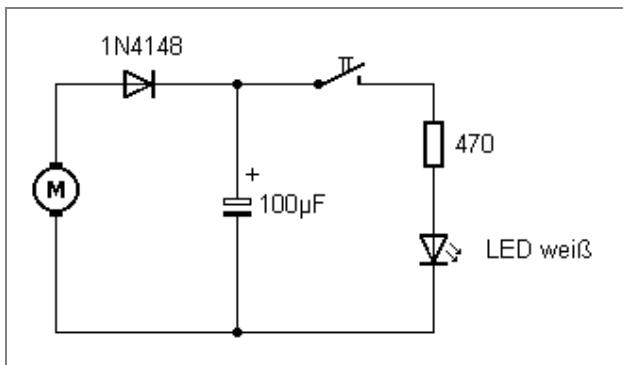


Abb. 7.4: Der Motor als Energiequelle

Anders als mit einer Batterie können Sie die Ladespannung und damit die Blitzenergie in weiten Grenzen verändern, indem sie die Motorachse mehr oder weniger schnell drehen. Zwischen Laden und Entladen dürfen mehrere Minuten liegen, da der Elko nur eine geringe Selbstentladung aufweist.

8 Der Transistor

Mit der Erfindung des Transistors begann der Siegeszug der Elektronik bis hin zur heutigen Computertechnik. Transistoren lassen sich als elektronische Schalter und als Verstärker einsetzen. Hier werden die Grundfunktionen in einfachen Versuchen verdeutlicht.

8.1 Berührungssensor

Schalten Sie den Transistor in Reihe zu einer Leuchtdiode mit Vorwiderstand. Der Emitter-Anschluss (E) muss mit dem Minusanschluss der Batterie verbunden werden. Der Kollektor-Anschluss wird über den Verbraucher mit dem Pluspol verbunden. Der Transistor wirkt zunächst wie ein geöffneter Schalter. Die LED leuchtet also nicht.

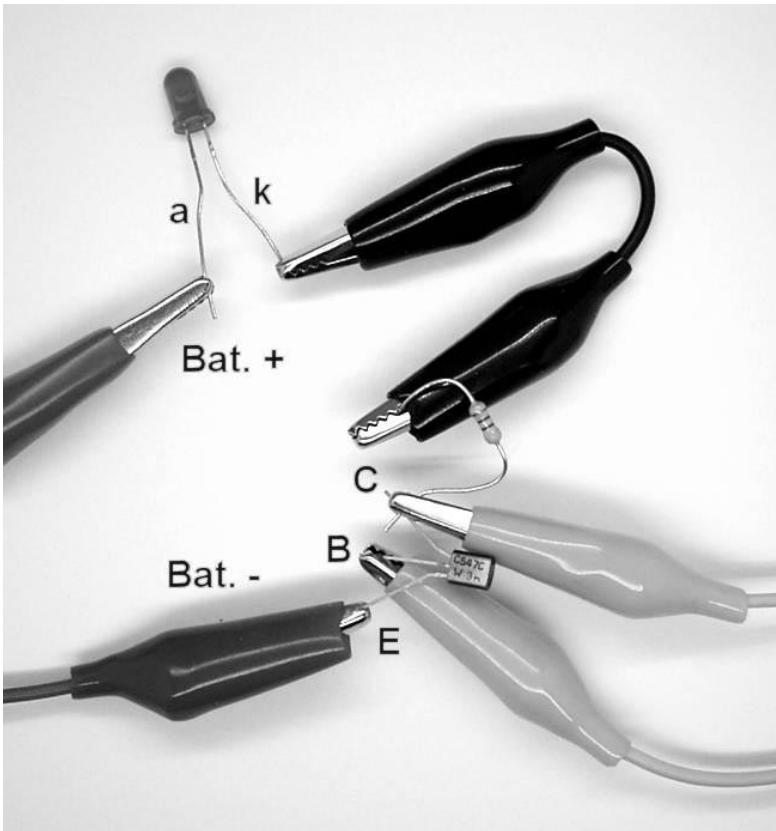


Abb. 8.1: Aufbau eines Berührungssensors

Zusätzlich enthält die Schaltung Anschlüsse an der Basis (B) und am Kollektor (C). Berühren Sie die Kabelenden und fügen Sie dadurch eine schwach leitende Verbindung zwischen B und C ein. Der Hautwiderstand beträgt in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit etwa 10 bis 1000 k Ω . Es fließt daher nur ein sehr kleiner, nicht fühlbarer Strom durch Ihren Körper. Trotzdem geht die LED an. Der kleine Sensorstrom wurde durch den Transistor verstärkt. Steuern Sie den Strom durch die LED durch mehr oder weniger kräftigen Druck auf die Anschlussklemmen.

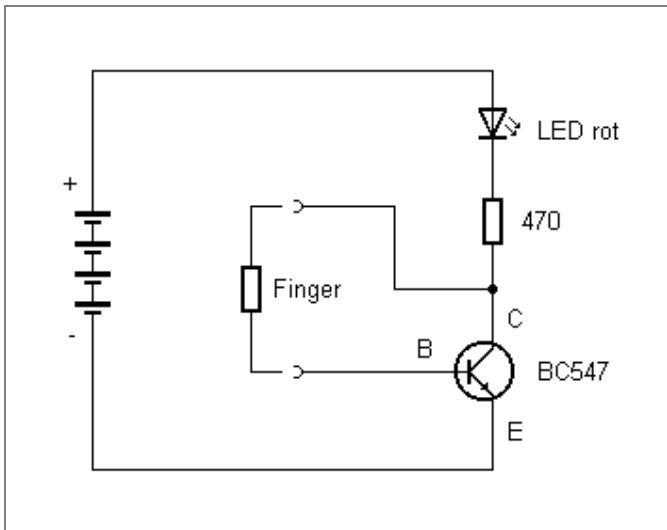


Abb. 8.2: Das Schaltbild des Berührungsensors

Das Schaltbild des Versuchs zeigt einen verzweigten Stromkreis. Der kleinere Strom durch den Sensorwiderstand (Finger) fließt durch den Verbraucher und die Basis. Der Basisstrom bewirkt, dass zusätzlich ein größerer Kollektorstrom ebenfalls durch den Verbraucher fließt.

8.2 Stromverstärkung

Das Prinzip des Transistors als Stromverstärker lässt sich am besten mit einem definierten Basiswiderstand untersuchen. Das Schaltbild nach Abb. 8.3 verwendet einen Widerstand von $100\text{ k}\Omega$, um einen kleinen Basisstrom von nur ca. $0,05\text{ mA}$ fließen zu lassen. Sobald der Basisstrom eingeschaltet wird, fließt ein wesentlich größerer Kollektorstrom von ca. 10 mA durch die LED. Die Stromverstärkung ist also etwa 200-fach und entspricht ungefähr dem Verhältnis von Basiswiderstand und Kollektorwiderstand.

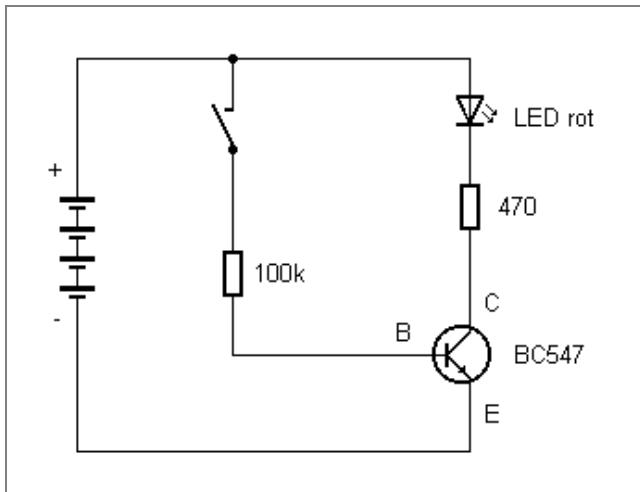


Abb. 8.3: Untersuchung der Stromverstärkung

Schließen Sie bei eingeschaltetem Basisstrom einmal zum Test Emitter und Kollektor des Transistors kurz, um eine direkte leitende Verbindung mit dem eingeschalteten Transistor zu vergleichen. Sie werden feststellen, dass die LED nicht deutlich heller wird. Der Transistor selbst kann also hier wie ein geschlossener Schalter betrachtet werden. Der Hersteller garantiert eine Stromverstärkung über 200. Um den Transistor voll einzuschalten, muss ein ausreichend großer Basisstrom bereitgestellt werden. Allerdings sollte in allen Anwendungen des Transistors BC547 ein maximaler Strom von 100 mA nicht überschritten werden.

8.3 Der Inverter

Mit einem Transistor lässt sich die Funktion eines Schalters umkehren (invertieren). Eine LED soll bei offenem Schalter leuchten und bei geschlossenem Schalter aus sein. Die Schaltung nach Abb. 8.4 realisiert dieses Verhalten durch eine Parallelschaltung des Transistors zur LED. Der leitende Transistor schließt die LED kurz.

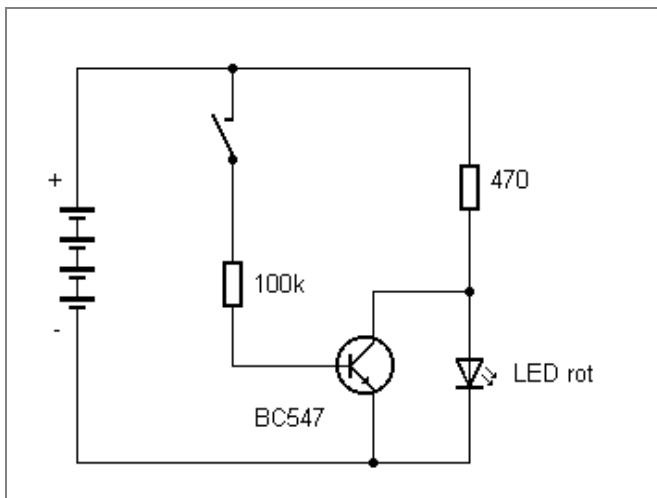


Abb. 8.4: Die Inverterschaltung

Diese Schaltung hat den Nachteil, dass auch bei ausgeschalteter LED noch Strom fließt. Der Strom steigt sogar im ausgeschalteten Zustand an, weil der Spannungsabfall an der LED entfällt und die volle Batteriespannung am Widerstand von $470\ \Omega$ liegt.

Die Wirkung lässt sich verbessern, indem man den Transistor in Reihe zur LED legt und den Schalter zwischen Basis und Emitter einsetzt. Ein geschlossener Schalter leitet dann den Steuerstrom ab. Ohne Basisstrom ist der Transistor gesperrt und öffnet den Arbeitsstromkreis.

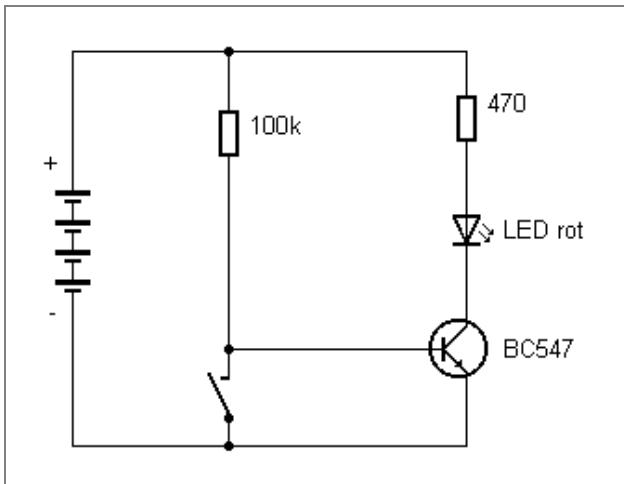


Abb. 8.5: Ein verbesselter Inverter

Die Schaltung nach Abb. 8.5 hat im geschlossenen Schalterzustand nur eine geringe Stromaufnahme von $6 \text{ V} / 100 \text{ k}\Omega = 0,06 \text{ mA}$. Der Transistor arbeitet hier als ein effektiver Schalter.

8.4 Zeitschalter

Bei der Innenbeleuchtung von Autos wird oft eine Nachlaufsteuerung eingesetzt, die das bequeme Aussteigen ermöglicht. Nach dem Ausschalten leuchtet das Licht noch eine gewisse Zeit weiter. Dieses Verhalten wurde bereits an einem Kondensator beobachtet (vgl. Kap. 7.2). Allerdings erreicht ein Kondensator von $100 \mu\text{F}$ allein entweder nur eine sehr kurze Leuchtdauer oder eine geringe Helligkeit, da die gespeicherte Ladung gering ist. Mit einem Transistor als Stromverstärker erreicht man dagegen eine wesentlich bessere Wirkung. Nun reicht sogar ein relativ kleiner Kondensator mit nur $22 \mu\text{F}$.

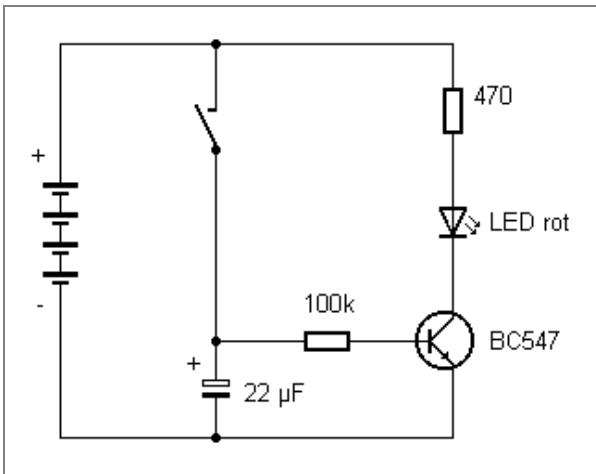


Abb. 8.6: Nachlaufsteuerung mit einem Transistor

Die Nachlaufsteuerung nach Abb. 8.6 schaltet die LED bei geschlossenem Schalter ohne Verzögerung ein. Nach dem Öffnen des Schalters leuchtet die LED noch ca. 2s lang mit voller Helligkeit und wird dann allmählich schwächer. Der Transistor arbeitet gegen Ende nicht mehr als Schalter (digital), sondern als gesteuerte Stromquelle (analog).

Setzen Sie den Elko mit $100 \mu\text{F}$ in der Schaltung ein. Damit verlängern sich die Schaltzeiten etwa 5-fach.

8.5 Motorschalter

Ein Transistor eignet sich auch als Schalter für einen Motor. Allerdings muss ein Schutz gegen den induktiven Spannungsstoß beim Ausschalten vorgesehen werden, der den Transistor sonst zerstören könnte. Abb. 8.7 zeigt einen Transistor als Motorschalter. Der Basiswiderstand wurde auf $1 \text{ k}\Omega$ verkleinert, um den Transistor auch beim Einschalten mit einem relativ großen Anlaufstrom des Motors bis ca. 100 mA voll einzuschalten.

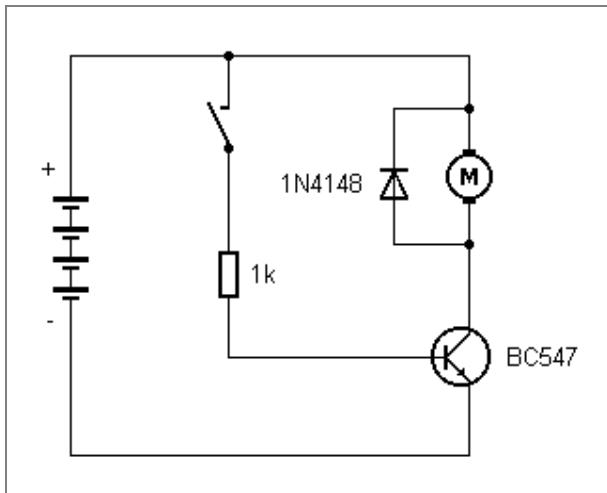


Abb. 8.7: Motorschalter mit Schutzdiode

Abb. 8.7 zeigt einen Transistor als Motorschalter mit einer zusätzlichen Freilaufdiode. Die Diode ist in Sperrrichtung eingebaut und leitet nicht, wenn der Motor eingeschaltet ist. Im Moment des Ausschaltens entsteht am Motor jedoch eine Spannungsspitze in Gegenrichtung, die von der Diode begrenzt wird. Dieses Verhalten zeigt jede Spule. Auch beim Einsatz eines Relais im Laststromkreis des Transistors ist daher die Schutzdiode nötig. Ohne sie könnte eine Spannungsspitze von einigen 100 V entstehen, die den Transistor zerstören würde, da die maximal erlaubte Spannung zwischen Kollektor und Emitter 50 V beträgt.

Ersetzen Sie die Si-Diode durch eine rote LED. Der induktive Spannungsstoß beim Ausschalten des Motors kann nun direkt durch den Lichtblitz der LED beobachtet werden.

8.6 Ein Drehsensor

Der Motor wurde bereits in Kap. 6.1 als Generator eingesetzt. Eine LED kann bei relativ kräftiger Drehung zum Leuchten gebracht werden. Mit einem Transistor als Stromverstärker genügt bereits eine langsame Drehung, um eine LED einzuschalten. Die eigentliche Energiequelle ist

in diesem Fall die Batterie. Der Transistor schaltet die LED ein, wenn die Induktionsspannung des Motors etwa 0,6 V überschreitet.

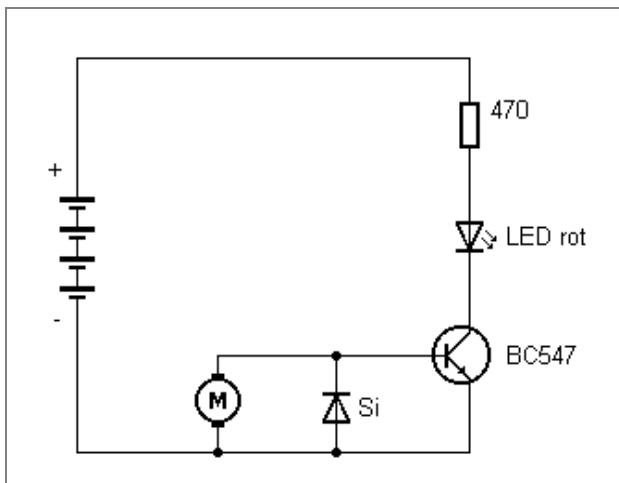


Abb. 8.8: Verstärkung des Induktionsstroms

Die zusätzliche Si-Diode zwischen Basis und Emitter nach Abb. 8.8 soll verhindern, dass bei falscher Drehrichtung und zu schneller Drehung eine übermäßig große negative Basisspannung den Transistor gefährdet. Der Motor sollte nicht kräftiger als nötig gedreht werden, um die LED einzuschalten, weil keine Strombegrenzung vorhanden ist und unter extremen Bedingungen der Transistor zu heiß würde.

Abb. 8.9 zeigt eine verbesserte Schaltung mit einer zusätzlichen Glättung der Steuerspannung. Der Motor lädt bei korrekter Drehrichtung einen Kondensator auf, der dann auch in Drehpausen den nötigen Basisstrom liefert. Der Versuch ähnelt einer Dynamotaschenlampe mit Ladefunktion, wobei allerdings die Energie für die LED aus der Batterie stammt.

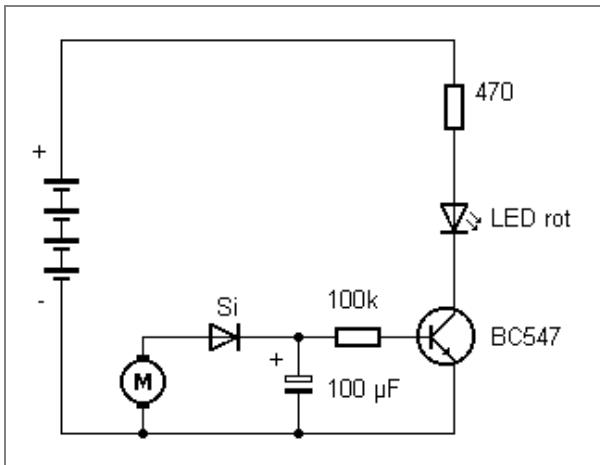


Abb. 8.9: Drehsensor mit Nachlaufsteuerung

9 Messgeräte

In diesem zweiten Teil des Lernpakets geht es um Messgeräte und die quantitative Auswertung von Experimenten. Messergebnisse werden systematisch mit theoretischen Voraussagen verglichen. Es wird gezeigt, wie Schaltungen geplant und überprüft werden können.

Zusätzlich zum mitgelieferten Material benötigen Sie ein Vielfachmessgerät. Hier werden zwei unterschiedliche Geräte vorgestellt, ein einfaches Analogmultimeter und ein Digitalmultimeter. Beide Geräte stammen von Conrad Electronic und sind recht preiswert. Wenn Sie ein anderes Messgerät besitzen, können Sie es ebenfalls verwenden.

9.1 Spannungsmessung

Beim Umgang mit Messgeräten müssen einige Regeln beachtet werden, um eine versehentliche Beschädigung zu vermeiden. Vor dem ersten Einsatz sollten Sie sich mit den Messbereichen vertraut machen.

Für die Spannungsmessung gibt es meist unterschiedliche Bereiche für Gleichspannung ($V=$) und Wechselspannung ($V\sim$). Hier werden nur Gleichspannungen gemessen. Vor der Messung muss ein Messbereich oberhalb der erwarteten Messspannung eingestellt werden, um eine Bereichsüberschreitung zu vermeiden. Die Messkabel werden dann parallel zum Messobjekt angeschlossen. Achtung, dies gilt nur für Spannungsmessungen. Das Multimeter muss also unbedingt auf einen Spannungsmessbereich eingestellt sein. Falls versehentlich ein Strommessbereich gewählt wurde, stellt die Parallelschaltung einen Kurzschluss dar, der das Messgerät gefährdet.

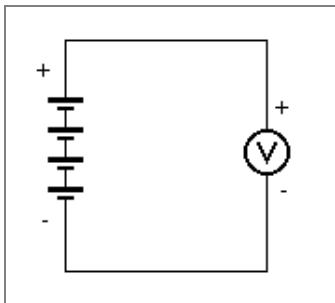


Abb. 9.1: Anschluss eines Voltmeters

Das Analogmultimeter MT-133 von Voltcraft soll für eine Messung der Batteriespannung an vier Mignonzellen eingesetzt werden. Erwartet wird eine Gleichspannung von etwa 6 V. Es wird der Messbereich bis 10 V gewählt. Dann werden die Messkabel an die Anschlüsse des Batteriehalters gehalten. Das rote Kabel wird üblicherweise für den Plusanschluss verwendet. Die Polung muss beachtet werden, damit der Zeiger nicht an den linken Anschlag schlägt.



Abb. 9.2: Spannungsmessung im 10-V-Bereich

Beim Ablesen des Zeigerausschlags muss die Skala für den passenden Messbereich verwendet werden, hier die schwarze Skala mit der Einteilung bis 10 V DC. Das Messergebnis lautet in diesem Fall 5 V. Große Skalenstriche haben einen Abstand von 1 V, während die kleine Teilung für 0,2 V steht. Die erzielbare Ablesegenauigkeit liegt bei etwa 0,1 V. Das Datenblatt gibt eine Genauigkeit von 5 % vom Skalenendwert an. Die Abweichung kann also maximal 0,5 V betragen. Damit liegt die Spannung mit Sicherheit zwischen 4,5 V und 5,5 V. In der Praxis ist die tatsächliche Genauigkeit wesentlich höher.

Das Digitalmessgerät VC120 von Voltcraft muss vor der Messung auf den Messbereich 20 V DC eingestellt werden. Die Anschlussbuchse COM ist der Minusanschluss, die mittlere Buchse der Plusanschluss. Der linke Anschluss »10A« dient nur für Strommessungen. Eine Verpolung der Messkabel ist nicht kritisch, weil das Messgerät auch negative Spannungen anzeigen kann.



Abb. 9.3: Das
Digitalmultimeter

Das Ablesen des digital angezeigten Messwerts ist einfacher als beim analogen Messgerät. Der Messwert (hier 4,94 V) zeigt noch Unterschiede von 1/100 Volt. Die Messgenauigkeit wird mit 0,5 % vom Messwert plus 2 Digits angegeben. Damit sind hier Abweichungen von $0,025\text{ V} + 0,02\text{ V} = 0,045\text{ V}$ möglich. Die Abschätzung des möglichen Fehlers sagt also, dass die Spannung zwischen 4,9 V und 5,0 V liegt.

9.2 Stromstärkemessung

Zur Messung der Stromstärke legt man das Messgerät in Reihe zum Verbraucher. Ein ideales Ampermeter hat selbst keinen Widerstand und beeinflusst den Stromkreis nicht. Ein Ampermeter verhält sich wie eine leitende Verbindung. Der Stromkreis muss an einer Stelle aufgetrennt werden, um dort das Ampermeter einzufügen.

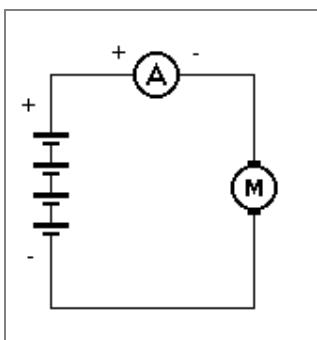


Abb. 9.4: Anschluss des Ampermeters

Abb. 9.4 zeigt die Messung des Stroms durch einen Motor. Der Messbereich soll auf 250 mA beim Analogmultimeter bzw. auf 200 mA beim Digitalmultimeter eingestellt werden. Beim Einschalten zeigt der Motor einen großen Anlaufstrom bis über 100 mA. Sobald die Enddrehzahl erreicht ist, sinkt der Leerlaufstrom auf ca. 20 mA bis 30 mA. Ein leichtes Abbremsen der Motorachse führt zu einem höheren Laststrom. Der Motor stellt also eine variable Last dar, wobei der Strom mit dem Drehmoment steigt.

Bei schnell veränderlichen Größen ist das analoge Zeigermessinstrument wesentlich angenehmer abzulesen als eine digitale Anzeige. Das ist der Grund, warum viele Anwender dem Zeigermessgerät trotz der geringeren Genauigkeit den Vorzug geben.

Achtung, ein Vielfachmessgerät darf in einem Strommessbereich niemals parallel zu einer Batterie angeschlossen werden, weil dies einem Kurzschluss entspricht. Im Fehlerfall fließt ein großer Strom, der die interne Sicherung zerstören oder das Messgerät beschädigen kann. Ausnahmen betreffen explizite Messungen des Kurzschlussstroms von Stromquellen mit hohem Innenwiderstand.

Reale Amperemeter haben einen geringen Widerstand, der bei kleinen Messbereichen ansteigt. Das Analog-Multimeter MT-133 hat z. B. im Messbereich bis 250 mA einen Innenwiderstand von $2,5 \Omega$. Bei Vollausschlag verursacht das Messgerät damit einen Spannungsabfall von 0,625 V. Zusammen mit den Spannungsabfällen an der internen Sicherung und den Messkabeln findet man sogar einen Spannungsabfall von 0,85 V. Der dadurch verursachte Messfehler kann bei vielen Anwendungen nicht vernachlässigt werden. Am Digitalmultimeter VC120 wurde übrigens im 200-mA-Messbereich bei Endausschlag ein Spannungsabfall von 0,54 V gemessen. Im 10-A-Messbereich wurde dagegen bei 200 mA nur noch eine Spannung von 0,017 V zwischen den Anschlussklemmen gemessen. Man hat also die Möglichkeit, auf Kosten der Ablesegenauigkeit einen kleineren Innenwiderstand zu wählen.

9.3 Widerstandsmessung

Mit den Ohm-Messbereichen können Widerstände direkt bestimmt werden. Tatsächlich liefert die Batterie im Messgerät einen Messstrom. Das Messprinzip ist jedoch beim analogen und beim digitalen Multimeter völlig unterschiedlich.

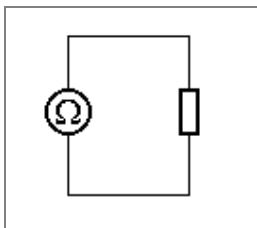
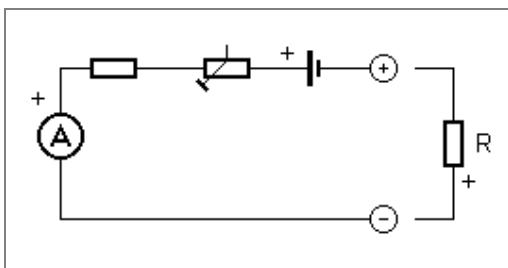


Abb. 9.5: Anschluss eines Ohmmeters

Das analoge Ohmmeter hat eine nicht-lineare Skala und muss vor dem Gebrauch auf Null justiert werden. Dazu hält man beide Messkabel zusammen und betätigt den seitlich angebrachten Einstellregler, bis der Zeiger auf der oberen Skala bei Null steht. Die Einstellung muss bei jedem Messbereichswechsel neu vorgenommen werden.

Messen Sie zunächst alle Widerstände aus dem Lernpaket. Widerstände von $1\ \Omega$ bis etwa $1\ k\Omega$ misst man am besten im unteren Messbereich X $10\ \Omega$, wobei die jeweilige Anzeige mit zehn multipliziert werden muss. Über $1\ k\Omega$ wählt man den Messbereich X $1K$ mit der direkten Anzeige in $k\Omega$.

Abb. 9.6 zeigt die vereinfachte Innenschaltung eines analogen Ohmmeters. Man erkennt, dass eine Strommessung durchgeführt wird. Der Strom ist umgekehrt proportional zum Widerstand. So kommt es zu einer nichtlinearen Skala. Die Innenschaltung zeigt auch, dass der Minusanschluss des Messgeräts tatsächlich der Pluspol der internen Stromquelle ist. Das hat Auswirkungen auf die Messung an Dioden und Transistoren.

Abb. 9.6:
Innenschaltung des
analogen Ohmmeters

Das Digitalmultimeter verwendet ein völlig anderes Prinzip der Widerstandsmessung. Hier wird ein elektronisch stabilisierter Strom durch das Messobjekt geschickt und eine Spannungsmessung durchgeführt. Da der Widerstand proportional zum Spannungsabfall ist, kann das Messergebnis direkt angezeigt werden.

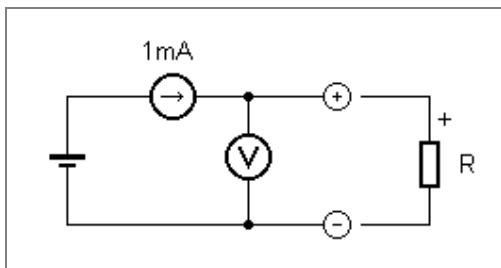


Abb. 9.7: Innenschaltung des digitalen Ohmmeters

Für das Digitalmultimeter wird in Widerstandmessbereichen eine Messgenauigkeit unter 1 % angegeben. Die im Lernpaket vorhandenen Widerstände haben Toleranzen unter 5 %. Bei Probemessungen werden Sie feststellen, dass tatsächlich meist Abweichungen nur bis ca. 1 % auftreten, d. h. die Widerstände können genauer produziert werden als angegeben.



Abb. 9.8: Messung an einem Widerstand mit 470Ω

9.4 Batterietester

Das analoge Messgerät besitzt zwei Messbereiche für den Batterietest an 1,5-V-Zellen und an 9-V-Batterien. Der Test eignet sich nur für grobe Aussagen, ob eine Batterie noch brauchbar ist. Es handelt sich um eine Spannungsmessung bei gleichzeitiger Belastung durch einen Widerstand. So vermeidet man Fehleinschätzungen allein auf Grund der Leerlaufspannung.

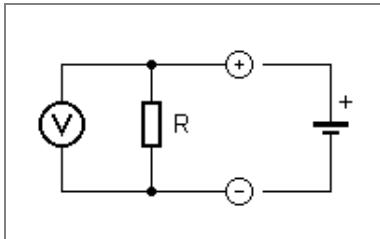


Abb. 9.9: Prinzip des Batterietesters

Der Innenwiderstand beträgt im 1,5-V-Bereich ca. $R = 15 \Omega$, d. h. eine frische Batterie wird mit 100 mA belastet. Ab einer Spannung von 1,2 V wird die Zelle als gut bewertet. Im 9-V-Test beträgt der Innenwiderstand ca. $R = 1,2 \text{ k}\Omega$, der Belastungsstrom liegt also bei etwa 7,5 mA.

Der Batterietester ist ein nützliches Gerät, um einen ersten schnellen Eindruck vom Zustand einer Batterie zu bekommen. Tatsächlich hängt die Brauchbarkeit aber stark von der jeweiligen Anwendung ab. Es kann daher sinnvoller sein, die Spannung direkt im jeweiligen Gerät zu testen. Eine Batterie, die für eine Taschenlampe nicht mehr brauchbar ist, kann in einem Taschenrechner wegen des geringen Strombedarfs noch lange eingesetzt werden.

Das Digitalmultimeter verfügt über keinen Batterietester. Sie können speziell bei 1,5-V-Zellen jedoch einen einfachen Schnelltest durch Bestimmung des Kurzschlussstroms im 10-A-Bereich vornehmen. Dieser Test ist nicht empfehlenswert bei Alkalizellen und bei NiCd-Akkus, die zu hohe Ströme liefern können. Bei einfachen Zink-Kohle-Batterien bringt der Test jedoch brauchbare Aussagen. Eine noch relativ gute Zelle bringt einen Kurzschlussstrom von 0,5 A bis 1 A

9.5 Dioden- und Transistorprüfer

Das Digitalmultimeter verfügt über zwei Messbereiche für den direkten Test von Halbleitern. Der Diodenprüfer arbeitet wie das Ohmmeter, mit dem Unterschied, dass nun ein Zahlenwert angezeigt wird, der etwa der Dioden-Durchlassspannung in mV entspricht. Untersuchen Sie die Si-Diode in Durchlassrichtung und in Sperrrichtung. Sie erkennen die korrekte Ventilwirkung der Diode. In Durchlassrichtung erhalten Sie eine Anzeige von ca. 750, die charakteristisch für diesen Diodentyp ist.

Leistungsdioden und Schottkydioden zeigen geringere Spannungen. LEDs können übrigens nicht geprüft werden, weil ihre Durchlassspannung außerhalb des Messbereichs liegt. In Sperrrichtung zeigt das Messgerät ebenfalls Überlauf an.

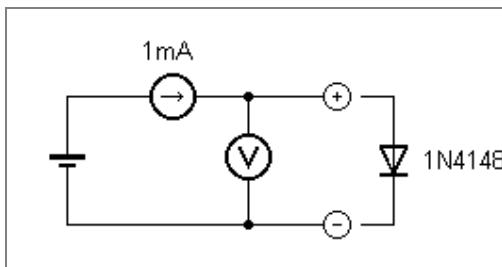


Abb. 9.10: Messung an
Dioden

Der Transistorprüfer des Digitalmultimeters verwendet eine Fassung mit markierten Anschlüssen E, B und C. Es können NPN- und PNP-Transistoren getestet werden. Das Messgerät zeigt den Stromverstärkungsfaktor hFE des Transistors an. Dazu wird ein definierter Basisstrom erzeugt und der Kollektorstrom gemessen.

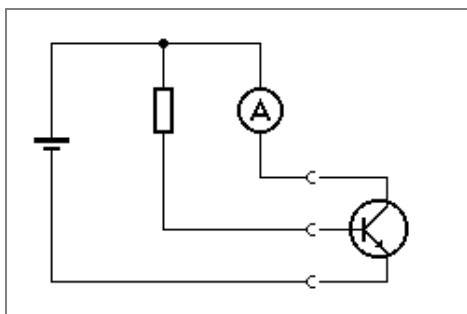


Abb. 9.11: Prinzip der
Transistormessung



Abb. 9.12: Messung der Stromverstärkung hFE

Untersuchen Sie den BC547 aus Ihrem Lernpaket. Der gemessene Stromverstärkungsfaktor sollte über 200 liegen. Vertauschen Sie auch einmal Emitter und Kollektor. Wegen seines symmetrischen Schichtaufbaus funktioniert der Transistor auch invers, wenn auch mit einer sehr viel geringeren Stromverstärkung um 10-fach.

Analoge Multimeter besitzen meist keine speziellen Messbereiche für Diolen und Transistoren. Mit etwas Geschick und Übung kann man jedoch die Bauteile zuverlässig mit dem Ohmmeter prüfen.

10 Messungen im Stromkreis

Spannungen und Ströme in einer Schaltung lassen sich in dem meisten Fällen zuverlässig berechnen. Geeignete Messungen bestätigen die Daten oder helfen bei der Suche nach Fehlern. Entscheidend ist, dass die Vorgänge in Stromkreisen transparent werden.

10.1 Spannung, Stromstärke und Widerstand

Bei einer gegebenen Spannung U kann der Strom I durch einen Verbraucher mit bekanntem Widerstand R nach dem Ohmschen Gesetz leicht berechnet werden. Bei einer Spannung von 6 V und einem Widerstand von $1\text{ k}\Omega$ findet man eine Stromstärke von 6 mA.

$$I = U/R$$

$$I = 6 \text{ V} / 1000 \Omega$$

$$I = 0,006 \text{ A}$$

$$I = 6 \text{ mA}$$

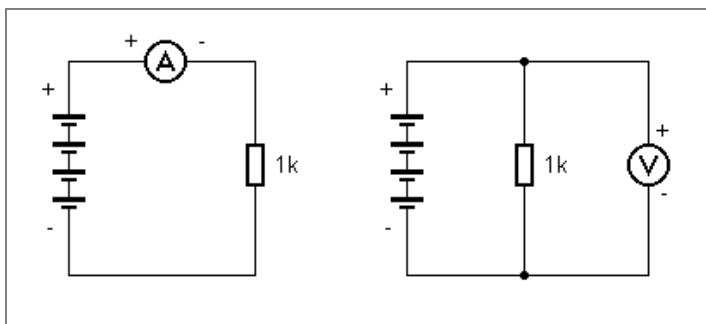


Abb. 10.1: Stromstärke- und Spannungsmessung

Überprüfen Sie das theoretische Ergebnis in der Praxis. Bauen Sie einen Stromkreis mit Batterie und einem $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand auf. Führen Sie eine Messung der Stromstärke und eine Messung der Spannung durch. Mit noch frischen Batterien sollten die theoretischen Werte mit guter Genauigkeit bestätigt werden. Falls die Batteriespannung geringer ist, wird auch die Stromstärke kleiner sein. Sie können dann umgekehrt vorgehen und aus beiden Messwerten den Widerstand berechnen. Bestimmen Sie auch andere Widerstände durch Messungen und Rechnungen.

$$R = U/I$$

$$R = 5,3 \text{ V} / 11 \text{ mA}$$

$$R = 482 \Omega$$

In diesem Beispiel wurde offenbar im Rahmen der Messgenauigkeit der 470-Ohm-Widerstand identifiziert.

Alle anderen Verbraucher in Ihrem Lernpaket besitzen zwar auch Widerstand, er ist allerdings in hohem Maße vom jeweiligen Arbeitspunkt und anderen Bedingungen abhängig. So können Sie z. B. den Widerstand des Elektromotors im Leerlauf bei einer bestimmten Anschlussspannung bestimmen. Unter einer mechanischen Belastung steigt der Strom, der Widerstand wird also geringer. Aus diesem Grund gibt man für Motoren keinen Widerstand, sondern Anschlussspannungen und Stromstärken an. Ähnliches gilt für Leuchtdioden, bei denen der Widerstand stark von der Stromstärke und von der Temperatur abhängt. Außerdem darf eine LED nie ohne zusätzlichen Vorwiderstand an eine Batterie angeschlossen werden, so dass sich eine Messung wie in Abb. 10.1 verbietet.

10.2 Reihenschaltung und Spannungsteiler

Schalten Sie zwei Widerstände mit $1\text{ k}\Omega$ und mit 470Ω in Reihe und messen Sie den Gesamtwiderstand mit dem Ohmmeter. Dabei bestätigt sich das Gesetz der Reihenschaltung: Der Gesamtwiderstand ist gleich der Summe der Teilwiderstände.

$$R = R_1 + R_2$$

$$R = 1\text{ k}\Omega + 0,47\text{ k}\Omega$$

$$R = 1,47\text{ k}\Omega$$

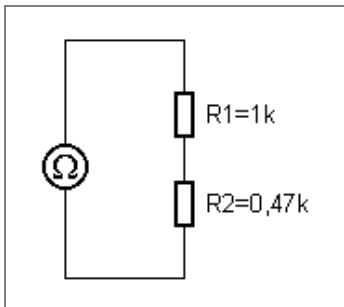


Abb. 10.2: Widerstandsmessung einer Reihenschaltung

Aus dem Gesamtwiderstand und der Anschlussspannung von 6 V kann der Strom durch die Widerstände berechnet werden. In grober Näherung kommt man auf $I=4 \text{ mA}$. Dabei wurde R2 auf $0,5 \text{ k}\Omega$ aufgerundet.

$$I = U / R$$

$$I = 6 \text{ V} / 1,5 \text{ k}\Omega$$

$$I = 4 \text{ mA}$$

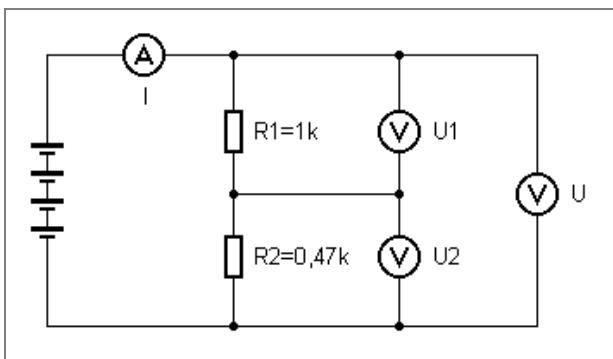


Abb. 10.3: Teilspannungen bei Reihenschaltung

Überprüfen Sie die berechnete Stromstärke und messen Sie die Gesamtspannung. Bei frischen Batterien sollten ein Strom von 1,5 mA und eine Spannung von 6 V gemessen werden. Die Position des Stromstärkemessgeräts im Stromkreis ist beliebig, da an jeder Stelle der gleiche Strom fließt.

Messen Sie dann die Teilspannungen U_1 und U_2 an den Widerständen R_1 und R_2 . Vermutlich finden Sie etwa $U_1 = 4 \text{ V}$ und $U_2 = 2 \text{ V}$. Die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung.

$$U = U_1 + U_2$$

Jede der Teilspannungen lässt sich aus der Stromstärke und dem Teilwiderstand berechnen.

$$U_1 = I * R_1$$

$$U_1 = 4 \text{ mA} * 1 \text{ k}\Omega$$

$$U_1 = 4 \text{ V}$$

Für U_2 ergibt sich entsprechend eine Teilspannung von 2 V. Das Verhältnis der Einzelwiderstände entspricht also dem Verhältnis der Teilspannungen.

Wiederholen Sie alle Berechnungen ohne Näherung, also mit den genaueren Werten $R_1 = 1000 \Omega$ und $R_2 = 470 \Omega$. Mit einem Digitalmultimeter sollten alle berechneten Werte mit guter Genauigkeit bestätigt werden. Bei der Abschätzung möglicher Fehlerquellen muss die Toleranz der Widerstände und des Multimeters berücksichtigt werden. Insgesamt sollten die Abweichung wenige Prozent nicht übersteigen. Bei Verwendung eines analogen Messgeräts kommen noch die Ablesefehler hinzu. Eine weitere Fehlerquelle ergibt sich aus dem endlichen Innenwiderstand der Messgeräte im Spannungsmessbereich. Die bisherigen Berechnungen gehen davon aus, dass das Messgerät selbst die Ergebnisse nicht beeinflusst. Tatsächlich muss man aber davon ausgehen, dass jede Messung das Ergebnis mehr oder weniger stark verändert.

10.3 Parallelschaltung von Widerständen

Bauen Sie einen Stromkreis mit einer Parallelschaltung aus zwei Widerständen mit je $1 \text{ k}\Omega$ auf. Messen Sie die Teilströme I_1 und I_2 und den Gesamtstrom I . Bei einer Batteriespannung von 6 V werden Sie folgende Ergebnisse finden: $I_1 = 6 \text{ mA}$, $I_2 = 6 \text{ mA}$ und $I = 12 \text{ mA}$.

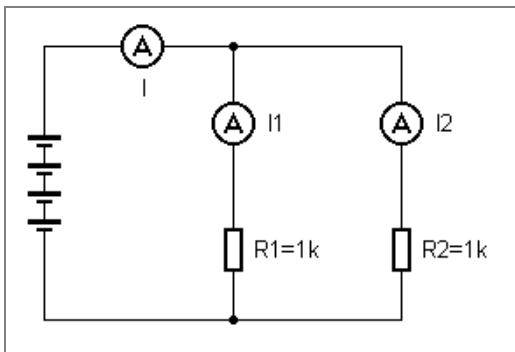


Abb. 10.4:
Stromstärken im
Parallelstromkreis

Allgemein gilt für die Parallelschaltung von Verbrauchern, dass die Summe der Teilströme gleich dem Gesamtstrom ist.

$$I = I_1 + I_2$$

Für die Parallelschaltung von Widerständen kann man einen Ersatzwiderstand angeben, durch den der gleiche Strom fließt. In diesem Fall beträgt der Ersatzwiderstand 500Ω .

$$R = U/I$$

$$R = 6 \text{ V} / 12 \text{ mA}$$

$$R = 0,5 \text{ k}\Omega$$

Ersetzen Sie die Parallelschaltung durch einen einzelnen Widerstand mit 470Ω . Der Strom I wird nur unwesentlich größer sein ($12,8 \text{ mA}$). Damit ist umgekehrt klar, dass ein Widerstand von 470Ω mit guter Genauigkeit durch eine Parallelschaltung aus zwei Widerständen mit je $1 \text{ k}\Omega$ ersetzt werden kann.

Allgemein gilt für die Parallelschaltung von Widerständen:

$$R = 1 / (1/R_1 + 1/R_2 + \dots)$$

Berechnen Sie den Ersatzwiderstand R für eine Parallelschaltung von zwei ungleichen Widerständen 470Ω und 1000Ω . Die Lösung ist $319,7 \Omega$. Überprüfen Sie dieses Ergebnis mit dem Ohmmeter.

10.4 Messfehler

Bisher wurde davon ausgegangen, dass die Messung das Messergebnis selbst nicht beeinflusst. Das wäre aber nur dann der Fall, wenn das Voltmeter einen unendlich großen Widerstand und das Amperemeter den Widerstand Null hätte. Tatsächlich aber hat das Messgerät in allen Messbereichen endliche Innenwiderstände.

Bauen Sie einen Reihenstromkreis mit zwei Widerständen von je $100\text{ k}\Omega$ auf und messen Sie die Gesamtspannung und die Teilspannung. Nach den Gesetzen der Reihenschaltung sollte an jedem der Widerstände die halbe Gesamtspannung liegen. Die Teilspannung ist also 3 V, wenn die Batteriespannung 6 V beträgt. Tatsächlich messen Sie aber eine geringere Teilspannung.

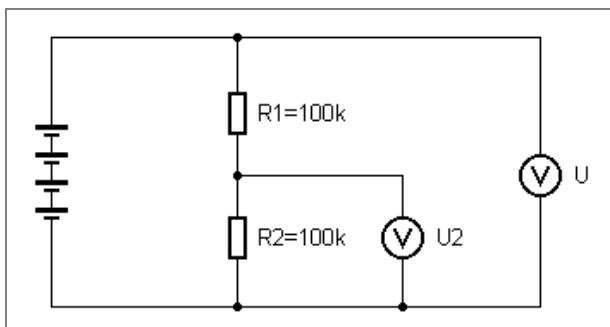


Abb. 10.5: Messfehler bei der Spannungsmessung

Das Analogmultimeter MT-133 besitzt in den Gleichspannungsmessbereichen einen Innenwiderstand von $2\text{ k}\Omega$ pro Volt, also $20\text{ k}\Omega$ im 10-V-Messbereich. Das Messgerät selbst stellt also einen Widerstand dar, der parallel zum Messobjekt liegt. In diesem Fall ergibt die Parallelschaltung von $100\text{ k}\Omega$ und $20\text{ k}\Omega$ einen Widerstand von $16,7\text{ k}\Omega$. Satt der erwarteten Teilspannung von 3 V messen Sie weniger als 1 V.

Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse bei einer Messung mit dem Digitalmultimeter VC120. Der Innenwiderstand beträgt bei Gleichspannungsmessung unabhängig vom Messbereich immer $10\text{ M}\Omega$. $100\text{ k}\Omega$ parallel zu $10\text{ M}\Omega$ ergibt ca. $99\text{ k}\Omega$, also eine Abweichung von 1 %. Die gemessene Teilspannung sinkt damit von 3,0 V auf 2,985 V. Allgemein

sind die Messfehler dann gering, wenn der Innenwiderstand des Voltmeters erheblich über dem des Messobjekts liegt.

Eine andere Art Messfehler tritt bei Stromstärkemessungen auf. Am Messgerät selbst tritt ein Spannungsabfall auf, der von der Stromstärke und dem Innenwiderstand abhängt. Diese Spannungsabfall liegt bei Vollausschlag bei ca. 0,85V (MT-133, 250 mA) bzw. 0,54 V (VC120, 200 mA). In den kleineren Messbereichen ist der Innenwiderstand entsprechend größer, der Spannungsabfall bleibt also in gleicher Größenordnung. Der Messfehler muss im Verhältnis zur Anschlussspannung beurteilt werden und kann bei einer Batteriespannung von 6 V bis über 10 % betragen.

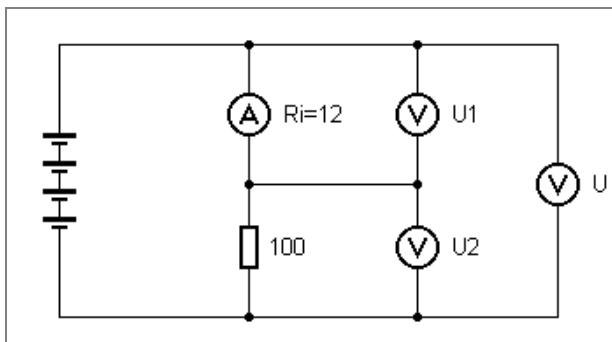


Abb. 10.6: Messfehler bei Stromstärkemessung

Abb. 10.6 zeigt ein Beispiel für einen durch ein Amperemeter verursachten Messfehler. Bei $U = 6 \text{ V}$ und $R = 100 \Omega$ erwartet man einen Strom von $I = 60 \text{ mA}$. Ein Amperemeter mit dem Innenwiderstand von 12Ω zeigt aber nur $53,6 \text{ mA}$. Am Messgerät entsteht ein Spannungsabfall $U_1=0,64 \text{ V}$, am Widerstand liegt nur noch $U_2=5,36 \text{ V}$.

10.5 Innenwiderstand einer Spannungsquelle

Eine ideale Spannungsquelle liefert eine konstante Spannung auch bei unterschiedlicher Belastung. Diese Forderung ist weitgehend erfüllt bei stabilisierten Netzgeräten. Die meisten Batterien zeigen jedoch ein anderes Verhalten: Die Spannung sinkt bei steigender Belastung mehr oder

weniger ab. Man kann für eine reale Spannungsquelle ein Ersatzschaltbild angeben, das aus einer idealen Spannungsquelle und einem zusätzlichem Widerstand besteht. Dieser »Innenwiderstand« muss nicht konstant sein, sondern kann sich je nach Betriebszustand verändern. Eine übliche Zink-Kohle-Batterie zeigt z. B. nach längerem Einsatz einen steigenden Innenwiderstand.

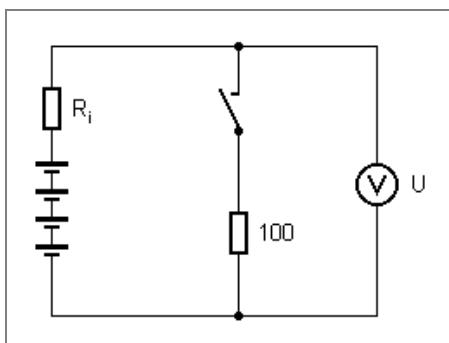


Abb. 10.7: Innenwiderstand einer Spannungsquelle

Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 10.7 auf, wobei der Innenwiderstand R_i als gedachter Widerstand in der Batterie verstanden werden soll. Messen Sie die Leerlaufspannung und die Spannung unter Belastung, also bei eingeschaltetem Widerstand. Die Messung liefert indirekt den Spannungsabfall im Innenwiderstand R_i .

Die Leerlaufspannung sei z. B. 6,0 V, die Spannung unter Belastung sei 5,0 V. Der Spannungsabfall am Innenwiderstand beträgt also 1,0 V bei einem Laststrom von 50 mA ($I=5V/100\Omega$). Damit kann der Innenwiderstand bestimmt werden:

$$R_i = 1 \text{ V} / 50 \text{ mA}$$

$$R_i = 20 \Omega$$

Untersuchen Sie verschiedene Batterien, Akkus und Netzgeräte. Bestimmen Sie den jeweiligen Innenwiderstand. Oft kann der Innenwiderstand als Maß für die Brauchbarkeit einer Spannungsquelle verwendet werden. NiCd-Akkus zeichnen sich durch einen geringen Innenwiderstand aus, der erst gegen Ende der Entladungsphase deutlich ansteigt. Ähnlich verhalten sich Alkalibatterien, während der Innen-

widerstand von Zink-Kohlebatterien mit dem Gebrauch allmählich ansteigt. Bei der Beurteilung des Zustands einer Batterie ist die Messung der Leerlaufspannung oft wenig aussagekräftig, wohl aber die Messung der Klemmenspannung mit einer typischen Belastung, weil der Spannungsabfall im Innenwiderstand dann mitgemessen wird.

Untersuchen Sie auch vorhandene Netzgeräte. Nicht stabilisierte Netzgeräte zeigen oft einen relativ hohen Innenwiderstand. Die angegebene Ausgangsspannung bezieht sich auf den Nennstrom. Im Leerlauf findet man daher eine erheblich größere Spannung. Ein einfaches 12-V-Steckernetzteil kann z. B. im Leerlauf über 20 V abgeben.

10.6 Diodenkennlinien

Halbleiterbauelemente sind nicht-lineare Bauelemente, d. h. sie haben keinen konstanten Widerstand. Stromstärke und Spannung stehen in keinem linearen Zusammenhang. Bei einer Diode in Durchlassrichtung steigt der Strom ab einer gewissen Spannung steil an. Abb. 10.8 zeigt den typischen Verlauf der Kennlinien für eine Siliziumdiode und eine rote LED.

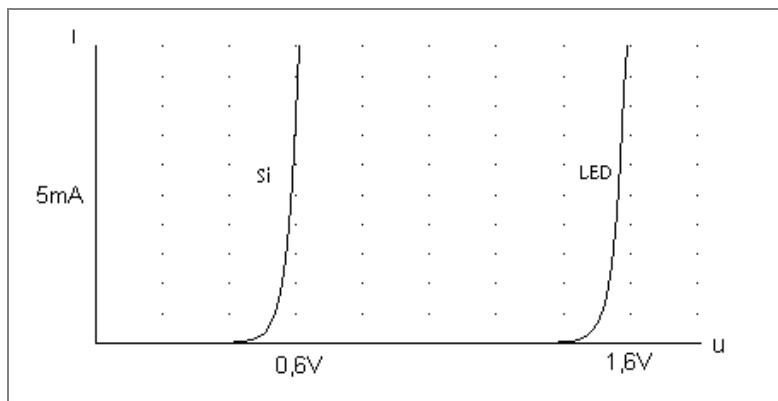


Abb. 10.8: Typische Dioden-Kennlinien

Der Anstieg des Stroms ist bei einer idealen Diode streng exponentiell, wobei jede Erhöhung der Spannung um 0,03 V den Strom etwa verdoppelt. Ein zehnfacher Strom stellt sich bei einer Erhöhung der Spannung um 60 mV bis 120 mV ein. Zugleich verschiebt sich die Kennlinie mit steigender Temperatur hin zu kleineren Spannungen bzw. zu größeren Strömen. Eine Temperaturerhöhung um 10 Grad verdoppelt den Diodenstrom. Aus diesem Grund ist es grundsätzlich ungünstig, eine konstante Spannung an eine LED zu legen.

Untersuchen Sie die Si-Diode 1N4148 bei verschiedenen Stromstärken. Abb. 10.9 zeigt einen möglichen Messaufbau. Setzen Sie alle verfügbaren Widerstände ein. Messen Sie jeweils die Diodenspannung und die Spannung am Widerstand, aus der der Strom im Stromkreis bestimmt werden kann.

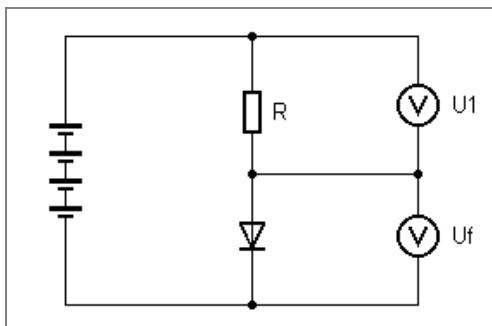


Abb. 10.9: Messung
der Kennlinie

Tatsächlich könnte man die jeweilige Stromstärke auch direkt messen. Das bietet sich an, wenn man zwei Messgeräte gleichzeitig einsetzen kann. Mit nur einem Messgerät ist es aber bequemer, nur Spannungen zu messen, weil dann die Umschaltung des Messbereichs entfällt und man den Stromkreis nicht unterbrechen muss. Die folgende Tabelle zeigt einige typische Messergebnisse für die untersuchte Si-Diode.

Tabelle 10.1: Messergebnisse an einer Si-Diode

R	U_1	I	U_f
100 k Ω	5,5 V	0,055 mA	0,480 V
1 k Ω	5,3 V	5,3 mA	0,705 V
470 Ω	5,25 V	11,2 mA	0,742 V
100 Ω	5,15 V	51,5 mA	0,845 V

Tragen Sie diese oder Ihre eigenen Messwerte in ein Diagramm ein. Die Messungen zeigen relativ deutlich eine typische Diodenkennlinie. Vergleicht man die Messungen bei $R = 1 \text{ k}\Omega$ und bei $R = 470 \Omega$, findet man etwa eine Verdoppelung des Diodenstroms. Die Durchlassspannung steigt dabei um 37 mV. Zwischen 100 k Ω und 1 k Ω ergibt sich eine Stromänderung etwa um den Faktor 100. Die Spannung ändert sich in diesem Bereich um 225 mV. Bei einem streng logarithmischen Verlauf käme man auf ca. 113 mV pro Dekade. Bei $R = 100 \Omega$ und $I = 50 \text{ mA}$ würde man also eine Spannung von $0,705 \text{ V} + 0,113 \text{ V} = 0,818 \text{ V}$ erwarten. Tatsächlich ist die Spannung aber um 27 mV höher. Das weist auf einen ohmschen Widerstand hin, der in Reihe zu einer gedachten idealen Diode liegt. Tatsächlich hat jede Diode einen gewissen Bahnwiderstand, der sich wie ein ohmscher Widerstand verhält. In diesem Fall liegt der Bahnwiderstand bei etwa 0,5 Ω .

Der Bahnwiderstand führt dazu, dass eine reale Diodenkennlinie bei großen Strömen in eine Gerade übergeht, deren Steigung gewissen Streuungen unterliegt. Abb. 10.10 zeigt Kennlinien zur 1N4148 aus dem Datenblatt der Firma Philips. Hier erkennt man auch eine deutliche Verschiebung bei hoher Temperatur.

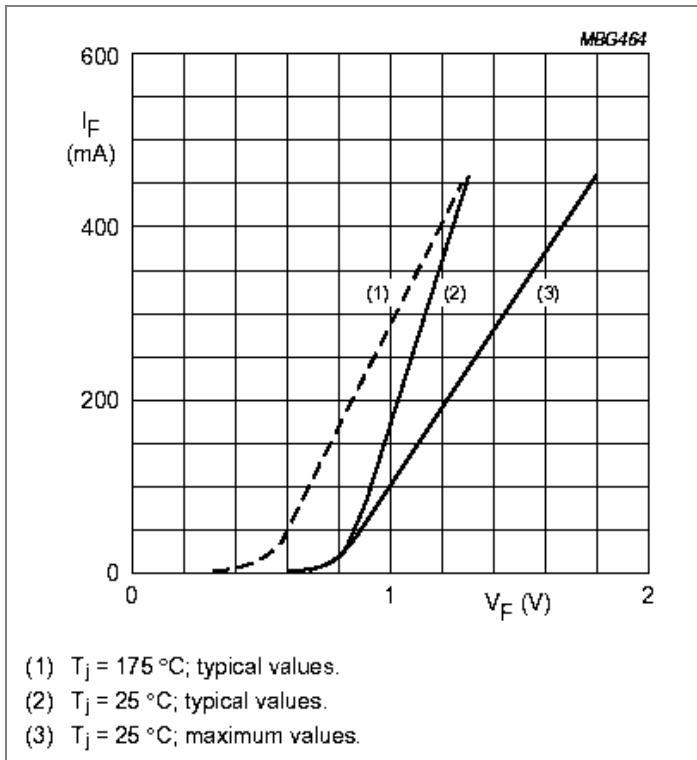


Abb. 10.10: Kennlinien bei großen Strömen (Quelle: Philips)

Führen Sie Messungen an den farbigen LEDs im Lernpaket durch. Abb. 10.11 zeigt Kennlinien für die rote und die grüne LED. Man erkennt die typische Diodenkennlinie, die allerdings im Vergleich zu der einer Si-Diode zu höheren Spannungen hin verschoben ist. Die Messungen zeigen unterschiedliche Spannungen für rote und grüne LEDs.

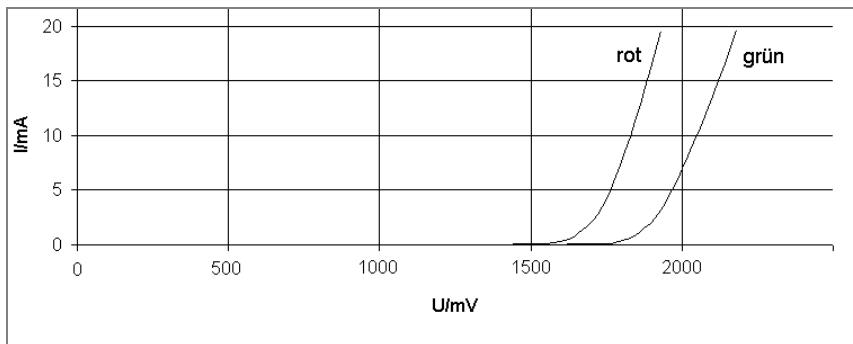


Abb. 10.11: Kennlinien der roten und der grünen LED

Untersuchen Sie die Temperaturabhängigkeit der Durchlassspannung der Siliziumdiode 1N4148 mit dem Messaufbau nach Abb. 10.12. Schon die leichte Erwärmung durch eine Berührung mit dem Finger reicht, um die Spannung um einige Millivolt zu verringern.

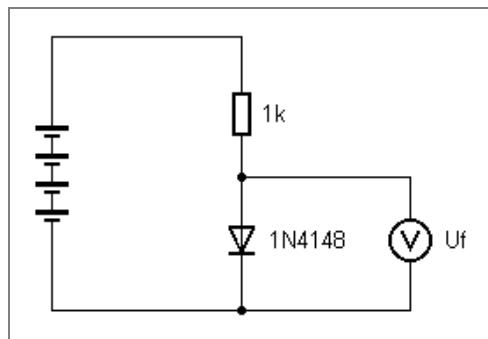


Abb. 10.12: Messung zur Temperaturabhängigkeit

Der Temperaturkoeffizient einer Diode beträgt ca. $-2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$. Sie können die Diode daher als Temperatursensor einsetzen. Bei einer Umgebungstemperatur von 20°C wurde eine Durchlassspannung von 706 mV gemessen. Durch die Handwärme sank die Spannung auf 688 mV. Die Differenz von 18 mV zeigt also, dass die Temperatur um 9°C erhöht wurde, d. h. die Handtemperatur betrug rund 29°C .

Erwärmen Sie die Diode vorsichtig mit einer Feuerzeugflamme. Die maximal erlaubte Temperatur für eine Si-Diode beträgt 175°C . Wenn

man zur Vorsicht nicht über 150 °C hinausgeht, darf die Spannung um maximal 300 mV sinken. Vermeiden Sie also eine Erwärmung, bei der die Diodenspannung unter 400 mV sinkt.

Untersuchen Sie auch die Temperaturabhängigkeit der Durchlassspannung einer roten LED. Wegen des Kunststoffgehäuses ist die Wärmeübertragung schwieriger. Die Handwärme bringt aber einen gut messbaren Effekt. Eine Erwärmung mit einer Flamme scheidet aus, weil der Kunststoff anschmelzen könnte. Sie können aber einen Draht um den Kathodenanschluss wickeln und diesen mit einer Flamme erwärmen. Auf diese Weise ist auch bei der LED eine Verringerung der Durchlassspannung um ca. 100 mV feststellbar.

Schließen Sie eine rote LED ohne Vorwiderstand an eine frische 1,5-V-Zelle an. Die Spannung beträgt 1,5 V bis ca. 1,6 V. Bei Raumtemperatur fließt gerade ein geringer Strom. Die LED leuchtet schwach. Bei einer vorsichtigen Erwärmung leuchtet die LED deutlich heller. Der Effekt ist bereits bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C erkennbar. Praktisch wird die Diodenkennlinie durch die höhere Temperatur etwas nach links verschoben, so dass bei gleicher Anschlussspannung ein größerer Strom fließt.

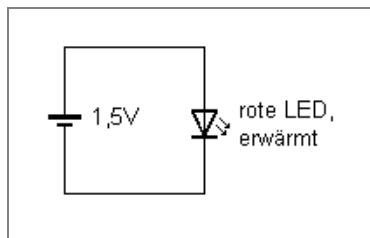


Abb. 10.13: Versuch zur Temperaturabhängigkeit

Die Versuche zeigen, dass man ohne einen Vorwiderstand kaum einen definierten LED-Strom erreichen kann. Ein Vorwiderstand wirkt stabilisierend, weil eine Änderung der Diodenspannung zwar auch den Spannungsabfall am Widerstand verändert, sich aber bei ausreichend großem Spannungsabfall nur gering auswirkt.

Jede Diode besitzt einen gewissen Bahnwiderstand. Das gilt auch für LEDs. Ihr Bahnwiderstand ist bei einigen Typen ausreichend groß, um einen externen Vorwiderstand zu ersetzen. Man findet daher LED-

Anwendungen ohne Vorwiderstand. LED-Taschenlampen arbeiten oft mit drei Zellen ohne Vorwiderstand direkt an 4,5 V. Dies ist aber nicht mit jeder weißen LED möglich. Die Herstellerkennlinie der weißen LED aus dem Lernpaket zeigt eine maximale erlaubte Anschlussspannung von ca. 3,7 V beim höchsten erlaubten Strom von 25 mA.

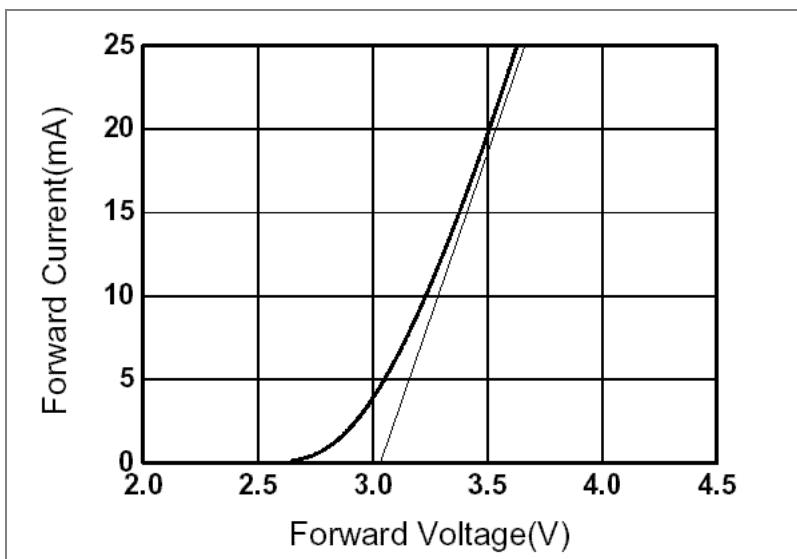


Abb. 10.14: Kennlinie einer superhellen weißen LED

In die Kennlinie des Herstellers wurde eine Hilfsgerade eingezeichnet, um den Bahnwiderstand der Diode zu bestimmen. Eine Spannungsdifferenz von 0,5 V führt zu einem Stromanstieg um 20 mA. Daraus ergibt sich ein Widerstand von 25Ω ($R=0,5 \text{ V}/0,02 \text{ A}$). Vereinfacht kann man also sagen, dass ein Vorwiderstand von 25Ω bereits in die LED eingebaut ist. Das ist der Grund, warum der Betrieb ohne Vorwiderstand an einer konstanten Spannung funktionieren kann.

Die verwendete weiße LED dürfte keinesfalls direkt an eine Batterie mit 4,5 V angeschlossen werden. Die Kennlinie legt allerdings nahe, dass ein Betrieb an 3 V möglich ist, wenn nicht die maximale Helligkeit benötigt wird. Tatsächlich zeigt ein Versuch, dass der Betrieb an 3 V möglich ist.

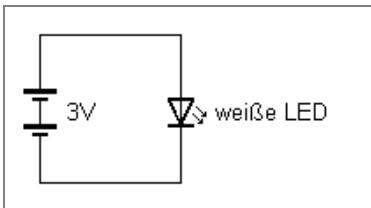


Abb. 10.15: Eine weiße LED ohne Vorwiderstand

10.7 Messungen an LED-Schaltungen

Untersuchen Sie auch komplexe LED-Schaltungen mit dem Messgerät. Grundsätzlich können alle Teilspannungen und die Ströme gemessen werden. Man kommt jedoch meist mit reinen Spannungsmessungen aus, weil Ströme sich leicht aus den Spannungsabfällen an Widerständen berechnen lassen.

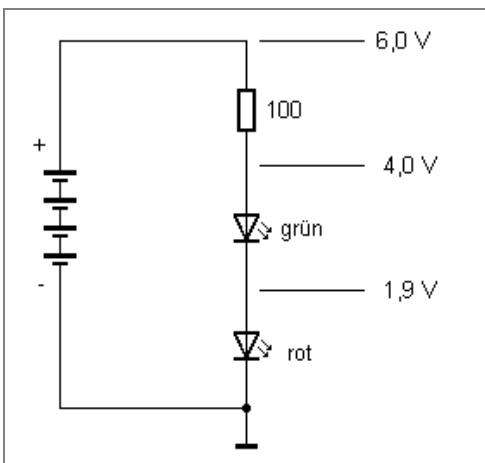


Abb. 10.16:
Die Reihenschaltung mit zwei LEDs

Untersuchen Sie eine Reihenschaltung mit zwei LEDs und einem Vorwiderstand. Bei der Messung kann der Minusanschluss des Voltmeters mit Masse bzw. dem Minusanschluss der Batterie verbunden bleiben. Sie messen also Spannungen gegen einen gemeinsamen Bezugspunkt. Die

Teilspannungen ergeben sich aus den Spannungsdifferenzen. Es wurden folgende Messwerte gefunden:

Batteriespannung: 6,0 V

Spannung an der roten LED: 1,9 V

Spannung an der grünen LED: 2,1 V

Spannung am Vorwiderstand: 2,0 V

Aus dem Spannungsabfall von 2 V und dem Vorwiderstand mit 100Ω kann der Strom von 20 mA berechnet werden ($I = 2 \text{ V} / 100 \Omega$). In diesem Fall wird also gerade der empfohlene Diodenstrom erreicht.

Auch die Funktion der Parallelschaltung aus Kap. 5.2 lässt sich mit einer Spannungsmessung genauer untersuchen. Messen Sie dazu die Spannung an der grünen LED.

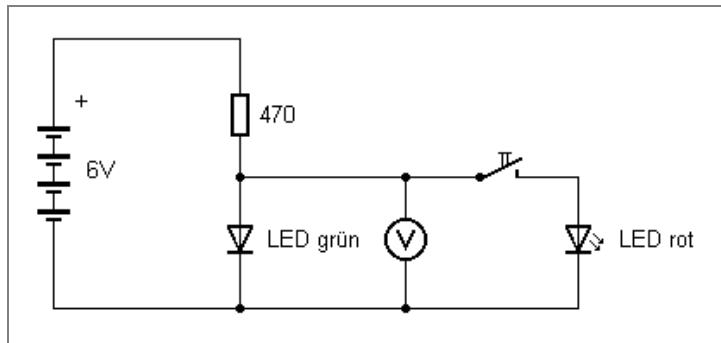


Abb. 10.17: Messung der LED-Spannungen

Bei geöffnetem Schalter wurde an der grünen LED eine Spannung von 2,0 V gemessen. Mit geschlossenem Schalter verringerte sich die Spannung auf 1,8 V. Ursache ist die Lage der Kennlinien beider LEDs. In der Parallelschaltung fließt der Strom überwiegend durch die rote LED, die damit die Diodenspannung bestimmt. Die grüne LED leuchtet bei der geringeren Spannung kaum noch.

Untersuchen Sie noch weitere Schaltungsvarianten. Testen Sie unterschiedliche Vorwiderstände und Betriebsspannungen. Mit Hilfe der

Diodenkennlinien und einfachen Berechnungen sollten sich alle Messergebnisse auch theoretisch bestätigen lassen.

10.8 Messungen an einer Transistor-Schaltstufe

In Transistorschaltungen müssen grundsätzlich mindestens zwei Stromkreise betrachtet werden, ein Steuerstromkreis mit dem Basisstrom und ein Laststromkreis mit dem Kollektorstrom. Der Basisstrom steuert den Kollektorstrom, d. h. ohne Basisstrom fließt auch kein Kollektorstrom.

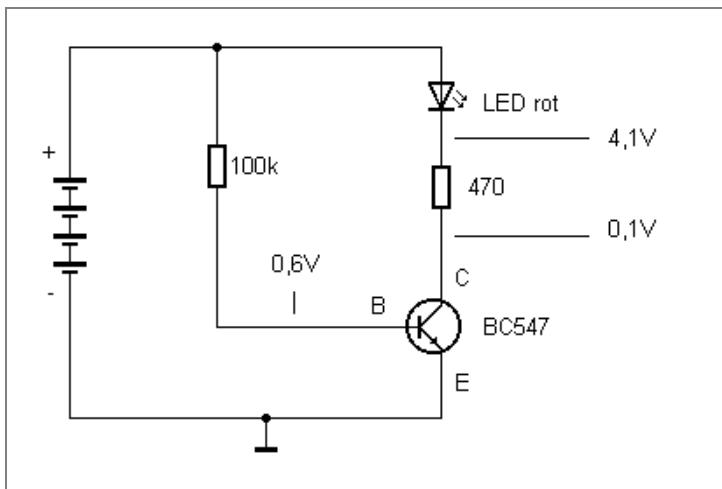


Abb. 10.18: Messung der Basis- und Kollektorspannung

Untersuchen sie die Transistor-Schaltstufe aus Kap. 8.2 genauer. Auch hier reichen reine Spannungsmessungen. Bei geschlossenem Schalter wurden bei einer Betriebsspannung von 6 V folgende Messergebnisse gefunden:

Spannung zwischen Basis und Emitter U_{be} : 0,6 V

Spannung zwischen Kollektor und Emitter U_{ce} : 0,1 V

Spannung an der LED: 1,9 V

Zwischen Basis und Emitter des Transistors liegt eine Diode, die in Durchlassrichtung sehr ähnliche Daten besitzt wie die Si-Diode 1N4148. Man kann also immer von einer Basisspannung von ca. 0,6 V ausgehen. Am Basiswiderstand liegt damit eine Spannung von 5,4 V. Der Basisstrom beträgt damit ca. 0,054 mA ($I = 5,4 \text{ V} / 100 \text{ k}\Omega$).

Die geringe Kollektor-Emitter-Restspannung zeigt, dass der Transistor in diesem Zustand praktisch vollständig durchgeschaltet ist. Die LED ist also eingeschaltet. Der Kollektorstrom lässt sich aus dem Spannungsabfall von 4,0 V ($U = 6 \text{ V} - 0,1 \text{ V} - 1,9 \text{ V}$) am Vorwiderstand der LED mit $I_c = 8,5 \text{ mA}$ ($I_c = 4,0 \text{ V} / 470 \Omega$) berechnen. Der Transistor arbeitet mit einer Stromverstärkung von $8,5 \text{ mA} / 0,054 \text{ mA} = 157$ -fach.

11 Anhang

Material im Lernpaket

- 1 Batteriefach
- 10 Krokodilkabel
- 1 Motor 1V bis 12V
- 1 Leuchtdiode, rot
- 1 Leuchtdiode, grün
- 1 Leuchtdiode, superhell weiß
- 1 Transistor BC547B
- 1 Diode 1N4148
- 1 Elektrolytkondensator 22 µF
- 1 Elektrolytkondensator 100 µF
- 2 Widerstände 47 Ω
- 2 Widerstände 100 Ω
- 2 Widerstände 470 Ω
- 2 Widerstände 1 kΩ
- 2 Widerstände 100 kΩ



Das Franzis Lernpaket

Einstieg in die Elektronik

Entdecken Sie die Welt der Elektronik! Mit diesem Lernpaket schaffen Sie den mühe-losen Einstieg. Ganz ohne Vorkenntnisse, ohne Lötkolben und ohne Technik-Kauder-welsch gelingen Ihnen Grundlagenexperimente und -schaltungen.

Elektronik Stück für Stück erfahren

Dieses Experimentierpaket enthält 20 Bauteile, Prüfkabel, Software und eine Experimentieranleitung. Damit bauen Sie schnell und bequem Schaltungen auf, testen sie und entwickeln Ihre eigenen Ideen. Nur noch vier 1,5-V-Batterien dazugeben und Sie legen gleich los. Schon bald bauen Sie komplexe Schaltungen mit Schaltern, Dioden, Widerständen, LEDs, Kondensatoren und einem Transistor im Experiment nach.

Wissen mit Mehrwert

Einfache Grundschaltungen, der Umgang mit Schaltsymbolen und Schaltbildern, elektrische Messgrößen und -einheiten? Alles kein Problem!

Projekte, die wirklich funktionieren!

Dieses Franzis-Lernpaket zeichnet sich durch hohe Qualität und leichte Umsetzbarkeit auch für Einsteiger aus. Alle Experimente wurden auf ihre Praxistauglichkeit getestet und tausendfach durchgespielt. Dieses Franzis-Lernpaket hält, was es verspricht: Projekte, die wirklich funktionieren!

Diese Projekte warten auf Sie:

- Berührungssensor
- Dynamolampe
- Elektroheizung
- Elektromotor
- LED-Blitzlicht
- LED-Lampen
- Logik-Schaltungen
- Nachlaufsteuerung
- Prüfgeräte
- ...und vieles mehr!

Die Bauteile im Überblick



FRANZIS

Zusätzlich erforderlich: Vier 1,5-V-Batterien (Typ AA)

Bücher, Elektronik, Software und mehr unter www.franzis.de

Für Kinder unter 14 Jahren nicht geeignet!

© 2020 Franzis Verlag GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, D-85540 Haar b. München · Innovationen, Irrtümer und Druckfehler vorbehalten. 2020/01

Hergestellt in P.R. China



WEEE-REG.-NR.:
DE 21445697

ISBN 978-3-645-65196-7



9 783645 651967