

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

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Der elektrische Stromkreis.....</b>	<b>13</b>
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
<b>3</b>	<b>Leuchtdioden.....</b>	<b>27</b>
3.1	Eine LED-Lampe .....	27
3.2	Vorwiderstände.....	28
3.3	Untersuchung der Mindestspannung .....	31
3.4	Steigerung der Effizienz .....	32
<b>4</b>	<b>Schalter .....</b>	<b>37</b>
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
<b>5</b>	<b>Parallel- und Reihenschaltung .....</b>	<b>49</b>
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
<b>6</b>	<b>Elektromagnetismus und Induktion .....</b>	<b>57</b>
6.1	Dynamo-Taschenlampe.....	57
6.2	Drehrichtungsanzeige .....	59
6.3	Induktion und EMK.....	59
<b>7</b>	<b>Der Kondensator .....</b>	<b>63</b>
7.1	Blitzlicht .....	63
7.2	Laden und entladen .....	64
7.3	Wechsel-Blitzlicht .....	65
7.4	Dynamo-Blitzlampe.....	66
<b>8</b>	<b>Der Transistor .....</b>	<b>67</b>
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
<b>9</b>	<b>Messgeräte.....</b>	<b>77</b>
9.1	Spannungsmessung .....	77
9.2	Stromstärkemessung .....	81
9.3	Widerstandsmessung .....	82
9.4	Batterietester.....	85
9.5	Dioden- und Transistorprüfer .....	86
<b>10</b>	<b>Messungen im Stromkreis .....</b>	<b>89</b>
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
<b>Anhang.....</b>		<b>109</b>



# 1 Einleitung

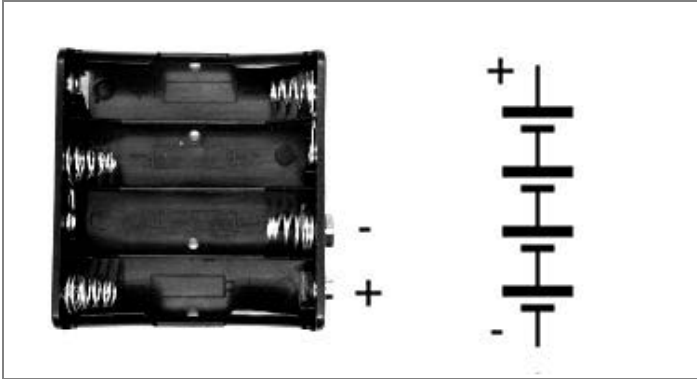
Dieses Lernpaket wurde zusammengestellt, um Ihnen einen leichten Start in die Elektronik zu ermöglichen. Die wichtigsten Bauteile und die wichtigsten Informationen in kompakter Form ermöglichen einen optimalen Einstieg. Führen Sie einfache Experimente aus, und erlernen Sie dabei die Grundlagen.

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



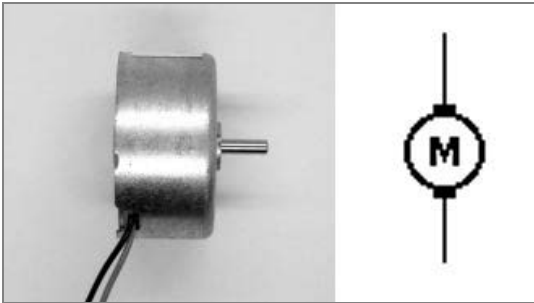
**Abb. 1.1:** Batteriefach und Schaltsymbol der Batterie

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.

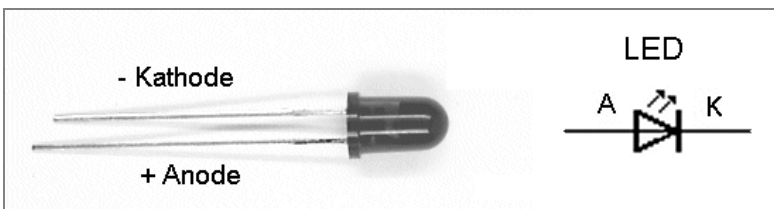




**Abb. 1.2:** Der Elektromotor

### Leuchtdioden

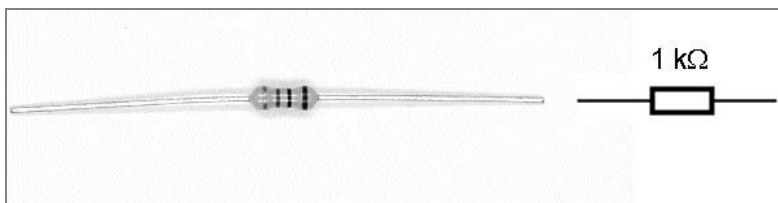
Das Lernpaket enthält eine rote, eine grüne und eine superhelle weiße LED. Bei LEDs muss die Polung beachtet werden. Der Minus-Anschluss heißt Kathode und liegt am kürzeren Anschlussdraht. Der Plus-Anschluss ist die Anode. Im Inneren der LED erkennt man einen kelchartigen Halter für den LED-Kristall, 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 Farbringen.



**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 ( $\Omega$ ). 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 $\Omega$	gelb, violett, schwarz
100 $\Omega$	braun, schwarz, braun
470 $\Omega$	gelb, violett, braun
1 k $\Omega$	braun, schwarz, rot
100 k $\Omega$	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 ( $\mu\text{F}$ ) 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-

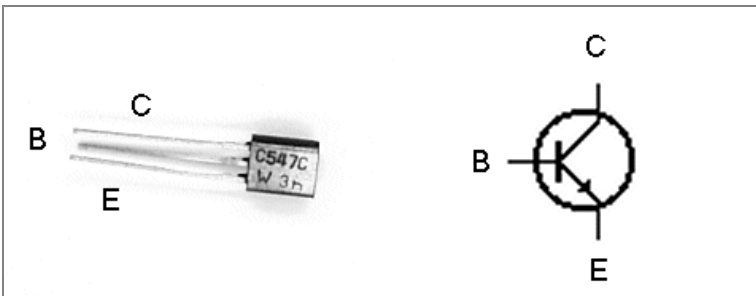
zeichnet und hat einen kürzeren Anschlussdraht. Das Lernpaket enthält einen Elko mit  $100\ \mu\text{F}$  und einen mit  $22\ \mu\text{F}$ .



**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.

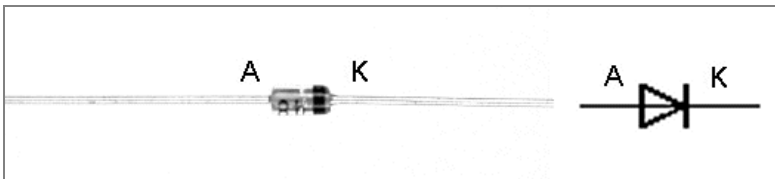


**Abb. 1.6:** Der Transistor

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 Lernpakt 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 Farbringen 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.

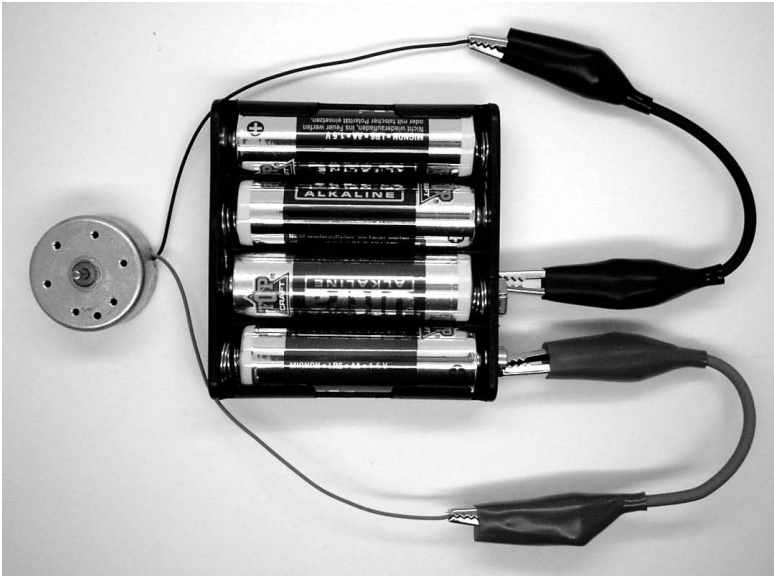
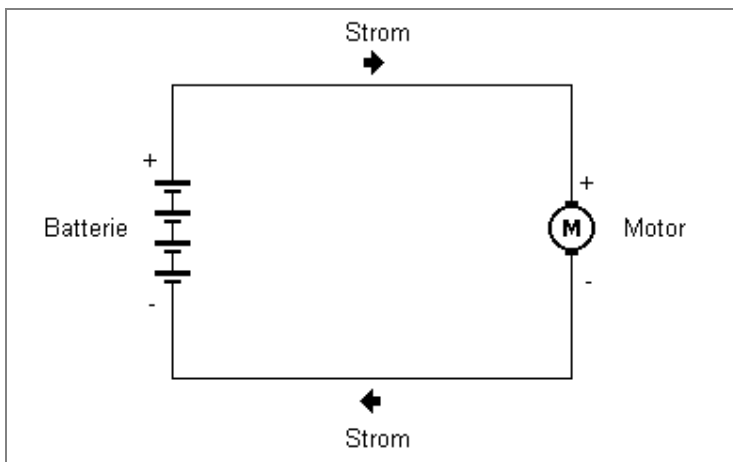


Abb. 2.2: Ein Stromkreis mit Batterie und Motor

## 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.

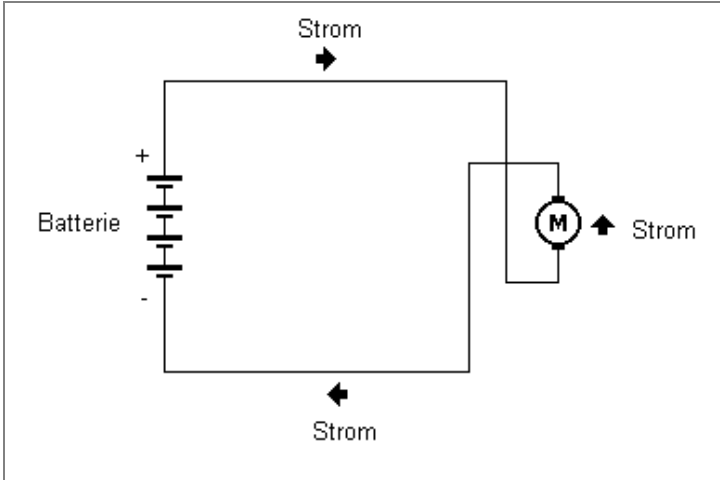
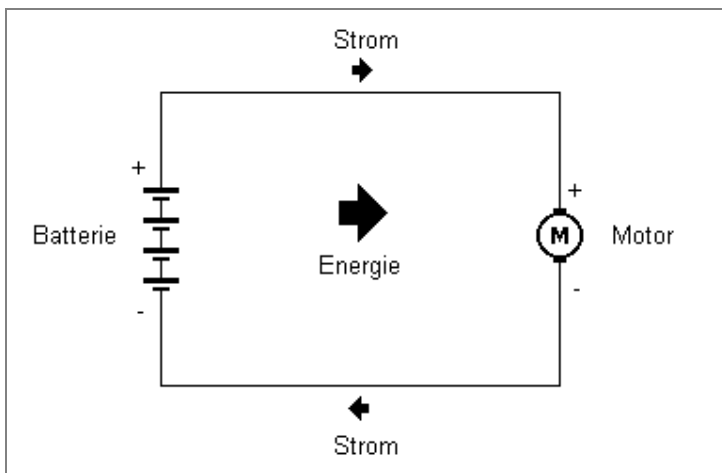


Abb. 2.4: Umkehrung der Drehrichtung

## 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.



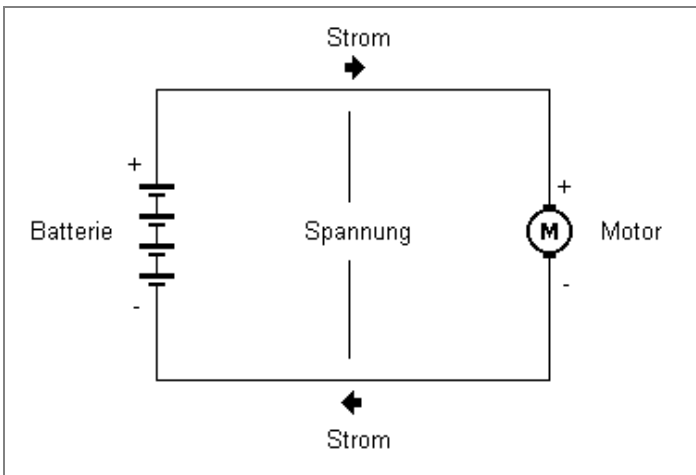
**Abb. 2.5:** Energiefluss von der Batterie zum Verbraucher

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

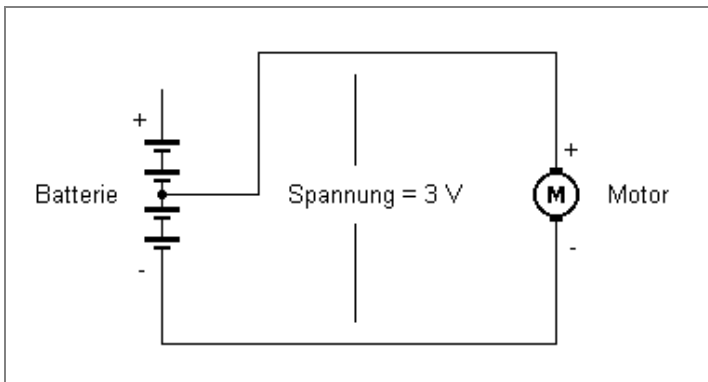
Wenn Sie eine passende Batterie für ein bestimmtes Gerät besorgen, müssen Sie immer die elektrische Spannung beachten. Eine einzelne Zink-Kohle-Zelle (Trockenzelle) oder eine Alkalizelle hat eine Spannung von 1,5 Volt. Vier Zellen zusammen in einer Reihe haben 6 Volt (6 V). Das gilt allerdings nur bei 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

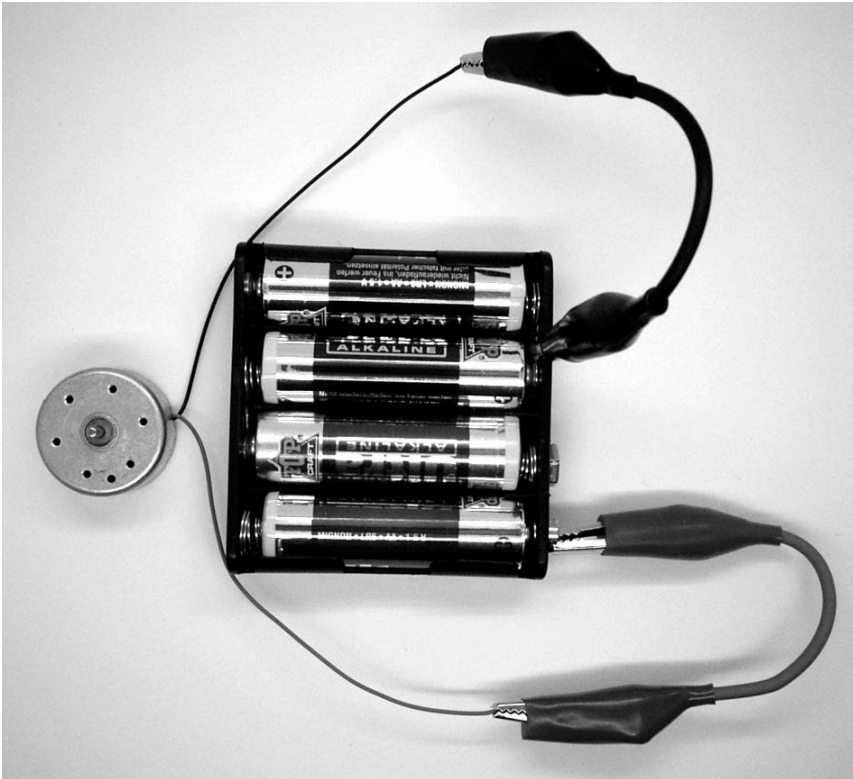
Die elektrische Spannung besteht immer zwischen den beiden Polen der Batterie. Die Batterie hat ihre Spannung unabhängig davon, ob gerade Strom fließt. Die Spannung ist aber umgekehrt eine notwendige Voraussetzung dafür, dass Strom fließen kann, wenn der Stromkreis geschlossen wird. Je größer die Spannung, 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 abbremsten 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 Anschluss-spannung 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.



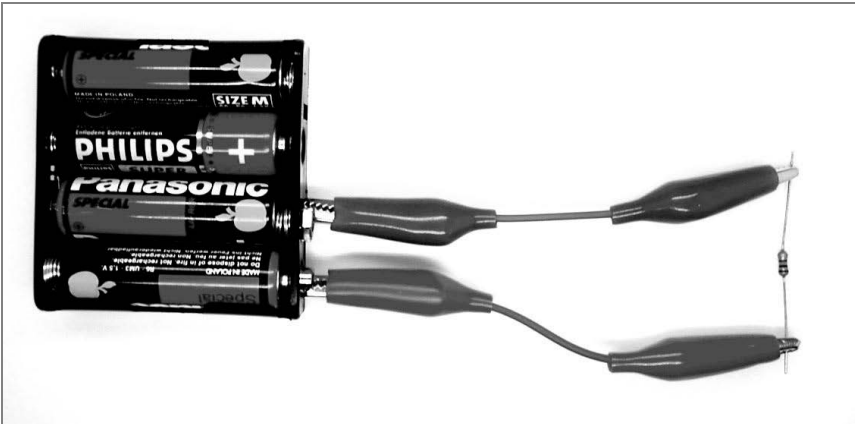
Abb. 2.9: Alle Abgriffe des Batteriefachs

## 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.

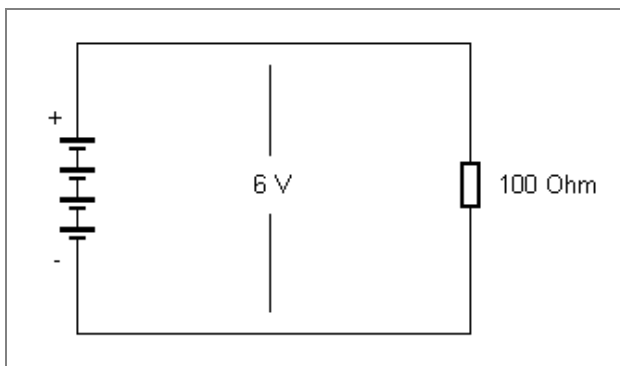
Anders sind die Verhältnisse bei einem Widerstand als Verbraucher. Hier wird 100 % der zugeführten Energie in Wärme umgewandelt. Weil der Widerstand klein ist und nur eine geringe thermische Trägheit hat, kann man eine deutliche Erwärmung feststellen.

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 ( $\Omega$ ). Durch einen Widerstand von  $1\ \Omega$  fließt an einer Spannung von  $1\ \text{V}$  ein Strom von  $1\ \text{A}$ .



**Abb. 2.10:** Ein Widerstand im Stromkreis

Schließen Sie den 100-Ohm-Widerstand mit den Farbringen 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 ( $100\ \Omega$ ) 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  $470\ \Omega$  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  $47\ \Omega$  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. Alkalibatterien 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.

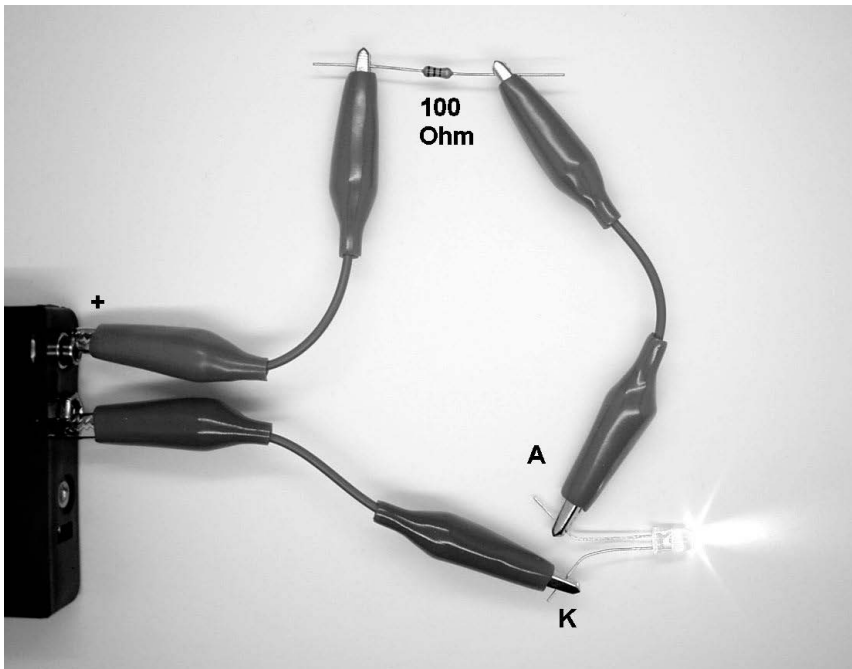


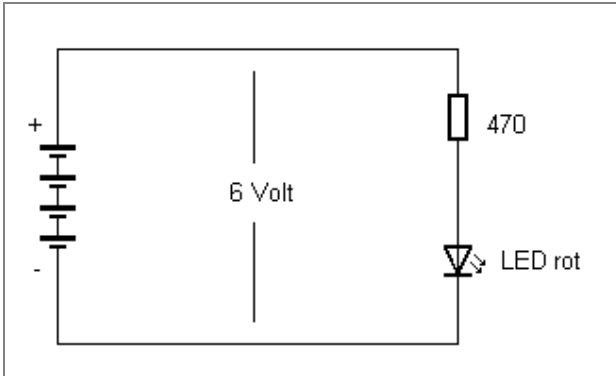
Abb. 3.1: Anschluss einer weißen LED

## 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.

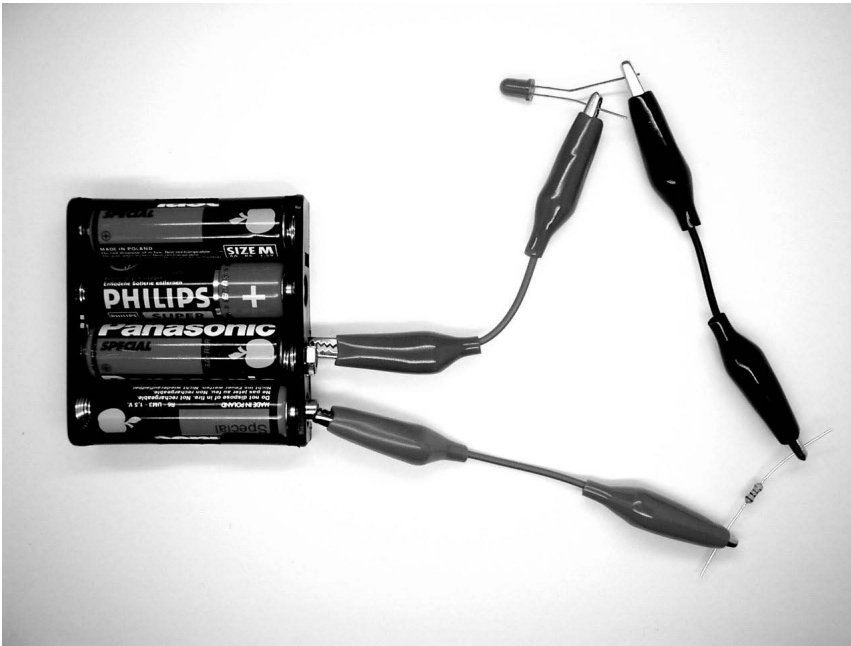
Für die Funktion der LED ist auch die richtige Polung wichtig. Der Minuspol (die Kathode) ist der kurze Anschluss der LED. Bauen Sie

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.

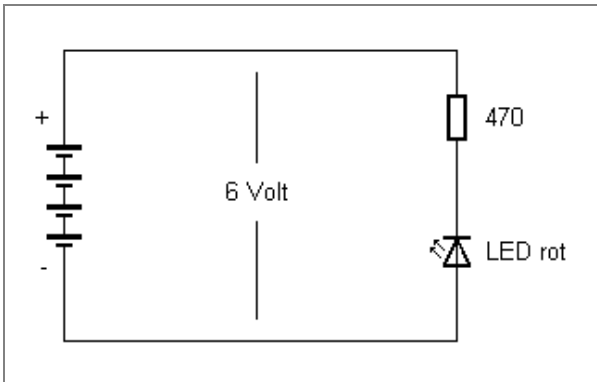


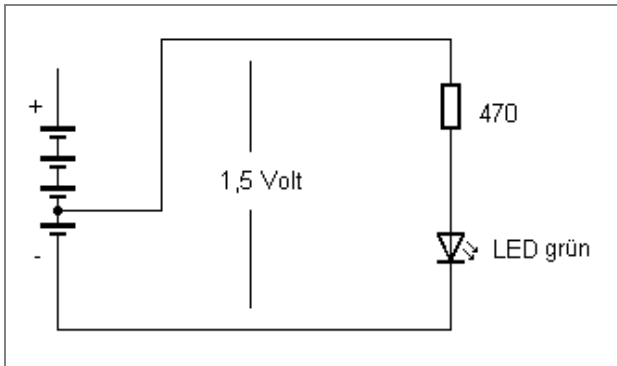
Abb. 3.5: Eine LED in Sperrrichtung

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 schon 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.

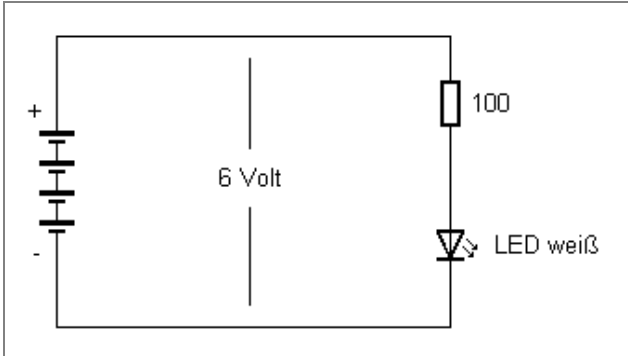
Die weiße LED leuchtet bei 3 V gerade sehr schwach, die Schwelle liegt also etwa hier. Beim Übergang auf 4,5 V ist der Helligkeitsunterschied groß, die Steigerung auf 6 V bringt dagegen keinen großen Unterschied mehr.

### 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

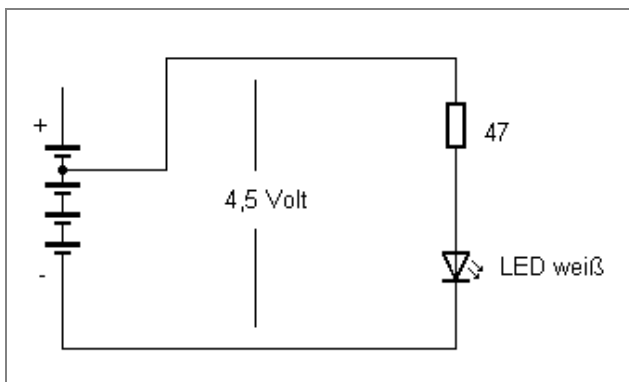


ca. 3,6 V bei dem erlaubten Arbeitsstrom von 25 mA rechnen. Am Vorwiderstand muss daher eine Spannung von  $6\text{ V} - 3,6\text{ V} = 2,4\text{ V}$  abfallen. Mit einem Widerstand von  $100\ \Omega$  ergibt sich ein Strom von 24 mA, was als guter Kompromiss angesehen werden kann (vgl. Kap. 3.1).



**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  $47\ \Omega$  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 100  $\Omega$  gewählt werden.

