Projekt:
LED-Weihnachtskugeln

Strahlender elektronischer Weihnachtsschmuck

das Elektrotechnik- und Informatik-Labor der Fakultät IV
http://www.dein-labor.tu-berlin.de

Handout zum Projekt:

LED-Weihnachtskugeln

Strahlender elektronischer Weihnachtsschmuck

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Grundlagen der Elektrotechnik und Bauelemente **1**

2.1 Strom 2
2.2 Spannung 2
2.3 Widerstand 3
2.4 Diode 3
2.5 Aufbau von LEDs 4
2.6 Funktionsweise von LEDs 4
2.7 Strom-Spannungs-Kennlinie 5

3 Unsere Schaltung **6**

1 Einleitung

We wish you a merry Christmas!

Und damit ihr auch wirklich zauberhafte Weihnachten habt, haben wir uns für euch LED-Weihnachtskugeln ausgedacht. Das sind keine gewöhnlichen Weihnachtskugeln, die den Rest ihrer Tage in einem Karton im Keller verbringen! Nein, diese Weihnachtskugeln haben wirklich etwas in sich, und zwar werdet ihr die Kugel nicht nur selber mit festlichen Motiven gestalten, sondern ihr werdet auch eine eigene LED-Schaltung entwerfen und eure Kugel somit zum weihnachtlichen Leuchten bringen. Vielleicht möchtet ihr die LED Weihnachtskugel auch verschenken. Und selbst dabei könnt ihr euch sicher sein, dass diese Weihnachtskugeln das Weihnachtsfest in ein paar leuchtende, gemütliche Tage verwandeln und den Beschenkten große Freude machen werden!

Nun aber noch etwas Theorie, damit ihr auch versteht, wie das Leuchten zustande kommt.

2 Grundlagen der Elektrotechnik und Bauelemente

Die Elektrotechnik findet man an jeder Straßenecke. Überall blinkt es, große Leuchttafeln erzählen uns, was wir als nächstes kaufen sollen, und zu Hause flimmern im Fernseher die neuesten Nachrichten vor sich hin.

WICHTIG
Die Elektrotechnik beschäftigt sich mit der Änderung von Strom und Spannung.

2.1 Strom

Wenn man von einer „Strömung im Fluss" spricht, weiß jeder, was damit gemeint ist. Wenn ein Fluss schnell fließt, dann hat er eine hohe Strömung. Das Gleiche gibt es in der Elektrotechnik. Statt Wasser haben wir ganz kleine Teilchen, die sich in einem Draht bewegen. Wir nennen diese Teilchen Ladungsträger.

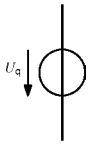
WICHTIG
Wenn sich in der Elektrotechnik Ladungsträger bewegen, spricht man von einem Strom.
Formelzeichen: I für die Stromstärke Einheit: A zum Andenken an den Physiker *André Marie Ampère*, gesprochen „Amper"

2.2 Spannung

Wie fließt ein Fluss? Natürlich nur bergab, denn an dem Wasser zieht eine Kraft. Die Kraft ist die Anziehungskraft der Erde. Alles will nach unten, ein Apfel, den ich fallen lasse oder das Wasser, welches bergab fließt. In der Elektrotechnik gibt es ebenfalls so eine Kraft, diese nennen wir Spannung. Und wenn wir eine Spannung anlegen, dann bewegen sich Ladungsträger, also fließt ein Strom.

WICHTIG
Eine Spannung ist eine Kraft, die Ladungsträger in Bewegung setzt.
Formelzeichen: U
Einheit: V zum Andenken an den Physiker *Alessandro Volta*, gesprochen „Volt".

In der Elektrotechnik gibt es Schaltungssymbole, damit jeder elektrotechnisch Begeisterte auf der Welt weiß, was man in einer Schaltung meint. Hier das Symbol für eine Spannungsquelle:



Wir haben Spannung und Strom kennengelernt. Jetzt brauchen wir noch die Werkzeuge, die es uns ermöglichen Strom und Spannung zu ändern.

2.3 Widerstand

Widerstand ist, wenn man sich gegen etwas wehrt! Das Bauelement *Widerstand* macht dies auch, es "wehrt sich"gegen den Stromfluss. Nehmen wir einen Wasserschlauch. Das Wasser ist wieder unsere Wolke aus Ladungsträgern, und die Pumpe erzeugt eine Kraft, wie die Anziehungskraft, welche an dem Fluss zieht, also eine Spannung. Das Wasser sprudelt ungehindert aus dem Schlauch. Jetzt stellen wir uns vor, wir stellen uns auf den Schlauch!
Das Wasser hört sofort auf zu fließen. Nehmen wir den Fuß langsam runter, läuft das Wasser erst langsam und dann immer schneller! Der Fuß stellt ein Widerstand für das Wasser dar.

> **WICHTIG**
> Je höher der Widerstand ist, desto mehr Spannung brauchen wir, um einen bestimmten Strom hindurch fließen zu lassen.
> Formelzeichen: R
> Einheit: Ω, gesprochen „Ohm"(zum Andenken an den Physiker *Georg Simon Ohm*)

Zwischen Strom, Spannung und Widerstand gibt es einen Zusammenhang: das *Ohm'sche Gesetz*, das besagt, dass sich Strom und Spannung immer in einem Verhältnis ändern. Dieses Verhältnis ist der Widerstand R.

$$\boxed{R = \frac{U}{I}}$$

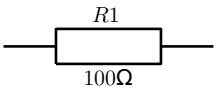


Abbildung 1: Widerstand: Bauelement (links) und Schaltungssymbol (rechts)

2.4 Diode

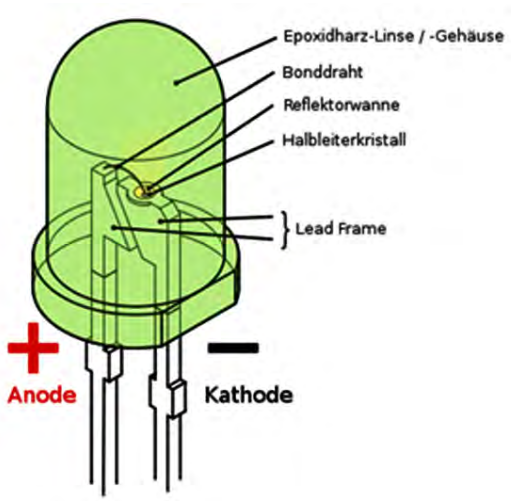
Dioden sind vergleichbar mit einem Ventil. Sie lassen den Strom nur in eine bestimmte Richtung durch (genannt Durchlassrichtung), in die andere Richtung sperren sie. Daher wird von Durchlassrichtung und Sperrrichtung gesprochen. Bei Wechselstrom bewirkt die Diode aufgrund dieser Eigenschaft eine Gleichrichtung, also eine Umwandlung in Gleichstrom. Es gibt verschiedene Arten von Dioden z.B. Zener-, Photo- und Leuchtdioden.

Abbildung 2: Leuchtdiode: Bauelement (links) und Schaltungssymbol (rechts)

Wir werden für unsere Schaltung **Leuchtdioden** (Licht emittierende Diode, LED) verwenden. Fließt durch die Diode elektrischer Strom in Durchlassrichtung, so strahlt sie Licht, Infrarotstrahlung (als Infrarotleuchtdiode) oder auch Ultraviolettstrahlung mit einer vom Halbleitermaterial und der Dotierung abhängigen Wellenlänge ab.

2.5 Aufbau von LEDs

Der Halbleiterkristall vieler LEDs ist auf den Boden einer kegelförmigen Vertiefung in einem Metallhalter gelötet. Die Innenseiten der Vertiefung wirken als Reflektor für das aus den Seiten des Kristalls austretende Licht.



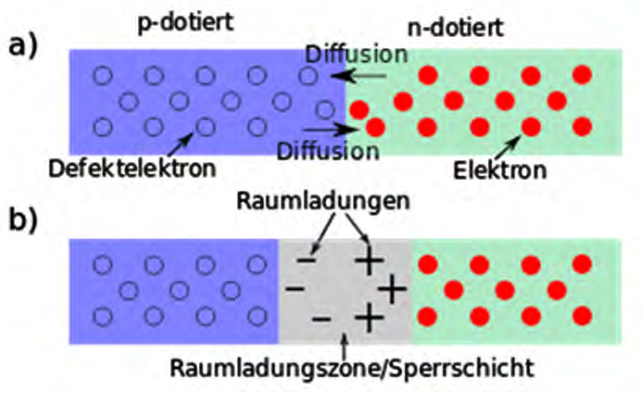
Die Lötstelle bildet einen der beiden elektrischen Anschlüsse des Kristalls. Gleichzeitig nimmt sie die Abwärme auf, die entsteht, weil der Halbleiterkristall nur einen Teil der elektrischen Leistung in Licht umsetzt. Der Halter mit dem Reflektor ist bei bedrahteten LEDs als Draht mit rechteckigem Querschnitt ausgeführt, der als elektrischer Anschluss dient. Anders als sonst bei Elektronikbauteilen üblich, besteht der Anschlussdraht nicht aus verzinntem Kupfer, sondern aus verzinntem Stahl. Die Wärmeleitfähigkeit von Stahl ist vergleichsweise gering. Dadurch wird der Halbleiterkristall beim Einlöten des Bauteils in eine Leiterplatte nicht überhitzt.

Die Oberseite des Kristalls ist nur durch einen dünnen Bonddraht elektrisch mit dem zweiten Stahl-Anschlussdraht verbunden, damit der Anschluss nur sehr wenig der Lichtemission verdeckt. Die Kathode (–) ist durch eine Abflachung am Bund des Gehäusesockels markiert. Bei fabrikneuen LEDs ist zudem der Anschluss der Kathode kürzer (Merkregel: Kathode = kurz = Kante). Bei den meisten LEDs ist der Reflektor die Kathode (–), dann gilt auch die Merkregel, dass die (technische) Stromrichtung von dem Pfeil, den die Anode (+) durch ihre Form bildet, „angezeigt“ wird. In seltenen Fällen ist der Aufbau umgekehrt.

2.6 Funktionsweise von LEDs

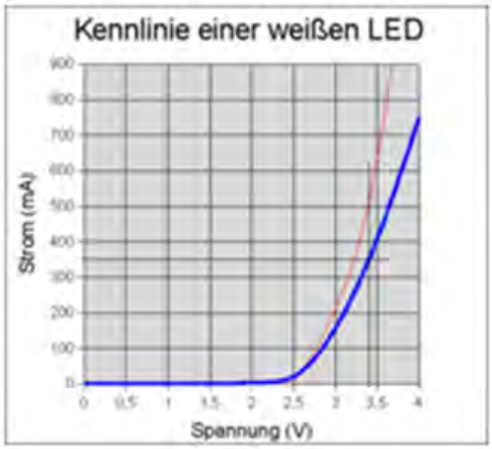
Die Grundlage der Halbleiter-Diode ist entweder ein $p-n$-dotierter Halbleiterkristall (meist aus Silizium) oder ein Metall-Halbleiter-Übergang. Die Leitfähigkeit eines solchen Übergangs hängt von der Polung der Betriebsspannung an Anode (p-dotiert) und Kathode (n-dotiert) beziehungsweise von der Stromflussrichtung ab. Der $p-n$-Übergang (graue Fläche) ist eine Zone, die frei von beweglichen Ladungsträgern ist, da sich positive Ladungsträger (sog. Defektelektronen oder Löcher) des p-dotierten Kristalls und negative Ladungsträger (Quasielektronen) des n-dotierten Kristalls gegenseitig vernichtet haben, man spricht von *Rekombination*. Die ursprünglichen Quellen der Ladungsträger, die Dotierungsatome, sind ortsfest und bilden nun als Ionen eine Raumladung, deren elektrostatisches Feld die beiden Ladungssorten voneinander fern hält und so die weitere Rekombination unterbindet. Über die ganze Raumladungszone hinweg

entsteht die Antidiffusionsspannung. Diese kann durch eine von außen angelegte Spannung – je nach Polung – kompensiert werden, dann wird der $p-n$-Übergang leitfähig, oder verstärkt werden, dann bleibt er gesperrt.



2.7 Strom-Spannungs-Kennlinie

Die Helligkeit einer LED wächst mit der Leistungsaufnahme. Bei konstanter Halbleitertemperatur ist die Zunahme annähernd proportional. Der Wirkungsgrad sinkt mit steigender Temperatur, deshalb sinkt die Lichtausbeute an der Leistungsgrenze je nach Art der Kühlung ab.



Die LED fällt aus, wenn die Temperatur des Halbleiters ein Maximum von zirka 150°C übersteigt. Die Strom-Spannungs-Kennlinie beschreibt, wie ein Verbraucher auf eine angelegte Spannung reagiert. Bei einem ohmschen Verbraucher nimmt der Strom linear mit der Spannung zu. Eine Leuchtdiode besitzt, typisch für Halbleiterdioden, eine exponentielle Kennlinie. Kleine Schwankungen in der Spannung verursachen große Stromänderungen.

3 Unsere Schaltung

Eine LED kann nicht unmittelbar an eine Spannungsquelle, wie eine Batterie, angeschlossen werden. Wir müssen eine Strombegrenzung in unsere Schaltung einbauen. Die einfachste Möglichkeit der Versorgung einer LED an einer Spannungsquelle ist, in Reihe zu ihr einen Vorwiderstand zu schalten, wie in Abbildung 3 gezeigt ist. Wird diese Anordnung mit einer Spannungsquelle betrieben, deren Spannung U_0 unter Last (Nennstrom I) bekannt ist, so lässt sich der gewünschte Strom I über die Wahl des Widerstandes R einstellen:

$$R = \frac{U_0 - U_{LED}}{I}$$

Beispiel:

$$U_0 = 4,5V, \;\; I = 0,35A, \;\; U_{LED} = 3,4V: \qquad R = \frac{4,5V - 3,4V}{0,35A} = 3,1\Omega$$

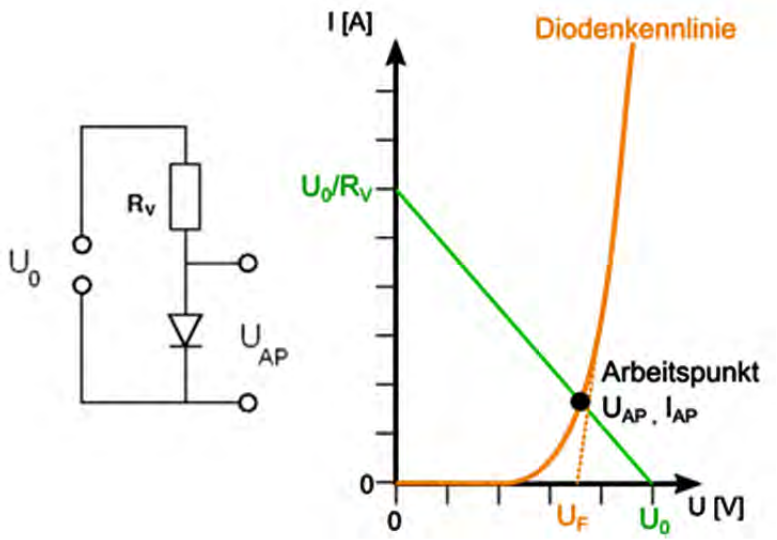


Abbildung 3: Unsere LED-Schaltung