

Grundwissen

2 Elektrische Ladung, Strom, Spannung

In diesem Kapitel lernen Sie,

- ▶ ein Grundverständnis der Elektrizität zur Beschäftigung mit Elektronik,
- ▶ welche physikalischen Grundgrößen in der Elektronik verwendet werden und wie sie voneinander abhängen,
- ▶ die verwendeten Einheiten.

2.1 Elektrische Ladung

Ursprung

Elektrische Ladung ist ein physikalisches Naturphänomen der Materie. Materie, also alle Stoffe um uns herum, sind aus winzigen *Atomen* aufgebaut. Die Atome wiederum bestehen aus *Protonen*, *Neutronen* und *Elektronen*. Protonen haben eine positive elektrische Ladung, Elektronen haben eine negative Ladung, Neutronen sind elektrisch neutral. Die Elektronen sind wesentlich kleiner als Protonen und Neutronen und können sich daher leichter bewegen.

Die elektrische Ladung kann also positiv oder negativ sein. Normalerweise sind in einem Körper gleich viele Protonen wie Elektronen enthalten und der Körper ist elektrisch neutral. Durch Reiben zweier Stoffe kann dieses Gleichgewicht verändert werden, wodurch ein Körper elektrisch geladen wird. Dies passiert beim Reiben von Bernstein, kann aber auch im Alltag auftreten, zum Beispiel wenn man mit Gummisohlen über einen Teppich geht. Dadurch wird eine Person elektrisch geladen und die Ladung entlädt sich dann spürbar beim Berühren eines geerdeten Metallteils, zum Beispiel einer Türklinke.

Kraftwirkung

Ladungen üben Kräfte aufeinander aus, vergleichbar der Schwerkraft. Anders als bei der Schwerkraft sind jedoch bei der elektrischen Ladung nicht nur Anziehungskräfte sondern auch Abstoßungskräfte möglich.

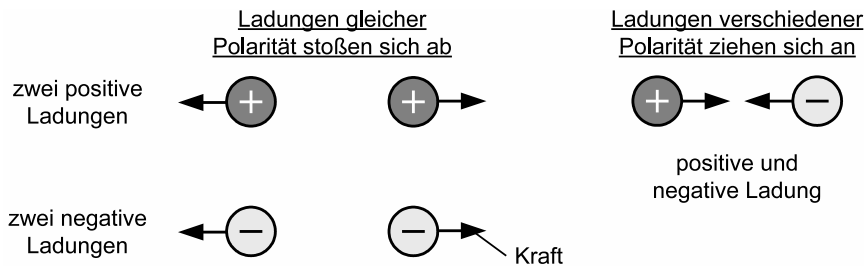


Bild 2.1 Anziehung und Abstoßung elektrischer Ladungen

Die Richtung der Kraftwirkung hängt von der *Polarität* ab. Ladungen gleicher Polarität, also zwei positive oder zwei negative Ladungen stoßen sich voneinander ab. Ladungen unterschiedlicher Polarität, also eine positive und eine negative Ladung ziehen sich gegenseitig an (Bild 2.1).

In einem elektrisch neutralen Stoff befinden sich gleich viele positive wie negative Ladungen. Dadurch heben sich insgesamt die Anziehungskräfte und Abstoßungskräfte auf. Lediglich, wenn in einem bestimmten Bereich mehr positive oder negative Ladungen vorhanden sind, tritt eine Wirkung nach außen auf.

Formelzeichen und Einheit

Als Formelzeichen für die Ladung wird in der Elektrotechnik der Buchstabe Q verwendet. Die Einheit der Ladung ist Coulomb, abgekürzt C.

2.2 Strom und Spannung

Taschenlampe als einfacher Stromkreis

Zur Erläuterung von Strom und Spannung soll der in Bild 2.2 dargestellte einfache *Stromkreis* dienen. In einer Taschenlampe ist eine Glühlampe über Leitungen und einen Schalter an zwei Batterien angeschlossen und leuchtet.

Die Batterie übt eine Kraft auf die Ladungsträger aus und treibt sie an. Während die größeren Protonen sich im Leitungsdraht nicht bewegen können, fließen die kleineren Elektronen fast

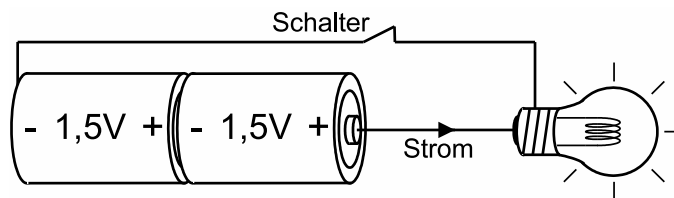


Bild 2.2 Prinzipielle Schaltung einer Taschenlampe

ungehindert. Sie bewegen sich von einem Pol der Batterie zur Glühlampe und wieder zurück zum anderen Pol der Batterie. Da in der Glühlampe die Elektronen durch einen sehr dünnen Draht geführt werden, erwärmt sich der Draht durch die Bewegung, glüht und sendet Licht aus.

Strom – Bewegung von Elektronen

Die Bewegung von Elektronen wird als *Strom* bezeichnet. Je mehr Elektronen sich durch eine Leitung bewegen und je schneller sie sind, umso höher ist der Strom.

Als Formelzeichen für den Strom wird der Buchstabe I verwendet. Die Einheit des Stroms ist Ampere, abgekürzt A.

Spannung – Ursache der Bewegung

Die Ursache der Elektronenbewegung wird als *Spannung* bezeichnet. Eine Spannungsquelle hat zwei Anschlüsse, genannt Pole und zieht Elektronen von einem Pol zu dem anderen.

Die Spannung, also die Kraft auf den Strom, entsteht in einer Batterie durch eine chemische Reaktion. Spannung kann aber auch durch andere Effekte hervorgerufen werden, zum Beispiel durch Sonneneinstrahlung auf eine Solarzelle oder durch die Drehbewegung der Achse eines Generators.

Als Formelzeichen für die Spannung wird der Buchstabe U verwendet. Die Einheit der Spannung ist Volt, abgekürzt V.

2.3 Zusammenhang von Strom und Spannung

Elektrischer Widerstand

Wenn Strom durch einen elektrischen Leiter fließt, werden die Elektronen in ihrer Bewegung abgebremst. Dies kann man sich anschaulich wie eine Abbremsung durch Luftwiderstand vorstellen, etwa beim Fahrrad oder Auto. Die Abbremsung des Stroms wird als *elektrischer Widerstand* bezeichnet. Die Metalleitung in der Taschenlampe leitet Strom sehr gut und hat einen geringen elektrischen Widerstand. Die Glühlampe bremst den Strom ab und hat einen höheren elektrischen Widerstand.

Der elektrische Widerstand bestimmt, wie viel Strom in einer Schaltung fließt. Wird an eine Spannungsquelle ein kleiner Widerstand angeschlossen, kann viel Strom fließen. Bei einem hohen Widerstand ist nur ein geringer Stromfluss möglich. Der Strom ist aber auch von der Spannung abhängig. Je höher die Spannung ist, umso höher ist der Strom.

Der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung ist für viele Materialien linear, das heißt, bei doppelter Spannung fließt auch der doppelte Strom. Dieser Zusammenhang wird als *Ohmsches Gesetz* bezeichnet.

Das Ohmsche Gesetz gilt jedoch nicht für alle Materialien. Elektronische Bauelemente sind meist nichtlinear, das heißt, bei doppelter Spannung fließt nicht der doppelte Strom.

Das Formelzeichen für den elektrischen Widerstand ist der Buchstabe R . Die Einheit ist Ohm, abgekürzt durch Ω , den griechischen Buchstaben „Omega“.

Leistung

Durch Elektrizität wird *Leistung* übertragen und kann nutzbringend eingesetzt werden, beispielsweise in der Glühlampe, einem Elektromotor oder einem Elektroherd. Die Leistung berechnet sich aus dem Produkt von Strom und Spannung, das heißt, je höher Strom und/oder Spannung sind, umso mehr Leistung wird übertragen.

Neben der eigentlich gewollten Leistung, der *Nutzleistung*, entsteht oft auch nicht nutzbare *Verlustleistung*, die als Wärme abgegeben wird. Bei einem Motor wird etwa 80 % der elektrischen Leistung genutzt, bei einer Glühlampe hingegen sind es nur etwa 2 %. Der Anteil der Nutzleistung an der gesamten Leistung ist der *Wirkungsgrad*.

Als Formelzeichen für die Leistung wird der Buchstabe P verwendet. Seine Einheit ist Watt, abgekürzt W.

Beispiel Taschenlampe

Der Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und Leistung lässt sich am Beispiel der Taschenlampe verdeutlichen. Aus der Batterie wird Leistung an die Glühlampe übertragen. Um eine genügende Leistung und damit Leuchtkraft zu erhalten, wird mit mehreren Batterien eine höhere Spannung erzeugt. Bei alten Batterien sinkt die Spannung und als Folge sinken auch der Strom und die Leuchtkraft.

2.4 Darstellung als Schaltplan

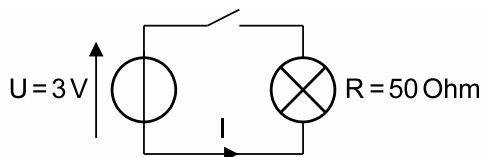


Bild 2.3
Schaltplan der Taschenlampe

Elektrische Schaltungen werden meist als *Schaltplan* (auch Schaltbild) dargestellt. Die oben beschriebene Taschenlampe hat den in Bild 2.3 gezeigten Schaltplan. Auf der linken Seite sind die Batterien als Spannungsquelle mit der Spannung U dargestellt. Die Glühlampe hat einen Widerstand R und ist rechts angegeben. Beide Elemente sind über Leitungen und einen Schalter verbunden.

Ein Schaltplan stellt nur die wichtigen Informationen über eine Schaltung dar. Unnötige Details werden weggelassen. So ist zum Beispiel in Bild 2.3 nicht dargestellt, dass die Spannungsquelle aus zwei Batterien besteht. Derartige Vereinfachungen sind gewollt, da ansonsten ein Schaltplan unübersichtlich wäre.

2.5 Übersicht über Formelzeichen und Einheiten

Tabelle 2.1 Physikalische Größen der Elektronik und ihre Einheiten

Physikalische Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Ladung	Q	Coulomb	C
Strom	I	Ampere	A
Spannung	U	Volt	V
Widerstand	R	Ohm	Ω
Leistung	P	Watt	W

Zusammenfassung

Elektrische Ladung kann sich in Form von Elektronen durch elektrisch leitende Materialien bewegen.

Strom entspricht der Bewegung von Ladungsträgern. Je höher der Strom ist, umso mehr Ladungsträger bewegen sich pro Zeiteinheit.

Spannung ist die Kraft auf Ladungsträger. Je höher die Spannung ist, umso stärker werden Ladungsträger angetrieben und umso höher kann der Strom sein.

3 Bauelemente der Elektronik

In diesem Kapitel lernen Sie,

- ▶ die passiven Bauelemente Widerstand, Kondensator und Spule mit ihren Eigenschaften kennen,
- ▶ die aktiven Bauelemente Diode, Transistor und integrierte Schaltungen kennen,
- ▶ den Aufbau von Platinen und wie elektronische Bauelemente mit Platinen verbunden werden.

3.1 Passive Bauelemente

Als *passive Bauelemente* werden Widerstände, Kondensatoren und Spulen bezeichnet. Im Gegensatz zu aktiven Bauelementen können sie keine Informationen schalten oder verstärken.

Widerstand

Ein *Widerstand* ist ein Bauelement, welches den elektrischen Strom bremst, dem Strom also wie der Name besagt, einen elektrischen Widerstand entgegensetzt. Widerstände werden häufig in elektronischen Schaltungen eingesetzt. Sie können dazu dienen, den Strom durch andere Bauelemente zu begrenzen, damit diese nicht zerstört werden.

Widerstände unterscheiden sich in dem Widerstandswert, der Toleranz und der Bauform voneinander.

Der *Widerstandswert* gibt den elektrischen Widerstand in Ohm (Ω) an. Um die Anzahl der herzustellenden Varianten zu begrenzen, werden nur bestimmte Widerstandswerte angeboten. Diese Widerstandswerte sind in *Normreihen* festgelegt.

Die häufig verwendete Normreihe E6 hat pro Dekade sechs Werte. Das heißt, in den Intervallen zwischen den Stufen 10 Ohm, 100 Ohm, 1000 Ohm, und so weiter, werden jeweils sechs Widerstandswerte angeboten. Zwischen 10 und 100 Ohm sind dies die Werte 10, 15, 22, 33, 47 und 68 Ohm. Zwischen 100 und 1000 Ohm gibt es die Werte 100, 150, 220, 330, 470 und 680 Ohm. Die zunächst ungewöhnlich erscheinende Staffelung folgt daraus, dass der nächste Widerstand immer etwa um den Faktor 1,5 größer als der vorherige ist.

Die *Toleranz* eines Widerstands gibt an, wie genau der Nennwert bei der Herstellung eingehalten wird. Je geringer die Toleranz ist, umso teurer ist der Widerstand. Gängige Toleranzen für günstige Widerstände liegen bei 10 % oder 5 %. Präzisionswiderstände sind mit Toleranzen von 1 % bis zu 0,1 % erhältlich.

Eine Toleranz von 5 % bedeutet, dass ein Widerstand, der einen Nennwert von 100 Ohm hat, in der Realität einen Widerstand zwischen 95 und 105 Ohm hat. Welche Toleranz benötigt wird, hängt vom Einsatzgebiet ab.

Der Begriff *Bauform* bezeichnet die äußere Form eines Widerstands. Die bekannteste Bauform ist die des bedrahteten Bauelements. Die Widerstandswerte und die Toleranz werden durch Farbringe angegeben. Wesentlich kleinere äußere Abmessungen haben Bauelemente für die Oberflächenmontage. Solche SMD-Widerstände („Surface Mount Device“) sparen Platz und werden zum Beispiel in Mobiltelefonen eingesetzt. Daneben existieren weitere Bauformen, beispielsweise Hochlastwiderstände für hohe Ströme. Bild 3.1 zeigt Widerstände in verschiedenen Bauformen.

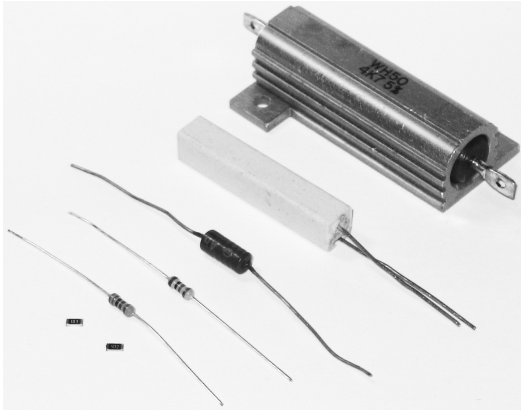


Bild 3.1
Widerstände in verschiedenen Bauformen
(von links: SMD-Widerstände, bedrahtete Widerstände, Hochlastwiderstände)

Kondensator

Ein *Kondensator* dient der Speicherung von elektrischer Ladung. Er verhält sich prinzipiell ähnlich wie eine Batterie, ist jedoch für wesentlich schnellere Geschwindigkeiten ausgelegt. Das heißt, er lässt sich sehr schnell aufladen und gibt seine Ladung auch sehr schnell wieder ab.

Die Ladungsspeicherung wird beispielsweise für Rücklichter von Fahrrädern benutzt. Wenn das Fahrrad an einer Ampel steht, kann mit der im Kondensator gespeicherten Ladung das Rücklicht noch für kurze Zeit leuchten. In elektronischen Schaltungen werden Kondensatoren unter anderem zur Stabilisierung von Spannungen eingesetzt. Eine andere Anwendung ist die Filterung von Signalen.

Das Speichervermögen eines Kondensators wird als *Kapazität* bezeichnet. Die Einheit ist Farad, abgekürzt F. Es gibt verschiedene Bauformen, die sich nicht nur in den äußeren Abmessungen, sondern auch im inneren Aufbau unterscheiden.

Große Kapazitäten können durch Elektrolytkondensatoren erreicht werden. Diese sind jedoch für sehr schnelle Schaltungen nicht geeignet. Keramikkondensatoren können ihre Ladung schneller abgeben, haben jedoch eine kleinere Kapazität. Daneben gibt es noch weitere Kondensatortypen. In elektronischen Schaltungen werden verschiedene Kondensatortypen kombiniert, um ihre jeweiligen Vorteile auszunutzen. Bild 3.2 zeigt einige Kondensatoren.

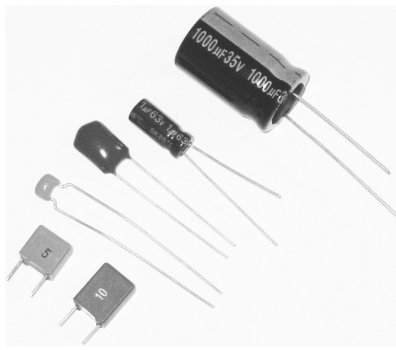


Bild 3.2
Kondensatoren in verschiedenen
Bauformen

Spule

Eine *Spule* wird aus einem schraubenförmig gewickelten Draht gebildet. Durch die Windungen bildet sich ein Magnetfeld, wie in einem Elektromagneten. Die Wicklung kann um einen Eisenkern erfolgen, was die Wirkung des Magnetfeldes erhöht. Eine Spule dient, oft gemeinsam mit Kondensatoren, zur Stabilisierung in Netzteilen und zur Filterung von Signalen. Auf Grund höherer Kosten werden Spulen seltener als Kondensatoren eingesetzt.

Spulen unterscheiden sich in ihrer *Induktivität*, die Einheit hierfür ist Henry, abgekürzt H. In Bild 3.3 ist ein Teil der Spannungsstabilisierung eines Computer-Motherboards mit einer Spule und zwei Kondensatoren abgebildet. Eine andere Bezeichnung für Spule ist *Drossel*.

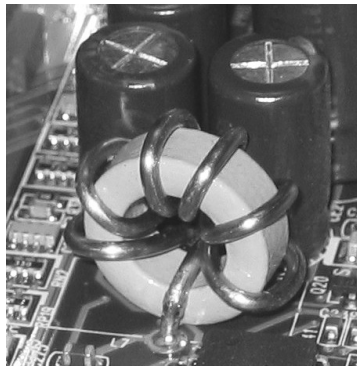


Bild 3.3
Spule und Kondensatoren auf
einem Computer-Motherboard

3.2 Aktive Bauelemente

Mit *aktiven Bauelementen*, hauptsächlich Dioden und Transistoren, können Ströme und Spannungen gerichtet, geschaltet und verstärkt werden. Deshalb sind sie die Grundbauelemente der Elektronik.

In diesem Abschnitt soll zunächst die prinzipielle Funktion von Dioden und Transistoren erläutert werden. Ihre Anwendung in elektronischen Schaltungen wird später in Kapitel 5 beschrieben. In Kapitel 9 erfahren Sie schließlich, wie die Bauelemente aufgebaut sind und ihre Funktion erzielen.

Diode

Die *Diode* ist ein elektronisches Bauelement mit zwei Anschlüssen. Sie dient zur Stromrichtung, das heißt, die Diode lässt den Strom nur in eine Richtung durch; in die andere Richtung kann kein Strom fließen. Dieses Verhalten wird durch einen Halbleiter, üblicherweise Silizium oder Germanium, erzielt.

Eine wichtige Anwendung der Stromrichtung von Dioden ist die Umwandlung von Wechselspannung in Gleichspannung. Wechselspannung eignet sich sehr gut zum Transport von Energie. Im Haushalt steht darum an den Steckdosen eine Wechselspannung von 230 Volt zur Verfügung. Manche Geräte, zum Beispiel ein Wasserkocher, können diese Wechselspannung direkt nutzen. Andere Geräte, wie Radio oder Telefonanlage, benötigen jedoch Gleichspannung. Durch Dioden wird für diese Geräte die Wechselspannung in Gleichspannung gerichtet.

Dioden unterscheiden sich untereinander durch mehrere Parameter, beispielsweise Maximalwerte für Strom und Spannung. Es gibt darum für Dioden keine Wertangabe wie bei Widerständen. Stattdessen werden Dioden mit Typenbezeichnungen versehen und die Parameter in Datenblättern angegeben. Es gibt hunderte verschiedener Diodentypen.

Eine bekannte Sonderform der Diode ist die *Leuchtdiode* (*LED*, „Light Emitting Diode“). Sie strahlt sichtbares Licht aus und wird für viele Geräte als preiswertes und wartungsfreies Anzeigeelement benutzt.

In Bild 3.4 ist eine Diode skizziert. In Durchflussrichtung kann ein Strom fließen, in Sperrrichtung nicht.

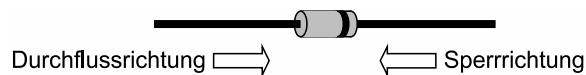


Bild 3.4
Diode – der Farbring gibt die Sperrrichtung an

Transistor

Transistoren können Signale schalten und verstärken. Dies macht sie zu dem wichtigsten Bauelement der Elektronik. Transistoren bestehen, wie Dioden, aus einem Halbleitermaterial, meist Silizium oder Germanium.

Ein Transistor hat drei Anschlüsse, die als *Basis*, *Emitter* und *Kollektor* bezeichnet werden. Die Basis dient als Steuersignal und verändert den Widerstand zwischen Emitter und Kollektor. Das Entscheidende dabei ist, dass mit einer kleinen Leistung an der Basis eine große Leistung an Emitter und Kollektor gesteuert werden kann. Dadurch wirkt der Transistor als *Verstärker*.

Diese Verstärkungsfunktion macht die hohe Bedeutung des Transistors aus. Ein kleines Signal, etwa das Empfangssignal einer Antenne, kann verstärkt werden und einen Lautsprecher ansteuern. Transistoren können auch zum Schalten benutzt werden. Beispielsweise kann durch einen Helligkeitssensor oder einen Bewegungssensor eine Lampe ein- und ausgeschaltet werden.

Es gibt viele verschiedene Transistortypen, deren prinzipielle Funktion die gleiche ist, die sich aber in der nötigen Steuerspannung, dem möglichen Strom, der Verstärkung und weiteren Parametern unterscheiden. Weit über hundert verschiedene Typen sind erhältlich. Ihre Eigenschaften werden in Datenblättern beschrieben.

Transistoren sind in verschiedenen Bauformen verfügbar. Kleine Gehäuse sind platzsparend. Um hohe Ströme zu schalten, werden große Gehäuse benötigt, denn über sie kann die aus der Verlustleistung entstehende Wärme besser abgeführt werden.

In Bild 3.5 sind einige Transistoren abgebildet. Die verschiedenen Transistortypen können durch ihren Aufdruck identifiziert werden.

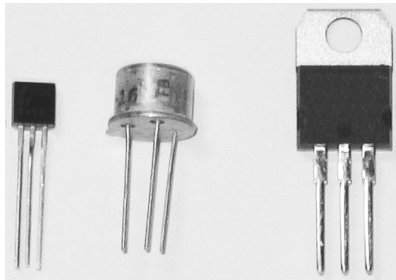


Bild 3.5
Transistoren in verschiedenen Bauformen

Weitere aktive Bauelemente

Neben Diode und Transistor existieren weitere aktive Halbleiterbauelemente. Zum Schalten von Elektromotoren und für Dimmer werden Thyristor, Triac und Diac verwendet.

3.3 Integrierte Schaltungen

Wenn sich auf einem Stück Halbleitermaterial nicht nur ein einzelner Transistor sondern gleich mehrere befinden, bezeichnet man dies als eine *integrierte Schaltung*. Im Vergleich zu einzelnen Bauelementen ist eine integrierte Schaltung meist günstiger und spart Platz.

Operationsverstärker

Der *Operationsverstärker* ist eine integrierte Schaltung, die relativ wenige Bauelemente vereint. In einem Operationsverstärker sind circa 20 Transistoren sowie einige passive Bauelemente enthalten.

Operationsverstärker sind eine komplette Verstärkerstufe aus mehreren Transistoren. Vor der Verbreitung von Computern wurden sie für einfache Berechnungen verwendet, etwa die Addition, Subtraktion oder Multiplikation von Signalen. Heutzutage werden Operationsverstärker vielfach in der Messtechnik verwendet, um die Werte von Sensoren zu verarbeiten.

Ein besonderer Vorteil der Integration auf einen einzelnen Baustein ist, dass zwischen den Transistoren praktisch keine Toleranzen bestehen. Natürlich kann zwischen verschiedenen Bausteinen eine Abweichung auftreten, aber innerhalb eines Operationsverstärkers haben die