

Universität für künstlerische und industrielle Gestaltung  
Linz

Kunstuniversität Linz

Institut für Kunst und Bildung

Studienrichtung Technik & Design/ Werkerziehung

Elektronik im Werkunterricht

Ilse Mayrhofer

Diplomarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Mag.art.

Betreut von Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Marion Starzacher

Datum der Approbation: Linz,.....2017

Unterschrift der Betreuerin: .....

## **Inhaltsverzeichnis:**

<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>TEIL I: BASISWISSEN FÜR DIE SEKUNDARSTUFE II</b>	<b>8</b>
<b>Grundlagen der Elektronik / Elektrotechnik</b>	<b>8</b>
Elektronik vs. Elektrotechnik	8
Geschichtlicher Überblick	8
Elektronen	16
Aufbau der Atome	17
Halbleiter und der pn-Übergang	19
Der elektrische Stromkreis	21
Spannungsquelle / Stromquelle	21
Strom – Bewegung von Elektronen	24
Spannung – Ursache der Bewegung	24
Widerstand und Leitwert	25
Das Ohmsche Gesetz	26
Messen von Strom, Spannung und Widerstand	27
Spannungsmessung	28
Strommessung	29
Widerstandsmessung	30
Elektrische Energie, Arbeit und Leistung	31
Gleichstrom – Wechselstrom	33
<b>Bauteile</b>	<b>34</b>
Schalter	34
Widerstand	35
Festwiderstände	35
Einstellbare Widerstände	39
Veränderliche Widerstände	40
Widerstandsschaltungen	41
Reihenschaltung von (linearen) Widerständen	41
2. Kirchhoff'sches Gesetz: Spannungen in Netzmaschen	42
Parallelschaltung von (linearen) Widerständen	42
1. Kirchhoff'sches Gesetz: Ströme in Knotenpunkten	43
Unbelasteter und belasteter Spannungsteiler	43
Kondensator	45
Kapazität	47
Bauformen	47
Spule	49

Induktion	49
Transformator	50
Diode	51
Kennlinie	52
Prüfen von Dioden	52
Leuchtdiode	54
Vorwiderstand berechnen	56
(Bipolarer) Transistor	56
Transistor als Schalter	59
Transistor als Verstärker	60
Elektromotor	62
Unterrichtsideen	64
Polaritätsprüfer	64
Joule-Thief-Schaltung	65
Alarmanlage	67
Darlington Schaltung	68
Nachdenkzeitbegrenzer (Einschaltverzögerung)	69
Heißer Draht	70
<b>TEIL II: FRAGEBOGEN ELEKTRONIK IM WERKUNTERRICHT</b>	<b>72</b>
<b>Resümee</b>	<b>72</b>
<b>Auswertung</b>	<b>73</b>
<b>Nachwort</b>	<b>84</b>
<b>Anhang</b>	<b>85</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>88</b>
Primärliteratur	88
Internetquellen	89
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>90</b>

Alles fließt.  
(Heraklit, 520 - 460 v. Chr.)

## Abstract

Thema dieser Arbeit ist die Elektronik im technischen Werkunterricht. Der erste Teil der Arbeit behandelt die Grundlagen der Elektronik, welche für den Werkunterricht interessant sind. Begonnen wird mit einem geschichtlichen Überblick über die Meilensteine der Elektrotechnik bis hin zur Elektronik. Es wird kurz auf die Hintergründe der Elektronik eingegangen, vom Elektron über den Aufbau der Atome bis hin zum pn-Übergang von Halbleitern. Anschließend folgen für LehrerInnen wichtige Informationen zum elektrischen Stromkreis, zum Ohmschen Gesetz sowie zur Strom- und Spannungsmessung. Es wird auf die für den Unterricht wichtigsten Bauteile wie Widerstand, Kondensator, Diode, Leuchtdiode und Transistor eingegangen, versehen mit Bildmaterial und nützlichem Hintergrundwissen.

Im zweiten Teil wird der Frage nachgegangen, wie oft und in welcher Form das Thema im Unterricht behandelt wird. Dazu wurde eine Online-Umfrage unter WerklehrerInnen durchgeführt, um einen Einblick in die aktuelle Situation an den Schulen zu bekommen. Für LehrerInnen, die in diesem Bereich wenig Erfahrung haben, ist es sehr mühsam, sich aus verschiedensten Büchern und Onlineplattformen Informationen zusammenzusuchen.

Diese Arbeit soll ein Nachschlagewerk für WerklehrerInnen sein, in dem das wichtigste Wissen im Bereich Elektronik zusammengefasst ist.

The topic of the present thesis paper is “Implementing Electronics in Design Education classes”. The first part of the paper deals with the basics which are of interest for Design Education classes. Starting with a historical overview on the milestones of electrical engineering and electronics, it also offers additional information on electrons, the structure of atoms and the pn-junction of semiconductors. Furthermore, important explanations on electric circuits, Ohm’s law and current and stress measurement are given. These can be especially useful for teachers. Moreover, school-relevant component parts like resistor, capacitor, diode, light emitting diode and transistor are presented, including pictures and helpful background knowledge.

The second part of the paper deals with the questions of how and also how often this topic is covered in Design Education classes. Therefore, an online survey was carried out amongst Design Education teachers in order to gain some insights on the current situation in schools. The results of the survey clearly show that teachers would like to implement more electronics in classes; however, they lack the necessary knowledge and acquiring it by reading books and collecting information from online platforms is too arduous. Consequently, the present thesis paper, in which the most important knowledge on the subject area of electronics in theory and practice is summarised, is intended to function as a reference book and support tool for Design Education teachers, thereby encouraging them to implement more electronics in their teaching.

## Einleitung

Zum Thema Elektronik / Elektrotechnik gibt es sehr viel Literatur. Ich selbst habe in diesem Bereich ein fundiertes, wenn auch schon vor längerer Zeit erworbenes Wissen, da ich die HTL für Mechatronik besucht habe. Mechatronik, wie der Name schon sagt, setzt sich aus den Teilgebieten Mechanik und Elektronik zusammen, hinzu kommt noch die Informatik als weiteres Teilgebiet. Im Rahmen meiner Diplomarbeit habe ich mich intensiver mit dem Thema Elektronik / Elektrotechnik auseinandergesetzt und in zirka 25 (Fach-) Büchern recherchiert.

Schon in der Ausbildung zur technischen Werklehrerin ist mir die Elektronik wieder begegnet. Sie findet sich sowohl im Lehrplan der AHS als auch im Studienplan für das Fach Technik & Design / Werkerziehung. Meiner Meinung deckt aber die Ausbildung, die man im Studium im Bereich Elektronik bekommt, dieses Fachgebiet nicht in ausreichendem Maße ab, um Wissen an SchülerInnen weitergeben und sinnvolle Projekte in der Schule machen zu können. Gelehrt wird an der Universität Grundlagenwissen, auf dem aufbauend im Selbststudium weiteres Wissen erworben werden kann. Dies erweist sich gerade bei der Elektronik als schwieriger als gedacht.

Die vielen Bücher, die man zum Thema findet, sind auf sehr unterschiedlichem Niveau und auch sehr unterschiedlich gestaltet. Es gibt Bücher, in denen die Geschichte der Elektronik (bzw. der Elektrizität) sehr ausführlich und auch interessant beschrieben wird: Beispiele hierfür sind Ernst Peter Fischers „Das große Buch der Elektrizität“, Albert Kloss' „Von der Electricität zur Elektrizität“, D.J.W. Sjobbemas „Die Geschichte der Elektronik“ oder Roland Gööcks „Die großen Erfindungen“. Diese Bücher sind für LeserInnen mit entsprechend fachlichen Vorkenntnissen aufschlussreich, mit beeindruckenden Lebensgeschichten versehen, aufgelockert durch Fotos alter Apparate und Erfindungen und bieten viele Zusammenhänge.

Im Gegensatz dazu findet man viele rein technische Bücher, Literatur, die in den technischen Schulen und Studien verwendet wird. Hier werden vor allem Bauteile und Schaltungen kurz und prägnant beschrieben, allerdings wird für das Verständnis ein gewisses Vorwissen vorausgesetzt. Sie gehen zu sehr in die Tiefe, bis zu Mikroprozessoren, Leistungselektronik, Robotik und Digitaltechnik und sind daher für WerklehrerInnen wenig geeignet. Beispiele hierfür wären Dietmar Bendas „Elektronik ohne Ballast“, Dugge/Eißners „Grundlagen der Elektronik“ oder mein eigenes HTL-Schulbuch „Fachkunde Elektrotechnik“.

Als dritte Kategorie möchte ich Literatur, die speziell für Kinder und Hobbyelektroniker verfasst wurde, nennen. Hier finden sich einfache, teils zu simple Erklärungen, teilweise mit Comics unterstützt, und fertige Schaltungen, die Schritt für Schritt nachgebaut werden können. Als Beispiele nenne ich dafür Gert Lindners „Elektronisches Basteln“ oder Friedrich Rebers „Elektronik-Wissen für Schule & Studium“.

Das Ziel meiner Arbeit ist, WerklehrerInnen wichtiges, interessantes und nützliches Wissen aus diesen Büchern herauszufiltern und kompakt anzubieten. Ein geschichtlicher Rückblick, die Beschreibung der Bauteile und Schaltungen, die man im Unterricht auch tatsächlich verwenden kann, sowie Zusammenhänge und Hintergrundwissen sollen in diesem Grundlagenwerk zusammengefasst werden.

Danach kann jede(r) WerklehrerIn ihr/sein Wissen über Internet, weiterführende Literatur oder Fortbildungen erweitern.

Um einen Einblick in die aktuelle Situation an den Schulen in Bezug auf Elektronik im Unterricht zu erlangen, habe ich eine qualitative Befragung mit österreichischen WerklehrerInnen durchgeführt. Die Auswertung dieses Fragebogens behandelt Teil II meiner Arbeit.

Interessant dabei ist, dass die Befragten gerne Elektronik unterrichten und auch um die Aktualität und Wichtigkeit dieses Bereiches des technischen Werkens wissen, sich aber einen Großteil ihrer Kenntnisse durch privates Engagement und Interesse angeeignet haben.

# TEIL I: BASISWISSEN FÜR DIE SEKUNDARSTUFE II

## Grundlagen der Elektronik / Elektrotechnik

### Elektronik vs. Elektrotechnik

Befragungen im Bekanntenkreis haben ergeben, dass die Meisten glauben, Elektrotechnik und Elektronik würde sich in der Verwendung von Halbleitern unterscheiden. Elektrotechnik wird mit Schaltern, Glühlampen, Batterien, Schaltkreisen im Haushalt usw. in Verbindung gebracht, Elektronik mit niederen Spannungen, Transistoren und Dioden und eben Halbleitern.

Es ist nicht ganz falsch, doch grundsätzlich ist die Elektronik ein Teilgebiet der Elektrotechnik.

Als im 20. Jahrhundert die Elektronenröhre erfunden wurde, welche nicht nur ein einfaches Ein- und Ausschalten erlaubt, sondern auch ermöglicht, dass Signale stufenlos verstärkt werden können, wurde dies die Grundlage zur Elektronik. Die Elektronik befasst sich mit dem Schalten und Verstärken elektrischer Signale, von Elektrik spricht man, wenn Ströme mechanisch ein- und ausgeschaltet werden. Die Elektrotechnik umfasst beides.<sup>1</sup>

Da die Elektronik ein Teilgebiet der Elektrotechnik ist, wird mit dem geschichtlichen Überblick ein wenig weiter ausgeholt, um auch die Entwicklung, wie die Elektronik entstehen konnte, aufzuzeigen.

### Geschichtlicher Überblick

Am Beginn der Elektrizität steht der Bernstein. Schon im antiken Griechenland ist den Menschen bekannt, dass Bernstein, an einem trockenem Tuch oder mit der Hand gerieben, in der Lage ist, kleinere Gegenstände anzuziehen. Thales von Milet (624 – ca. 547 v. Chr.) zum Beispiel beschreibt diese Form der Reibungselektrizität um 550 v. Chr.<sup>2</sup>

Vom Griechischen kommt daher auch das Wort Elektrizität, denn „Bernstein“ heißt auf griechisch „elektron“ (ήλεκτρον). Damals wird diesem Phänomen allerdings wenig Beachtung geschenkt. Es dauert mehr als 2000 Jahre, bis das Wort „Elektron“ im allgemeinen Sprachgebrauch eingeführt und verankert wurde.

Erst William Gilbert (englischer Arzt und Physiker, 1544 – 1603) erinnert der Magnetismus an die Anziehungskraft des Bernsteins. Er unterscheidet als Erster zwischen Magnetismus und statischer Elektrizität und tauft diese Kraft „*vis electrica*“.<sup>3</sup>

Mit Otto von Guericke (1602 – 1686) wird laut Historikern das Zeitalter der Elektrizität eingeläutet. Der Bürgermeister von Magdeburg konstruiert eine Art Elektrisiermaschine, die aus einer Schwefelkugel besteht, welche um die eigene Achse gedreht und mit der Hand gerieben wird. Dabei sind verschiedene

---

<sup>1</sup> Vgl. Winzker 2008, 2 und 7.

<sup>2</sup> Vgl. Ebda., 1.

<sup>3</sup> Vgl. Fischer 2011, 29ff.

elektrische Erscheinungen zu beobachten: Knistern, Funken und Leuchten. Guericke will damit vor allem die Leute unterhalten, denkt aber auch über den Nutzen dieser elektrischen Kräfte nach.<sup>4</sup>

→ Hintergrundwissen Otto von Guericke:

Er erfindet die erste Luftpumpe, bekannt wird er vor allem durch sein Experiment mit den „Magdeburger Halbkugeln“. Hier sind 16 Pferde nicht im Stande, zwei Halbkugeln, die Guericke mit Hilfe seiner Luftpumpe leer gepumpt hat (Vakuum), auseinander zu ziehen.<sup>5</sup>

Stephen Gray (1666-1736), ein englischer Naturwissenschaftler, stellt fest, dass es bestimmte Stoffe gibt, welche die Elektrizität von Bernstein (bzw. anderer aufgeladener Stoffe) blitzschnell weiterleiten. Er teilt 1729, nach vielen Versuchen, die Stoffe in elektrische Leiter (Konduktor) und Nichtleiter (Isolator) ein.

Für die Geschichte der Elektrizität als wichtig erweist sich folgendes Experiment von Gray: Er hängt auf Ösen aus Seide einen langen Bindfaden aus Hanf zwischen Zimmer und Garten auf und berührt den Faden an einem Ende mit einem geriebenen (also elektrisch aufgeladenen) Glasstab. Die dadurch bewirkte Aufladung des Bindfadens ist unmittelbar auch am anderen Ende des Fadens nachweisbar, allerdings abgeschwächt.

Hierzu muss erwähnt werden, dass ihm dabei das feuchte Wetter in England zu Hilfe kommt, dadurch ist der Faden feucht und wird so leitfähig. Gray hat somit bewiesen, dass Elektrizität über große Entfernungen weitergeleitet werden kann.<sup>6</sup> Freundliche Historiker bezeichnen diesen in den Garten hinausführenden Faden als erste „Hochspannungsleitung in der Weltgeschichte“.<sup>7</sup>

1745 wird der erste Kondensator (dieser Begriff wurde aber erst von Alessandro Volta eingeführt) erfunden, die Leidener Flasche. Sie erlaubt, elektrische Ladung zu speichern. Erfunden wird sie unabhängig voneinander von Ewald Georg von Kleist und Pieter van Musschenbroek. Die erste Leidener Flasche muss man sich folgendermaßen vorstellen: in eine mit Wasser gefüllte Flasche wird ein langer Eisennagel gesteckt, sodass der Kopf des Nagels aus dem Flaschenhals ragt. Man hält die Flasche in der Hand und lässt Funken aus einer Elektrysiermaschine in den Nagelkopf schlagen. Berührt man den Nagel anschließend mit der anderen Hand, erhält man einen heftigen Schlag.<sup>8</sup>

Hintergrund dieses Experiments ist, dass Wasser (wahrscheinlich ein wenig salzig) und eine Hand (wahrscheinlich ein wenig verschwitzt), also zwei leitende Flächen, durch einen perfekten Isolator (Dielektrikum) in Form von dünnwandigem Glas getrennt sind. Genau dies führt zur Speicherung von Elektrizität, in dem sich die positiven und die negativen Ladungen anziehen, aber durch die Glasschicht nicht zueinander können.<sup>9</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. Fischer 2011, 41 – 44.

<sup>5</sup> Vgl. Ebda., 43.

<sup>6</sup> Vgl. Boëtius 2006, 36.

<sup>7</sup> Vgl. Fischer 2011, 45.

<sup>8</sup> Vgl. Boëtius 2006, 59f.

<sup>9</sup> Vgl. Ebda., 60f.

Kleist schreibt dazu in einem Brief an J.G. Krüger (veröffentlicht 1746):

*„Wenn ein starker Draht in ein einhalsiges Medicinglaeschen gesteckt und electricisirt wird, so erfolgen besonders starke Wirkungen. Wird waehrend Electricisieren der Finger an den Nagel gehalten, so ist der Schlag so stark, daß Arm und Achseln davon erschuettert werden.“*<sup>10</sup>

1752 erfindet Benjamin Franklin (1706 – 1790) den Blitzableiter. Er kommt auf die (ziemlich verrückte) Idee, einen Drachen bei einem Gewitter steigen zu lassen, um so die Elektrizität in Gewitterwolken zu erforschen. Dazu bindet er einen metallischen Faden an seinen Drachen und lässt ihn steigen, um somit die atmosphärische Elektrizität anzuzapfen – mit dem Ergebnis, dass er einen kräftigen Schlag erhält.<sup>11</sup>

In diesen Jahren werden viele (nicht ganz ungefährliche) Experimente mit Elektrizität durchgeführt. Es gibt immer wieder auch Versuche mit Menschen und Tieren. Stephen Gray lässt einen Knaben auf Schnüren in der Luft hängen, um zu untersuchen, ob der menschliche Körper Elektrizität leiten kann (1730). Abbé Nollet (1700 – 1770), der erste französische Professor für Experimentalphysik, führt 1739 dem französischen König Ludwig XV in Versailles vor, wie sich ein elektrischer Schlag durch eine Menschenkette von 180 Personen fortpflanzt.

Tragischer Höhepunkt der Experimente mit Blitzen ist der Tod des Physikers Georg Wilhelm Richmann (1711 – 1753). Er kommt einem Messstab, der von einem Blitz getroffen wird, zu nahe, der Blitz springt auf Richmann über und tötet ihn.<sup>12</sup>

Die nächste bahnbrechende Erfindung gelingt 1800 Alessandro Volta (1745 – 1827), der die „erste wirklich praktisch brauchbare Stromquelle“<sup>13</sup>, also die erste Batterie erfindet – die Volta-Säule. Diese besteht aus Kupfer- und Zinkplättchen, die jeweils durch Filz- oder Pappscheiben getrennt sind. Diese Scheiben werden mit einer stromleitenden Flüssigkeit getränkt, zum Beispiel mit verdünnter Schwefelsäure oder einer Kochsalzlösung. Das Kupferende ist dabei der Pluspol, das Zinkende der Minuspol.<sup>14</sup>

Diese Säulen produzieren eine Spannung, die sich addieren lässt, wenn man Voltasäulen „aufeinanderschichtet“, also in Serie schaltet, und liefern eine wesentlich höhere Strommenge als die Elektrisiermaschinen.<sup>15</sup> Bei einer Parallelschaltung maximiert sich der entnehmbare Strom, Volta nennt eine solche Serien- oder Parallelschaltung seiner elektrochemischen Zellen Batterie.<sup>16</sup>

1820 entdeckt Hans Christian Ørsted (1777 – 1851) zufällig, dass sich eine (magnetische) Kompassnadel bewegt, wenn sie sich in der Nähe eines stromdurchflossenen Drahtes befindet. Immer wenn man den Strom ein- bzw. ausschaltet, bewegt sich die Nadel, obwohl diese den Draht gar nicht berührt. Er ersetzt daraufhin die Kompassnadel durch einen festen Magneten und lagert den stromdurchflossenen Draht beweglich. Auch hier kann er das Phänomen erkennen, dass sich der Draht bewegt, wenn dieser mit Strom versorgt wird. Er

---

<sup>10</sup> Kloss 1987, 45.

<sup>11</sup> Vgl. Boëtius 2006, 43f.

<sup>12</sup> Vgl. Kloss 1987, 30-35.

<sup>13</sup> Fischer 2011, 59.

<sup>14</sup> Vgl. Ebda., 58f.

<sup>15</sup> Vgl. Boëtius 2006, 82.

<sup>16</sup> Vgl. Sjobbema 1999, 21.

kommt zu der Erkenntnis, dass ein stromdurchflossener Leiter ein sich umgebendes Magnetfeld erzeugt und hat somit den Elektromagnetismus entdeckt.<sup>17</sup>

Daraufhin macht auch der französische Physiker und Mathematiker André-Marie Ampère (1775 – 1836) Versuche mit Strom und Magneten und findet heraus, dass die Stärke des Magnetfeldes direkt proportional abhängig zur Stärke des Stromes ist.<sup>18</sup>

Michael Faraday (1791 – 1867), englischer Experimentalphysiker, will nach Ørsteds Versuchen nun auch die Umkehrung beweisen, nämlich dass ein Magnetfeld Strom erzeugen kann. Bis Faraday einen Erfolg vermelden kann, vergeht rund ein Jahrzehnt. Erst 1831 gelingt ihm die Erfindung der Induktionsspule.<sup>19</sup> Rotiert eine Metallscheibe zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten, kann elektrischer Dauerstrom erzeugt werden. Als Konsequenz dieser Entdeckung entstehen der Generator und der Elektromotor.<sup>20</sup>

Faraday und Ørsted sind viel zu sehr theoretische Wissenschaftler, als dass sie wirklich praktische Lösungen für ihre Entdeckungen, also angewandte Elektromotorik, liefern können. Daher dauert es wiederum Jahre, bis die ersten Dynamos entstehen. Der erste, der einen funktionierenden Dynamo vorweisen kann, ist 1832 der Franzose Hippolyte Pixii (1808 – 1835). Er versetzt einen Hufeisenmagnet mit Hilfe eines Kegelradgetriebes in schnelle Umdrehung und montiert über den beiden Polen des Magneten (M) in geringen Abstand einen Elektromagnet (E), um dessen hufeisenförmiges Weicheisen je eine Drahtspule gewickelt ist, und zwar gegenläufig (Abb.1). Er erzeugt damit Wechselstrom, was zu dieser Zeit noch als Nachteil gesehen wird, deswegen fügt er seinem Apparat einen Stromwender (Kommutator) hinzu, um so Gleichstrom zu erzeugen.<sup>21</sup>

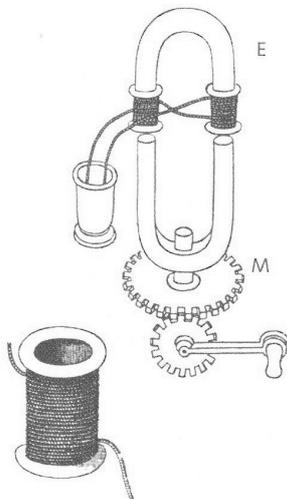


Abb. 1: Pixiis Dynamo (1832) (Boëtius 2006, 122)

Der englische Mechaniker Edward M. Clarke (1806 – 1859) macht einen weiteren Schritt, er lagert die Spulen drehbar und lässt sie senkrecht zu dem aufrecht stehenden Magneten rotieren.<sup>22</sup>

<sup>17</sup> Vgl. Fischer 2011, 66f.

<sup>18</sup> Vgl. Boëtius 2006, 99.

<sup>19</sup> Vgl. Fischer 2011, 77f.

<sup>20</sup> Vgl. Boëtius 2006, 112.

<sup>21</sup> Vgl. Ebda., 122.

<sup>22</sup> Vgl. Ebda., 123.

Schwachpunkt dieser Maschinen sind die eingesetzten Dauermagnete, da die erzeugte Stromstärke von der Stärke der Magneten und der Rotationsgeschwindigkeit abhängt und beides nicht beliebig gesteigert werden kann. Abhilfe schaffen die Elektromagneten.<sup>23</sup>

Der entscheidende Durchbruch gelingt 1867 dem deutschen Erfinder und Industriellen Werner von Siemens (1816 – 1892), der es schafft, den für den Elektromagneten nötigen Strom (der den Wirkungsgrad der Maschine verringert) zu vermeiden. Hierbei macht er sich zu Nutze, dass auch nach dem Abschalten des Stromes in einem Elektromagneten ein gewisser Rest an magnetischer Kraft zurückbleibt (Restmagnetismus). Siemens dynamoelektrisches Prinzip bewirkt, dass sich der Elektromagnet eines Generators selbst in Gang bringt (Selbsterregung).<sup>24</sup>

Die Erkenntnis, dass sich elektrischer Strom entlang eines Leiters bewegt, führt zur Erfindung der elektrischen Telegraphie. Erste Versuche unternimmt 1804 dazu der Spanier Francesc Salvà i Campillo, der einen Elektrolyt-Telegraphen baut.<sup>25</sup> Den ersten Nadeltelegraphen entwickeln 1834 Carl Friedrich Gauß (1777 – 1855) und Wilhelm Eduard Weber (1804 – 1891), 1837 konstruiert Samuel Morse (1791 – 1872) den ersten brauchbaren Schreibtelegraphen, von ihm stammt auch das in der Telegraphie verwendete Morsealphabet aus Strichen und Punkten.<sup>26</sup>

Johann Philip Reis (1834 – 1874) gelingt 1863 als erstem die elektrische Übertragung von Klängen und Geräuschen, er baut also das erste Telefon. Das erste magnetelektrische Telefon lässt sich 1876 Alexander Graham Bell (1847 – 1922) patentieren – nur zwei Stunden vor Elisha Gray (1835 – 1901) – was zu einem erbitterten Rechtsstreit führt.<sup>27</sup>

→ Hintergrundwissen: Das erste Telefongespräch:

Viele Geschichten ranken sich um das erste Telefongespräch von Johann Philip Reis. Er ist Lehrer für Mathematik und Physik in Friedrichsdorf (GER) und hat sich in einer Scheune eine gut ausgerüstete Werkstatt eingerichtet, in der er in den Freistunden experimentiert. Er rekonstruiert ein menschliches Ohr aus Holz und imitiert auch die Funktion des Trommelfells und der Gehörknöchelchen mit Wursthaut und Platinstreifen. Durch eine angeschlossene Batterie kann er, wenn er in das Ohr spricht, Schallschwingungen in elektrische Schwingungen umwandeln und diese über Kabel weiterleiten. Als Empfänger dient eine Stromspule, in der eine Stricknadel steckt, welche die Töne hervorbringt.

Mit seinem Kollegen, dem Musiklehrer H.F. Peter soll Reis das erste Gespräch geführt haben mit dem berühmten Worten: „Das Pferd frisst keinen Gurkensalat.“ Reis soll verstanden haben: „Das Pferd frisst.“<sup>28</sup>

<sup>23</sup> Vgl. Boëtius 2006, 126.

<sup>24</sup> Vgl. Fischer 2011, 96 – 101.

<sup>25</sup> Mit 26 Leitungen an deren Ende sich Glasröhrchen mit Flüssigkeit gefüllt befinden, welche bei einem Stromstoß zersetzt werden.

<sup>26</sup> Vgl. Kloss 1987, 119 – 123.

<sup>27</sup> Vgl. Kloss 1987, 141 und 143; Sjobbema 1999, 54f; Gööck 1988, 105.

<sup>28</sup> Vgl. Gööck 1988, 97ff.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wird auch mit der Einführung elektrischer Beleuchtung begonnen. Erste elektrische Lampen sind die sogenannten Bogenlampen, die 1809 vom englischen Naturwissenschaftler Sir Humphrey Davy (1778 – 1829) erfunden werden. Er entdeckt, dass zwischen zwei an eine Batterie angeschlossene Holzkohlestifte, deren Spitzen sehr nahe zusammen gehalten werden, ein heller Lichtbogen entsteht.<sup>29</sup>

Der entscheidende Durchbruch gelingt 1879 Thomas Alva Edison (1847 – 1931). Er entwickelt eine Glühlampe mit Kohlefäden aus Bambusfasern, die erste Glühlampe mit einer längeren Lebensdauer. Somit steht einer vollständigen Elektrifizierung von Haushalten, Fabriken und ganzen Städten nur noch eines im Weg: der bis dahin übliche Gleichstrom und die damit verbundenen Schwierigkeiten, diesen zu transportieren, denn das ist nur wenige hundert Meter weit möglich.<sup>30</sup>

Zum endgültigen Umstieg auf Wechselstrom bedarf es noch einer Erfindung, die des Transformators. 1885 melden die Ungarn Karoly Zipernowsky (1853 – 1942), Miksa Déri (1854 – 1938) und Ottó Títusz Bláthy (1860 – 1939) ein Patent auf ihren Trafo an. Somit ist man in der Lage, niedrige Spannungen in hohe Spannungen zu transferieren und der Strom kann ab nun mit nur geringen Verlusten über längere Strecken transportiert werden.<sup>31</sup>

→ Hintergrundwissen: „Stromkrieg“ in den USA:

Ende des 19. Jahrhunderts sind die USA in zwei Lager gespalten, die Anhänger des Gleichstroms (allen voran Thomas Alva Edison) und die Anhänger des Wechselstroms (Nicola Tesla (1856 – 1943) und George Westinghouse (1846 – 1914)). Edison hat mit seinen Glühlampen anfangs den klaren Vorteil, denn diese benötigen, die von seinen Kraftwerken gelieferten 110V. Edison nennt den Wechselstrom häufig als gefährlich, was unter anderem zur Erfindung des elektrischen Stuhls führt, welchen er zur Demonstration der tödlichen Wirkung mit Wechselstrom betreibt. Erst als bei den Niagara-Fällen ein riesiges Kraftwerk gebaut werden soll und Westinghouse den Zuschlag erhält, weil eine für Gleichstrom zu große Entfernung zu überwinden ist, steht dem Siegeszug des Wechselstroms nichts mehr im Weg.<sup>32</sup>

Ebenfalls Ende des 19. Jahrhunderts wird mit der Elektrifizierung des Transportwesens begonnen. Zunächst im Bereich der elektrische Straßenbahnen (die erste entstand 1881 in Berlin), dann folgen U-Bahnen (1890 in London) und schlussendlich die erste elektrische Eisenbahnstrecke, die 1899 in der Schweiz eröffnet wird.<sup>33</sup>

Auch auf vier Rädern (oder teilweise auf nur drei) bewegt man sich in dieser Zeit elektro-getrieben voran. 1883 entstehen die ersten brauchbaren, mit Akkumulatoren betriebenen Kraftfahrzeuge, zum Beispiel Autos, Omnibusse, Taxis, Feuerwehr- und Polizeiautos. Auch die ersten Hybrid-Autos, Kraftfahrzeuge mit

---

<sup>29</sup> Vgl. Sjobbema 1999, 21f.

<sup>30</sup> Vgl. Boëtius 2006, 149 – 155.

<sup>31</sup> Vgl. Fischer 2011, 113.

<sup>32</sup> Vgl. Boëtius 2006, 138 – 141.

<sup>33</sup> Vgl. Kloss 1987, 201 – 204.

benzin-elektrischem Antrieb, entstehen bereits rund um die Jahrhundertwende. Ab den 1920er Jahren werden die Elektromobile allerdings vollständig von den benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeugen verdrängt. Gründe dafür sind die begrenzte Reichweite und die ab 1908 mit dem Ford T-Modell beginnende Fließbandfertigung benzinbetriebener Autos.<sup>34</sup>

Noch im Jahr 1900 wurden die ersten Autos belächelt. Zitate aus dieser Zeit:

*„Wegen der begrenzten Anzahl an Chauffeuren wird die weltweite Nachfrage nach Automobilen die Zahl 5000 nicht übersteigen.“* (Marktanalyse von Mercedes Benz, 1900)<sup>35</sup>

*„Ich glaube an das Pferd. Das Automobil ist nur eine vorübergehende Erscheinung.“*  
(Kaiser Wilhelm II, 1900)<sup>36</sup>

1886 kann Heinrich Hertz (1857 – 1894) als Erster mit Hilfe eines Oszillators elektromagnetische Wellen erzeugen. Guglielmo Marconi (1874 – 1937) setzt genau diese elektromagnetischen Wellen ein, um Telegrafie durch die Luft betreiben zu können, losgelöst von Kabeln und Drähten. Schon 1903 können im Zuge der ersten transatlantischen Funkverbindung Grußbotschaften von Präsident Theodore Roosevelt und dem englischen König Edward VII ausgetauscht werden. Dies ist übrigens nur möglich, weil eine Schicht in der Ionosphäre zirka 100 km über der Erde in der Lage ist, Kurzwellen (also Radiosignale) elektromagnetischer Art zu reflektieren. Ansonsten würden auf Grund der Krümmung der Erde elektromagnetische Wellen einfach im Weltall verschwinden.<sup>37</sup>

1897 entdeckt Joseph John Thomas (1856 – 1940) das Basisteilchen Elektron<sup>38</sup> und Ferdinand Braun (1850 – 1918) konstruiert eine Katodenstrahlröhre („Braunsche Röhre“), den Vorläufer der Fernsehröhre.<sup>39</sup>

Das Ende des 19. Jahrhunderts ist eine Zeit voller neuartiger Erfindungen unter anderem Wechselstromgenerator, Universalmessgerät, Telefon, Glühbirne, elektrisch betriebene Aufzüge, elektrische Transportmittel, Transformator, elektrisches Bügeleisen, elektrifizierte Küche und vieles mehr<sup>40</sup>, was den Leiter des amerikanischen Patentamtes 1899 vorschlagen lässt, sein Amt zu schließen mit der Begründung:

*„Alles Erfindbare ist jetzt erfunden.“*<sup>41</sup>

Sir John Ambrose Fleming (1849 – 1945) stellt 1904 die erste (Röhren-) Diode (Elektronenröhre mit Anode und Katode) vor, welche in der Lage ist, einen Wechselstrom in Gleichstrom zu verwandeln. Aus der Diode entsteht bald eine Triode, indem zwischen Anode und Katode ein drittes metallisches Bauteil geschoben wird, das Gitter. Diese Triode agiert wie ein Relais, denn durch die an das Gitter angelegte Spannung können die Elektronen auf ihren Weg zur Anode verlangsamt oder beschleunigt werden, was die Triode zum ersten elektronischen Verstärker macht. Erfunden wird sie von Lee De Forest (1873 – 1961) im Jahr 1907.<sup>42</sup>

---

<sup>34</sup> Vgl. Kloss 1987, 215 – 218.

<sup>35</sup> Golluch 2016, 29

<sup>36</sup> Ebda., 29.

<sup>37</sup> Vgl. Fischer 2011, 220 – 230.

<sup>38</sup> Siehe mehr dazu im nächsten Kapitel.

<sup>39</sup> Vgl. Fischer 2011, 213 – 217.

<sup>40</sup> Vgl. Ebda., 352.

<sup>41</sup> Fischer 2011, 352.

<sup>42</sup> Vgl. Fischer 2011, 242ff.

Dieses Jahr gilt auch als Geburtsjahr der Elektronik. Diese Triode ist der Urvater aller Elektronenröhren, viele grundlegende Schaltungstechniken stammen aus dieser Zeit.<sup>43</sup>

In den folgenden Jahren werden mit diesen Elektronenröhren die ersten Rechenmaschinen entwickelt, 1937 baut Konrad Zuse (1910 – 1995) den ersten elektromechanischen Rechner, John von Neumann (1903 – 1957) konstruiert 1945 eine Rechenmaschine, deren grundsätzlicher Aufbau noch bis heute in jedem Computer gleich ist. Sein Computer hat ein Rechenwerk, ein Steuerwerk, einen Speicher und Vorrichtungen für die Ein- und Ausgabe von Daten und Informationen. Diese ersten Rechner sind Maschinen von unglaublicher Größe mit mehreren Tonnen Gewicht, die ein ganzes Einfamilienhaus ausfüllen.<sup>44</sup>

Eine bahnbrechende Erfindung gelingt 1947 den Physikern William B. Shockley (1910 – 1989), John Bardeen (1908 – 1991) und Walter H. Brattain (1902 – 1987), die sich mit Halbleitern beschäftigen und so den Transistor (zusammengesetzt aus „transfer“, also Übertragung und „resistor“, Widerstand) erfinden. Dieser kann, wie die alten Elektronenröhren, sowohl Strom abblocken als auch verstärken, ist jedoch zuverlässiger und besser sowie kleiner und billiger in der Herstellung.<sup>45</sup>

Damit steht dem Siegeszug der Elektronik nichts mehr im Weg. Es folgen 1954 das erste Transistorradio und der erste transistorbestückte Rechenautomat. 1958 erfindet der amerikanische Ingenieur Jack Kilby (1923 – 2005) den ersten Mikrochip (integrierter Schaltkreis).<sup>46</sup>

Ab 1954 wird mit Fotoelementen experimentiert und es werden Solarzellen aus Silizium entwickelt. Schwachstelle der Solarzellen ist allerdings deren schlechter Wirkungsgrad von anfänglich nur 10% bis 30% heutzutage, erst die Ölkrise in den 1970er Jahren sorgt für den kommerziellen Erfolg.<sup>47</sup>

Interessant ist, dass ein gewisser Gordon Moore (\*1929), Mitbegründer von Intel, eine Gesetzmäßigkeit bei der Herstellung von Mikrochips entdeckt. Ihm fällt auf, dass sich die mögliche Anzahl der Transistoren auf einem Mikrochip mit festgelegter Größe etwa alle zwei Jahre (heute spricht man von 18 Monaten) verdoppelt. Damit steigt auch die Rechnerleistung entsprechend an. Diese 1965 veröffentlichte Voraussage, die bis heute zutreffend ist, jedoch mittlerweile schon an physikalische Grenzen stößt, geht als „Moore’sches Gesetz“ in die Geschichte ein.<sup>48</sup>

Wie rasant sich die Elektronik in den letzten Jahrzehnten entwickelt hat, ist für alle am Beispiel der Entwicklung des Mobiltelefons ersichtlich. Von anfangs sehr großen Geräten Ende der 80er Jahren über immer kleiner werdende, mit Tasten zu bedienende Mobiltelefone in den 2000er Jahren, bis zu den heutigen Smartphones vergingen nur knapp über 30 Jahre.

In diesem geschichtlichen Überblick über die Elektronik stellt, wie schon das Wort Elektronik verrät, das Elementarteilchen Elektron ein zentrales Element dar, es ist für den ganzen Stromfluss verantwortlich. Doch was ist dieses Elektron nun genau? Eine Erklärung folgt im nächsten Kapitel.

---

<sup>43</sup> Vgl. Sjobbema 1999, 15.

<sup>44</sup> Vgl. Fischer 2011, 280.

<sup>45</sup> Vgl. Ebda., 283f.

<sup>46</sup> Vgl. Kloss 1987, 271f.

<sup>47</sup> Vgl. Fischer 2011, 299ff.

<sup>48</sup> Vgl. Boëtius 2006, 211.

## Elektronen

Wie schon im geschichtlichen Überblick beschrieben, kommt das Wort „Elektron“ aus dem Griechischen und daher, dass in der Antike beobachtet wurde, dass Bernstein, gerieben, eine anziehende Wirkung besitzt. Hermann von Helmholtz (1821 – 1894) prägt im Jahr 1881 den Ausdruck „Atom der Elektrizität“, wobei er damals nichts anderes meint als das heutige „Elektron“.<sup>49</sup>

*„Wenn wir die Hypothese annehmen, daß alle Stoffe aus Atomen zusammengesetzt sind, können wir nicht umhin zu folgern, daß die Elektrizität, die positive wie die negative, in bestimmte elementare Quanta geteilt ist, die sich wie Atome der Elektrizität verhalten.“*

(Hermann von Helmholtz, 1881)<sup>50</sup>

Was Helmholtz nur vermutet, kann 1897 vom Physiker Joseph John Thompson (1856 – 1940) entdeckt werden – das Basisteilchen namens Elektron. Damit wird ein seit Jahrtausenden bewährter Gedanke – nichts ist kleiner als ein Atom (= griechisch für „unteilbar“) – widerlegt.

Thompson experimentiert dazu mit Katodenstrahlen, die sich, wie ihm auffällt, durch ein Magnetfeld ablenken lassen. Er schlussfolgert daraus, dass diese Strahlen elektrisch geladen sein müssen.<sup>51</sup>

J.J. Thompson entdeckt zwar die Elektronen und zieht daraus den Schluss, dass die ganze Elektrizität auf den Eigenschaften und der Beweglichkeit dieser Elektronen beruht, kann aber noch nicht den genauen (und richtigen) Aufbau der Atome erklären. Er stellt sich ein Atom als positiv geladene Masse mit eingestreuten negativ geladenen Elektronen vor, sein Modell wird daher oft auch als Rosinenkuchenmodell bezeichnet.<sup>52</sup>

Ernest Rutherford (1871 – 1931) widerlegt dieses Modell 1911 mit seinem bekannten Streuexperiment, wo er radioaktive Strahlen auf extrem dünne Goldfolie lenkt. Seine Beobachtungen führen zu einem neuen Atommodell, bestehend aus einem, fast die ganze Masse des Atoms umfassenden Atomkern und diesen umkreisende, sehr leichte Elektronen, vergleichbar mit unserem Sonnensystem.<sup>53</sup>

Nils Bohr (1885 – 1962) entwickelt dann 1913 das heute noch in den Schulen gelehrt Atommodell. In seinem Modell haben Elektronen diskrete Bahnen und können auch Sprünge – sogenannte Quantensprünge – zwischen den einzelnen Bahnen machen.<sup>54 55</sup>

---

<sup>49</sup> Vgl. Fischer 2011, 210.

<sup>50</sup> Fischer 2011, 210.

<sup>51</sup> Vgl. Ebda., 213 – 217.

<sup>52</sup> Vgl. Ebda., 217 – 219.

<sup>53</sup> Vgl. Ebda., 248f.

<sup>54</sup> Vgl. Ebda., 252f.

<sup>55</sup> Anmerkung: darauf kann in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden, man würde auf das Spezialgebiet Quantentheorie und Quantenmechanik kommen.

### Aufbau der Atome

Ein Atom besteht aus einem Kern, mit den Elementarteilchen Protonen (positiv geladen) und Neutronen (ungeladen) und einer Hülle, bestehend aus den Elementarteilchen Elektronen (negativ geladen), siehe Abb. 2 und Abb. 3.

Da die Elektronen sich mit großer Geschwindigkeit auf ihren „Umlaufbahnen“ (Schalen) um den Atomkern bewegen, wirken auf sie Fliehkräfte, welche der Anziehungskraft zwischen Protonen und Elektronen entgegenwirken. Deswegen stürzen die Elektronen nicht in den Kern.<sup>56</sup>

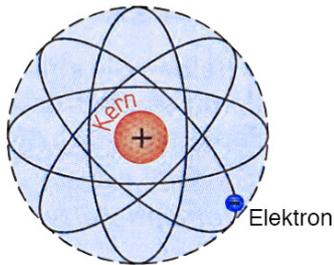


Abb. 2: Atommodell eines Wasserstoffatoms  
(Bastian u. a. 2002, 20)

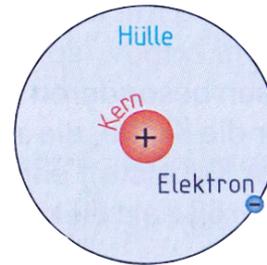


Abb. 3: Vereinfachte Darstellung  
(Bastian u. a. 2002, 20)

Protonen und Elektronen tragen die kleinste mögliche elektrische Ladung (Formelzeichen  $Q$ ), sie werden Ladungsträger (mit der Elementarladung  $e$  von  $1,602 \cdot 10^{-19}$  Coulomb) genannt.<sup>57</sup>

---

<sup>56</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 20.

<sup>57</sup> Vgl. Ebda., 20.

→ Versuch: Elektrische Ladung

Der Versuch, den die alten Griechen mit Bernstein gemacht haben, kann ähnlich nachgestellt werden.

Ein Kunststoffstab (zum Beispiel aus Polystyrol) wird an einem trockenen Wolltuch gerieben und über Papierschnitzel gehalten – diese werden angezogen (Abb. 4).

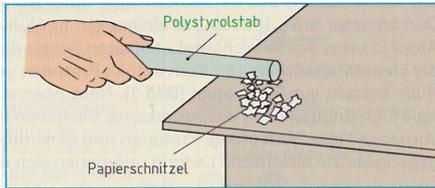


Abb. 4: Polystyrolstab und Papierschnitzel (Bastian u. a. 2002, 19)

Zwei Polystyrolstäbe werden an einem Wolltuch gerieben und einer davon wird drehbar an einem dünnen Faden aufgehängt – die beiden stoßen sich ab (Abb. 5).

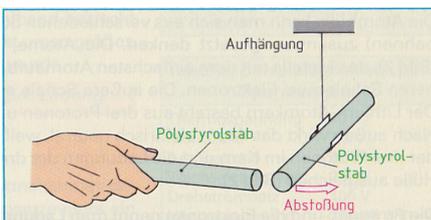


Abb. 5: zwei Polysytolstäbe (Bastian u. a. 2002, 19)

Ein Polystyrolstab und ein Acrylglasstab werden an einem Wolltuch gerieben und wieder wird ein Stab drehbar aufgehängt – die Stäbe ziehen sich an (Abb. 6).

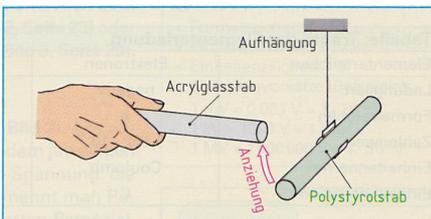


Abb. 6: Polystyrolstab und Acrylglasstab (Bastian u. a. 2002, 19)

Es ist erkennbar, dass der Polystyrolstab und der Acrylglasstab entgegengesetzt elektronisch geladen sind, gleichartige elektronische Ladungen stoßen sich ab, ungleichartige ziehen sich an.<sup>58</sup>

Atome können aus ihrer äußeren Schale Elektronen an andere Atome abgeben, die sich dann in deren äußere Schale einfügen. Solche Elektronen nennt man Valenzelektronen.

Unterscheidet sich die Anzahl der Elektronen und Protonen in einem Atom, so wird dies ein Ion (positives Ion, wenn Elektronen fehlen, negatives Ion, wenn es mehr Elektronen als Protonen besitzt) genannt.<sup>59</sup>

In Flüssigkeiten und Gasen transportieren ionisierte Atome oder Moleküle elektrische Ladungen, in dem sie zu den jeweils gegenpoligen Spannungsanschlüssen wandern. In festen Metallen hingegen kommt es zu keinen Ionisierungsvorgängen. Metallatome binden sich aneinander, indem sie einen Teil ihrer

<sup>58</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 19.

<sup>59</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 26.

Valenzelektronen abstoßen, welche dann zu frei beweglichen Elektronen werden. Diese freien Elektronen bewirken die hohe elektrische Leitfähigkeit von metallischen Leitern.<sup>60</sup>

Die Grundlage der Elektronik bilden die sogenannten Halbleiter, mit ihnen werden die elektronischen Bauteile Diode und Transistor in all ihren verschiedenen Ausführungen hergestellt.

## **Halbleiter und der pn-Übergang**

Schon im 18. Jahrhundert klassifiziert Stephen Gray die Stoffe in Leiter und Nichtleiter, 1873 entdeckt Willoughby Smith (1828 – 1891), dass sich die Leitfähigkeit von Selen unter Lichteinwirkung verändert. Diese Stoffe, die eine veränderliche Leitfähigkeit aufweisen, werden ab 1911 Halbleiter genannt.<sup>61</sup>

Elektrische Leiter besitzen, zusätzlich zu den in den Schalen gebundenen Elektronen, so genannte freie Elektronen. Diese freien Elektronen bewirken die zum Beispiel für Metalle übliche, ausgezeichnete elektronische Leitfähigkeit.<sup>62</sup>

Nichtleiter (sogenannte Isolatoren) besitzen eben diese freien Elektronen nicht, da alle (oder fast alle) Valenzelektronen zur Bindung der Atome verwendet werden, es fehlen die Ladungsträger.<sup>63</sup>

Bei Halbleitern sind grundsätzlich alle Valenzelektronen zum Binden der Atome erforderlich, doch lassen sich diese leicht, zum Beispiel durch Erhöhung der Temperatur, „überzeugen“, einen Teil der gebundenen Elektronen zum Transport der elektrischen Ladung aus ihrer Bindung zu befreien.<sup>64</sup> Werden Elektronen freigesetzt, entsteht an deren Stelle eine positiv geladene Lücke oder ein Loch (auch Defektelektron genannt), wobei diese Löcher fiktive Teilchen mit gleichen Eigenschaften wie die Elektronen, doch mit positiver Elementarladung, sind.<sup>65</sup>

Diese Defektelektronen können wie Elektronen durch das Halbleitermaterial wandern. Wird eine Spannung an einen Halbleiter angelegt, dann besteht die Elektrizitätsleistung in einem zum positiven Pol gerichteten Elektronenstrom und einem zum negativen Pol gerichteten Defektelektronenstrom.<sup>66</sup>

Silizium und Gallium sind heute wichtigste Halbleiterelemente. Um sie wirklich brauchbar für die Herstellung elektronischer Bauteile zu machen, muss man diese mit anderen Elementen gezielt verunreinigen, also dotieren. Silizium, welches vier Elektronen in der äußeren Schale besitzt, wird zum Beispiel mit Phosphor dotiert. Dabei wird ein Elektron vom Phosphoratom nicht für die Bindung benötigt und es wird zu einem freien Elektron – zum Leitungselektron. Es wird vom n-leitenden Halbleiter (n-Typ) gesprochen (Abb. 7).<sup>67</sup>

---

<sup>60</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 26f.

<sup>61</sup> Vgl. Gööck 1988, 209.

<sup>62</sup> Vgl. Zastrow 2012, 22.

<sup>63</sup> Vgl. Gööck 1988, 209.

<sup>64</sup> Vgl. Ebda., 209.

<sup>65</sup> Vgl. Zastrow 2012, 22; Gööck 1988, 209.

<sup>66</sup> Vgl. Gööck 1988, 209.

<sup>67</sup> Vgl. Zastrow 2012, 23.

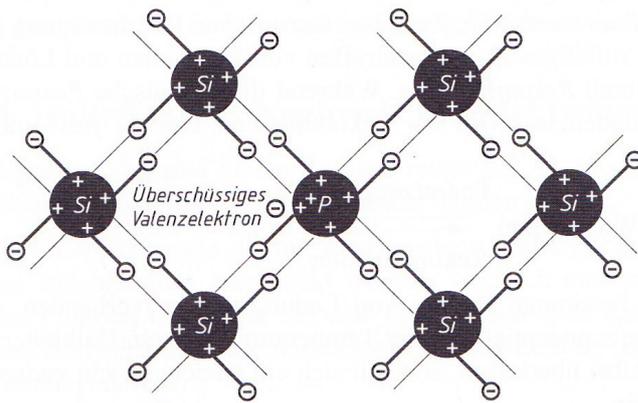


Abb. 7: p-dotiertes Silizium (n-Typ) (Zastrow 2012, 23)

Silizium kann auch zum Beispiel mit Aluminium dotiert werden. Aluminium besitzt nur drei Elektronen in der äußeren Hülle, in der Verbindung mit Silizium fehlt also ein Elektron. An dieser Stelle entsteht ein positives Defektelektron, welches ebenso beweglich ist wie ein Elektron. Es wird hier vom p-leitenden Halbleiter (p-Typ) gesprochen (Abb. 8).<sup>68</sup>

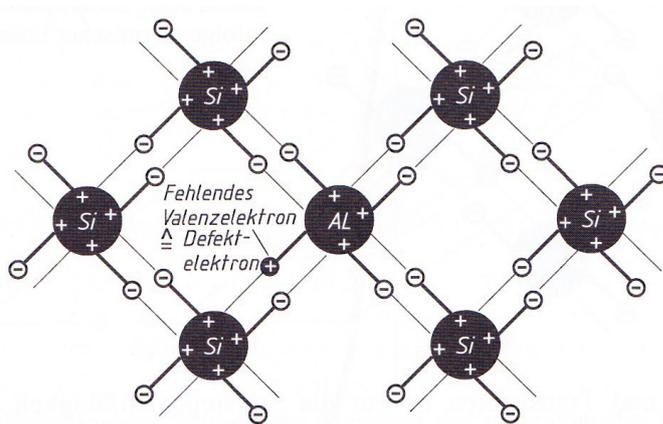


Abb. 8: n-dotiertes Silizium (p-Typ) (Zastrow 2012, 23)

Solche homogen dotierten Halbleiterschichten (also entweder n-Typ oder p-Typ) weisen nur einfaches, temperaturabhängiges Widerstandsverhalten auf. Wird ein Halbleiter jedoch inhomogen dotiert, eine Seite als n-Typ und die andere Seite als p-Typ, so entsteht ein elektronisches Bauteil mit der Eigenschaft eines stromrichtungsabhängigen Schalters, eine Diode.<sup>69</sup>

Der Punkt, an dem die beiden unterschiedlich geladenen Schichten aufeinander treffen, wird pn-Übergang genannt. Hier wandern Löcher aus der p-Schicht durch die Grenzfläche in die n-Schicht und auch umgekehrt Elektronen von der n-Schicht in die p-Schicht. Die Elektronen füllen also in der Umgebung des Übergangs die Löcher auf. In dieser sogenannten Grenzschicht stehen somit keine oder nur noch wenige bewegliche Ladungsträger zur Verfügung, diese Zone weist deshalb hohen elektrischen Widerstand auf.<sup>70</sup>

<sup>68</sup> Vgl. Zastrow 2012, 23.

<sup>69</sup> Vgl. Ebda., 26.

<sup>70</sup> Vgl. Gööck 1988, 210.

Wird jedoch an eine pn-Schichtenfolge von außen eine Spannung angelegt, führt dies zu zwei verschiedenen Betriebsfällen, Sperr- und Durchlassrichtung.<sup>71</sup>

Wird die angelegte Gleichspannung so gepolt, dass der Minuspol am p-Halbleiter und der Pluspol am n-Halbleiter liegt, werden die beweglichen Löcher des p-Bereichs vom negativen Pol der Spannung angezogen, wie die Elektronen des n-Bereichs vom positiven Pol. Die Grenzschicht verbreitert sich dadurch und wird zu einer Sperrschicht. Sie lässt keinen Stromfluss mehr zu, der pn-Übergang ist in Sperrrichtung gepolt.<sup>72</sup> Wird die angelegte Spannung umgekehrt, tritt die entgegengesetzte Wirkung ein, die Grenzschicht verengt sich und somit wird der pn-Übergang, ab einer sogenannten Schleusen- oder Durchlassspannung, stromdurchlässig. Der pn-Übergang ist in Durchlassrichtung gepolt, schon bei geringer Spannungserhöhung nimmt der Strom stark zu, er fließt vom p- zum n-Gebiet.<sup>73</sup>

## Der elektrische Stromkreis

Der einfachste Stromkreis besteht aus einem Erzeuger (Batterie, Akkumulator, Generator oder Solarzelle), einem Verbraucher (Lampe, LED, Widerstand, Elektromotor usw.) und einer Hin- sowie Rückleitung (Abb. 9). Elektrischer Strom kann nur in einem geschlossenen Stromkreis fließen.<sup>74</sup>

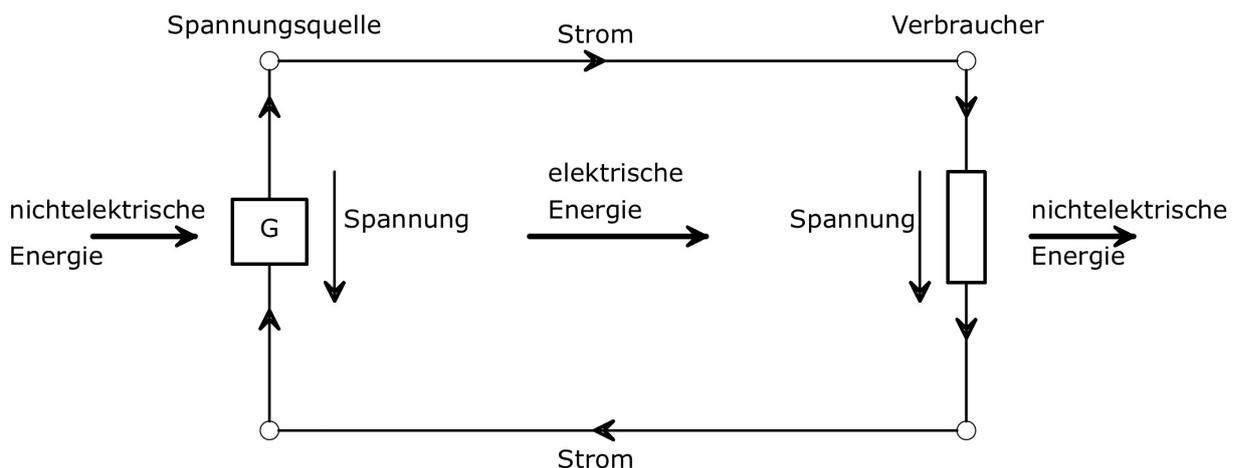


Abb. 9: einfachster Stromkreis mit Spannungsquelle, Verbraucher, Hin- und Rückleitung

## Spannungsquelle / Stromquelle

Es wird zwischen Spannungs- und Stromquellen unterschieden:

- eine Spannungsquelle liefert eine (möglichst) belastungsunabhängige Quellenspannung
- eine Stromquelle einen (möglichst) belastungsunabhängigen Quellstrom<sup>75</sup>

Spannungsquellen sind zum Beispiel Generatoren (Spannungserzeugung mittels Induktion), Batterien und Akkumulatoren (Spannungserzeugung durch elektrochemische Vorgänge) oder Fotoelemente (hier erfolgt

<sup>71</sup> Vgl. Zastrow 2012, 26.

<sup>72</sup> Vgl. Gööck 1988, 210f.

<sup>73</sup> Vgl. Zastrow 2012, 26; Gööck 1988, 211.

<sup>74</sup> Vgl. Bastian u.a. 2002, 15.

<sup>75</sup> Vgl. Zastrow 2012, 3.

die Spannungserzeugung durch Sonnenenergie, also Licht).<sup>76</sup> Eine einfache Stromquelle, aber mit geringem Wirkungsgrad, lässt sich zum Beispiel aus einer Spannungsquelle und einem entsprechend hohen Vorwiderstand herstellen. Eine solche Schaltung wird zum Betreiben von Leuchtdioden verwendet.<sup>77</sup>

→ Hintergrundwissen Alessandro Volta (1745 – 1827):

Luigi Galvani (1737 – 1798) bringt 1780 in seinem berühmten Experiment Froschschenkel zum Zucken, indem er in deren Nähe mittels einer Elektrisiermaschine Funken entstehen lässt. Er nennt dies die „tierische Elektrizität“. Bei weiteren Experimenten stellt er fest, dass die Froschschenkel auch zucken, wenn sie nur mit zwei verschiedenen, miteinander verbundenen Metallen in Berührung kommen. Er hat damit die Grundlage für die Entwicklung elektrochemischer Elemente gelegt (die auch nach ihm benannt wurden – Galvanisches Element), auch wenn ihm dies nicht bewusst war.<sup>78</sup>

Sein Freund und Landsmann Volta wiederholt Galvanis Versuche und kommt zu einem anderen Schluss, nämlich dass es keineswegs eine „tierische Elektrizität“ gibt, sondern die Elektrizität von den Metallen erzeugt wird. Er platziert feuchte Lappen zwischen verschiedenen Metallen und auch diese beginnen zu zucken (bzw. verformen sich). Er schlussfolgert daraus, dass zwischen verschiedenen Metallen Strom fließen kann und sich zwischen zwei, aus unterschiedlichem leitfähigen Material bestehenden Platten, eine Spannung aufbaut (er nennt dieses Phänomen großzügigerweise „Galvanismus“). Als „galvanisches Element“ bezeichnet er die Anordnung von zwei Metallplatten und einem leitenden Medium.<sup>79</sup>

Nach Versuchen mit verschiedenen Metallen konstruiert er das sogenannte Voltaelement, bestehend aus einer Kupfer- und einer Zinkscheibe, getrennt durch eine elektrolytisch getränkte Filzscheibe.

Danach schichtet er diese Elemente übereinander und hat so 1800 die erste Batterie erfunden – die Voltasäule.<sup>80</sup>

---

<sup>76</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 22.

<sup>77</sup> Vgl. [https://de.wikipedia.org/wiki/Stromquelle\\_\(Schaltungstheorie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Stromquelle_(Schaltungstheorie)), 20.03.2017.

<sup>78</sup> Vgl. Gööck 1988, 30.

<sup>79</sup> Vgl. Fischer 2011, 63; Kloss 1987, 74.

<sup>80</sup> Vgl. Fischer 2011, 65.

→ Versuch: Zitronenbatterie

Aus Zitronen, Kupfer und Zink kann sehr anschaulich eine Batterie gebaut und das Prinzip einer Batterie erläutert werden. Dazu benötigt man lediglich 2-3 Zitronen, verzinkte Nägel, Schrauben oder Blech sowie abisolierten Kupferdraht oder Kupferblech. Die Zitronen werden halbiert, in jede Hälfte wird ein verzinktes Metall und ein Kupferdraht gesteckt (möglichst nahe zusammen, aber ohne dass sich die verschiedenen Metalle berühren) und die Zitronenhälften in Serie geschaltet (siehe Abb. 10). Dabei werden immer die beiden unterschiedlichen Metalle mit einem Kabel verbunden. Das Ende mit dem Kupferdraht bildet den Pluspol der Batterie, das verzinkte Metall den Minuspol.

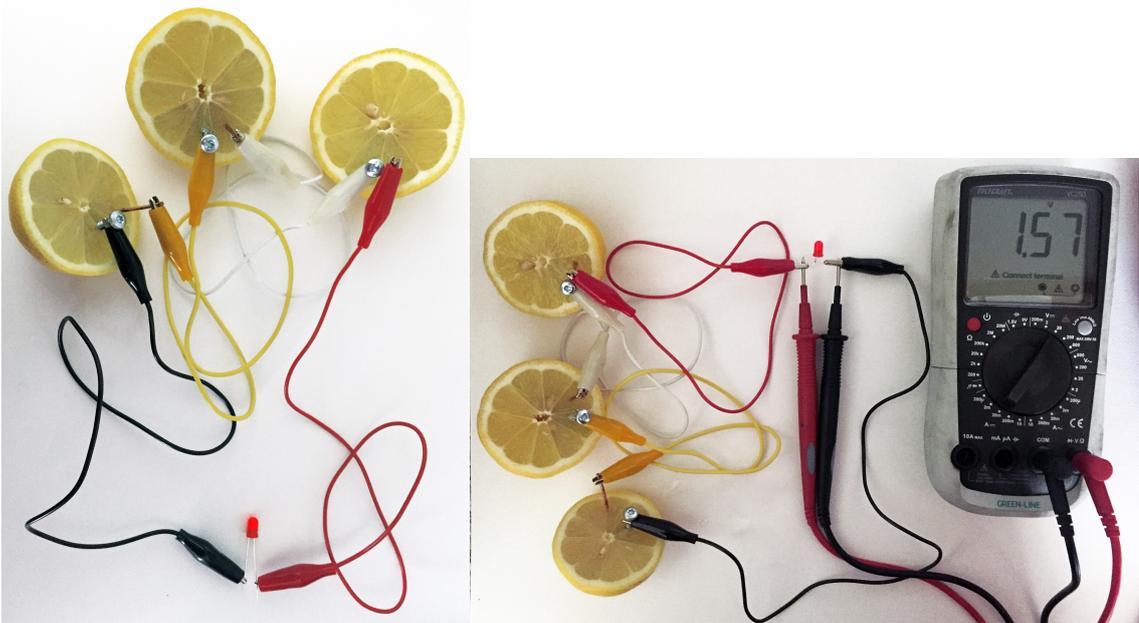


Abb. 10: Aufbau einer Zitronenbatterie mit LED und Messung der Spannung mit dem Multimeter

Wird nun ein Multimeter angeschlossen, kann sehr gut die entstandene Spannung gemessen werden. Je mehr Zitronen in Reihe geschaltet werden, desto höher wird die Spannung, bei sechs Zitronen lag die Spannung zum Beispiel bei über 5V, der Strom ändert sich dadurch nicht. Strom erzeugt die Zitronenbatterie auf Grund des sehr hohen Widerstandes der Zitronen nur im sehr niedrigen Milliampere-Bereich. Dennoch kann es für das Betreiben einer LED ausreichend sein (sehr schwaches Leuchten).

Mit diesem Versuch ist auf sehr simple Art der Aufbau einer Batterie (eines Voltaelements) nachgestellt. Das unedlere Metall (Zink) bildet den Minuspol der Batterie, Zink ist bestrebt, Elektronen abzugeben. Das edlere Metall (Kupfer) ist der Pluspol, Kupfer ist bestrebt, Elektronen aufzunehmen. Die beiden Anschlüsse werden Elektroden genannt. Der Zitronensaft zwischen den Polen ist das Elektrolyt, es nimmt die frei werdenden Elektronen auf und sorgt für den Fluss der Elektronen, für den Stromfluss.<sup>81</sup>

<sup>81</sup> Vgl. Platt 2012, 32f.

## Strom – Bewegung von Elektronen

Als Strom oder Stromstärke wird die Bewegung der Elektronen bezeichnet. Je mehr Elektronen sich bewegen, desto größer ist die Stromstärke. Die Stromstärke  $I$  ist also die durch einen Leiterquerschnitt bewegte Ladung  $Q$  pro Zeit  $t$ .<sup>82</sup>

→ Elektrischer Strom auf einen Blick:

Formelzeichen:  $I$

Einheit: Ampere

Einheitenzeichen: A

Berechnung:  $I = \frac{Q}{t}$

→ Hintergrundwissen André-Marie Ampère (1775 – 1836):

Ampère ist ein mathematisches Wunderkind. Es heißt, dass er bereits mit zwölf Jahren die damals existierende Mathematik beherrscht hat – er hat sich fast alles in der Bibliothek des Vaters selbst beigebracht.<sup>83</sup> Er erarbeitet 1820 innerhalb weniger Wochen die Grundlagen der Elektrodynamik (wie mittels elektrischem Strom Magnetfelder erzeugt werden) und stellt erste Messgeräte her, mit denen er die Ströme in einer Magnetnadel ermitteln kann.<sup>84</sup> Darum wird auch die Stromstärke nach ihm benannt.

Ampère ist einer von 72 berühmten Wissenschaftlern, dessen Name auf dem Eiffelturm verewigt wurde (u. a. auch Coulomb).<sup>85</sup>

## Spannung – Ursache der Bewegung

Als Spannung wird die Ursache der Bewegung der Elektronen bezeichnet, sie entsteht durch Ladungstrennung. Das Ausgleichsstreben getrennter Ladungen ist die elektrische Spannung  $U$ .<sup>86</sup> In einer Spannungsquelle werden die positiven und negativen Ladungen unter Energieaufwand voneinander getrennt. Diese getrennten Ladungen haben das Bestreben, sich auszugleichen: Spannung ist also die zur Trennung aufgewendete Arbeit  $W$  pro Ladung  $Q$ . Ihre Einheit Volt ist nach Alessandro Volta benannt.<sup>87</sup>

→ Elektrische Spannung auf einen Blick:

Formelzeichen:  $U$

Einheit: Volt

Einheitenzeichen: V

Berechnung:  $U = \frac{W}{Q}$

<sup>82</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 24.

<sup>83</sup> Vgl. Boëtius 2006, 101; Platt 2012, 13.

<sup>84</sup> Vgl. Sattelberg 1971, 84f.

<sup>85</sup> Vgl. <http://www.eiffelturm.org/Wissenschaftler/wissenschaftler.html>, 20.03.2017.

<sup>86</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 21.

<sup>87</sup> Vgl. Ebda., 21.

## Widerstand und Leitwert

Kehren wir kurz zum Aufbau der Stoffe durch Atome zurück. Metallatome ordnen sich mehr oder weniger regelmäßig in Form eines räumlichen Gitters (Raumgitter oder Kristallgitter) an. Wenn Strom fließen soll, müssen sich die freien Elektronen durch dieses Gitter bewegen. Für eine gute Leitfähigkeit eines Stoffes sind eine möglichst große Anzahl an freien Elektronen und ein möglichst regelmäßiger Aufbau des Kristallgitters die wesentlichen Voraussetzungen. Kupfer erfüllt diese sehr gut, aus diesem Grund werden fast alle Leitungen aus Kupfer hergestellt, nur Silber hat eine noch höhere Leitfähigkeit.<sup>88</sup>

Da die Atome im Kristallgitter aber nicht in Ruhe sind, sondern auch bei normaler Temperatur ein wenig um ihre Ruhelage schwingen, werden die Elektronen auf ihrem Weg durch das Gitter immer wieder in ihrer Bewegung behindert und die Gitterteilchen des Metalls in stärkere Schwingung versetzt. Es wirkt ihnen ein Widerstand entgegen. Dieses verstärkte Schwingen äußert sich als Erwärmung des Metalls, was zum Beispiel zur Erwärmung von elektrischen Heizgeräten oder Bügeleisen genutzt wird.<sup>89</sup>

Der Widerstand eines Materials hängt des weiteren vom Querschnitt (je dicker die Leitung desto geringer der Widerstand) und der Länge des Leiters (je länger desto mehr Widerstand) ab. Dieser Widerstand muss von der elektrischen Spannung überwunden werden.<sup>90</sup>

Der Leitwert ist der Kehrwert des Widerstandes. Großer Leitwert bedeutet kleiner Widerstand, kleiner Leitwert bedeutet großer Widerstand. Der Leitwert gibt also an, wie gut ein Stoff leitet.<sup>91</sup>

→ Elektrischer Widerstand auf einen Blick:

Formelzeichen: R

Einheit: Ohm

Einheitenzeichen:  $\Omega$

Berechnung:  $R = \frac{1}{G}$

→ Elektrischer Leitwert auf einen Blick:

Formelzeichen: G

Einheit: Siemens

Einheitenzeichen: S

Berechnung:  $G = \frac{1}{R}$

→ Hintergrundwissen Georg Simon Ohm (1789 -1854):

Ohm, ein deutscher Mathematiklehrer und Physiker, untersucht die Eigenschaften von Elektrizität in Metalldrähten. Dabei entdeckt er 1826, dass der Strom, welcher in einem metallischen Leiter fließt, proportional zur angelegten Spannung und umgekehrt proportional zum Widerstand des Leiters ist.

Dieser Zusammenhang ist heute als das „Ohmsches Gesetz“ bekannt.<sup>92</sup>

Auch die Einheit des elektrischen Widerstandes ist ihm zu Ehren mit Ohm benannt.

<sup>88</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 32.

<sup>89</sup> Vgl. Ebda., 23.

<sup>90</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 29 und 31.

<sup>91</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 32.

<sup>92</sup> Vgl. Sjobbema 1999, 27.

## Das Ohmsche Gesetz

„Das Ohmsche Gesetz kann man als die Grundregel der Elektrotechnik und Elektronik betrachten.“<sup>93</sup>

Es beschreibt den Zusammenhang zwischen Spannung  $U$ , Stromstärke  $I$  und Widerstand  $R$ . Der elektrische Strom nimmt im gleichen Verhältnis wie die Spannung zu, das heißt, die Stromstärke ist proportional zur Spannung ( $U \sim I$ ). Bei gleichbleibender Spannung verhält sich der Strom umgekehrt proportional wie der Widerstand, je größer der Widerstand desto kleiner der Strom ( $I \sim 1/R$ ).<sup>94</sup> Eben diese Zusammenhänge hat Georg Simon Ohm in eine Formel gebracht, das Ohmsche Gesetz.<sup>95</sup>

→ Das Ohmsche Gesetz auf einen Blick:

Kennt man zwei Größen, kann die jeweils dritte mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes ausgerechnet werden:

Formel:

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

$$U = I \cdot R$$

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

Einheiten:

$$[A] = \frac{[V]}{[\Omega]}$$

$$[V] = [A] \cdot [\Omega]$$

$$[\Omega] = \frac{[V]}{[A]}$$

Hier ein kleiner Trick zum Merken des Ohmschen Gesetzes:

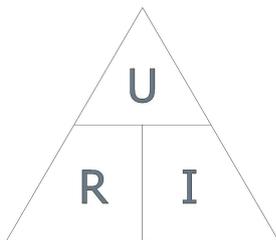


Abb. 11: URI-Dreieck

Einfach den Wortlaut des Dreieckes (Abb. 11) merken: URI. Beim Berechnen steht der waagrechte Strich für eine Division (Bruchstrich), der senkrechte für eine Multiplikation. Die zu berechnende Größe wird gefunden, indem sie abgedeckt wird.

<sup>93</sup> Glagla/Lindner 1980, 33.

<sup>94</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 30.

<sup>95</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 33.

Beispiele:

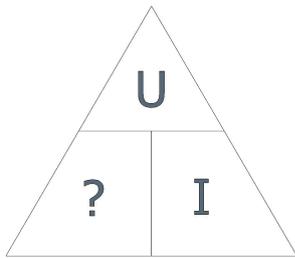


Abb. 12: R berechnen

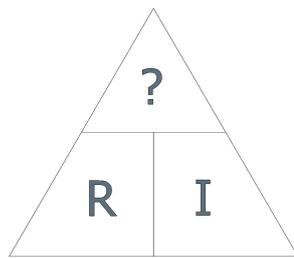


Abb. 13: U berechnen

Widerstand  $R$  wird berechnet, also „abgedeckt“ (Abb. 12). Der waagrechte Strich steht für eine Division, also  $\frac{U}{I}$ . Daraus folgt:  $R = \frac{U}{I}$ .

Spannung  $U$  wird berechnet (Abb. 13). Der senkrechte Strich steht für eine Multiplikation, also  $R \cdot I$ . Daraus folgt:  $U = R \cdot I$ .<sup>96</sup>

Beispiel: Anwendung des Ohmschen Gesetzes an einem einfachen Stromkreis

Eine Batterie hat eine Spannung von 4,5V, durch ein Glühlämpchen soll ein Strom von 100mA fließen.

Welchen Widerstand muss der glühende Draht haben?

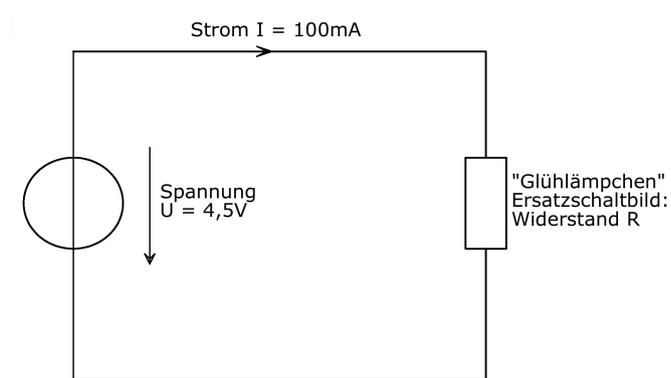


Abb. 14: Schaltplan eines einfachen Stromkreises

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4,5V}{100mA} = \frac{4,5V}{0,1A} = 45\Omega$$

## Messen von Strom, Spannung und Widerstand

Zum Messen von Strömen, Spannungen und Widerständen nimmt man am besten ein (Digital-) Multimeter (Vielfachmessinstrument). Dabei sind einige wichtige Punkte zu beachten.

Meist besitzt ein Multimeter vier Anschlüsse: COM (dieser wird immer verwendet), einen Anschluss zur Spannungs-, Widerstands- oder Durchgangsmessung (gekennzeichnet meist mit  $V/\Omega$ ) und zwei zur Strommessung (gekennzeichnet mit A bzw. mA, je nachdem welche Stromstärke gemessen werden soll).

<sup>96</sup> Vgl. Stiny 2011, 45.



Abb. 15: Digitalmultimeter Messbereiche und Anschlüsse

### Spannungsmessung

Zur Spannungsmessung wird das Multimeter parallel zur Spannungsquelle bzw. zum Verbraucher angeschlossen (Abb. 16). Spannung wird relativ, zwischen zwei Punkten in einem Schaltkreis, gemessen. Der Drehschalter muss auf den richtigen Bereich eingestellt sein (je nachdem ob Gleich- oder Wechselspannung gemessen wird), Elektronikschaltungen werden in der Regel mit Gleichspannung betrieben. Wenn nicht klar ist, welche Spannung gemessen wird, so wird mit der Einstellung im DC-Bereich begonnen. Wird eine Spannung gemessen, so ist es eine Gleichspannung, wird keine Spannung gemessen kann es zwei Ursachen dafür geben: entweder es ist keine Spannung vorhanden oder es liegt Wechselspannung vor. Dann dreht man den Drehschalter auf AC, schlägt das Messgerät aus, so liegt Wechselspannung vor.<sup>97</sup>

<sup>97</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 30.

Bei vielen Multimetern stehen verschiedene Messbereiche zur Verfügung, es sollte immer beim höchsten Wert begonnen und gegebenenfalls zu niedrigeren Werten vorgetastet werden, um eine Beschädigung des Messgerätes durch zu hohe Spannungen (oder Ströme) zu vermeiden.<sup>98</sup>

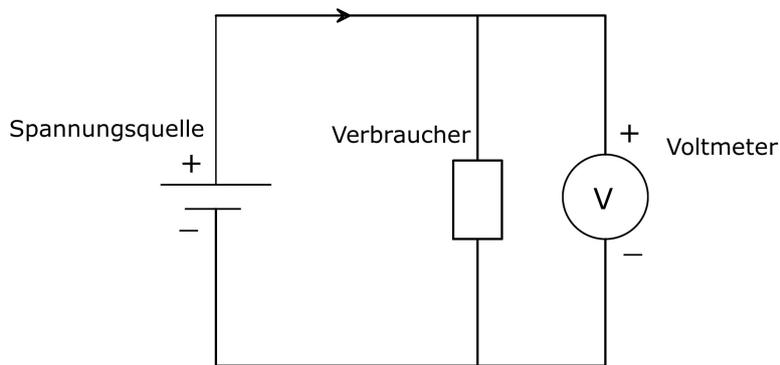


Abb. 16: Schaltplan Spannung messen

→ Quicktipp Spannungsmessung:

- Spannung abschalten
- Multimeter parallel zum Verbraucher oder Erzeuger anschließen
- Gleichspannung oder Wechselspannung auswählen
- Überprüfen, ob der Messbereich des Multimeters für die Messung ausreicht
- Bei Gleichspannung das höhere (positivere) Potential am Anschluss + (rot, nicht COM) anschließen
- Spannungsversorgung wieder einschalten und messen
- Nach der Messung den höchsten Spannungsmessbereich einstellen und das Gerät ausschalten<sup>99</sup>

### Strommessung

Zur Strommessung wird das Multimeter in Serie angeschlossen, es muss der Stromkreis aufgetrennt und das Multimeter in die Trennstelle geschaltet werden (Abb. 17). Der zu messende Strom muss ja durch das Messinstrument fließen. Auch hier ist, wie bei der Spannungsmessung, auf die richtige Einstellung des Multimeters zu achten (DC oder AC, geeigneten Messbereich wählen).<sup>100</sup>

<sup>98</sup> Vgl. Hanus 2001, 17f.

<sup>99</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 23.

<sup>100</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 30f.

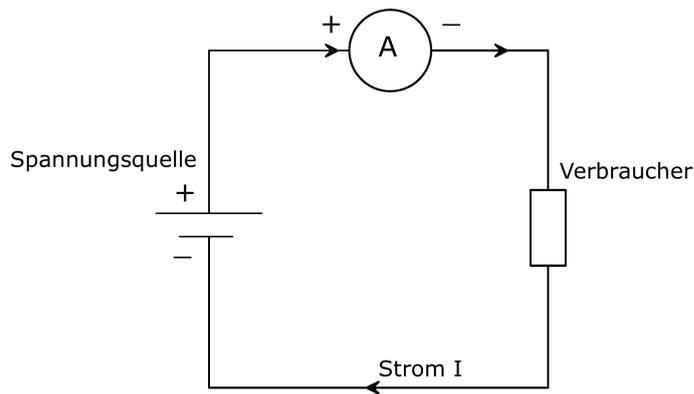


Abb. 17: Schaltplan Strom messen

→ Quicktipp Strommessung:

- Spannungsversorgung abschalten
- Den Stromkreis auftrennen und Multimeter in Serie in den Stromkreis hängen
- Überprüfen, ob der Messbereich des Multimeters für die Messung ausreicht
- Bei unbekannter Stromstärke den höchsten Messbereich einstellen
- Bei Gleichstrom muss die Plus-Klemme (rot) in Richtung Plus-Pol der Spannungsquelle, die Minus-Klemme (schwarz, COM) in Richtung des Minus-Pols weisen
- Spannungsversorgung wieder einschalten und messen
- Nach dem Messen den größten Messbereich einstellen und das Gerät ausschalten<sup>101</sup>

*Widerstandsmessung*

Bei der Widerstandsmessung mit einem Multimeter muss beachtet werden, dass der zu messende Bauteil oder Teil der Schaltung nicht unter Strom stehen darf. Beim Messen des Widerstandes liefert die im Messgerät verbaute Batterie den Messstrom, der durch den zu messenden Bereich oder Bauteil geleitet wird. Über die hier abfallende Spannung wird mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes der Widerstand berechnet und angezeigt.<sup>102</sup>

→ Quicktipp Widerstandsmessung:

- Spannungsversorgung der Schaltung abschalten bzw. zu messendes Bauteil ausbauen
- Niemals Widerstandsmessung im eingeschalteten Stromkreis durchführen, auch Kondensatoren müssen vollständig entladen sein
- Messleitungen im COM-Anschluss und dem mit  $\Omega$  gekennzeichneten Anschluss
- Passenden Messbereich einstellen, bei unbekanntem Widerstandswert den höchsten Messbereich einstellen und dann langsam vortasten
- Nach der Messung den höchsten Messbereich einstellen und das Gerät ausschalten<sup>103</sup>

<sup>101</sup> Vgl. Platt 2012, 21; Hanus 2001, 17.

<sup>102</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 33.

<sup>103</sup> Vgl. Ebda., 33.

## Elektrische Energie, Arbeit und Leistung

Elektrische Energie kann aus verschiedenen anderen Energieformen gewonnen werden, unter anderem aus:

- Potentieller (mechanischer) Energie: Wasser aus einem Stausee strömt in ein tiefergelegenes Kraftwerk, treibt dort eine Turbine an, welche die mechanische Energie dann in elektrische Energie umwandelt
- Erneuerbare Energie: Strahlungsenergie (Sonne), Windenergie
- Kernenergie (Atomkraftwerke)
- chemische Energie (zum Beispiel bei Batterien)

Es ist wichtig zu wissen, dass Energie nicht erzeugt, sondern lediglich umgewandelt werden kann. Die Umwandlung von elektrischer Energie in eine andere Energieform wird als elektrische Arbeit bezeichnet.<sup>104</sup>

Als elektrische Leistung wird die pro Zeiteinheit verrichtete elektrische Arbeit bezeichnet, als Wirkungsgrad das Verhältnis von aufgenommener Leistung und abgegebener Leistung. Je höher der Wirkungsgrad desto besser. Ein Drehstrommotor hat zum Beispiel einen Wirkungsgrad von 75%, eine Glühlampe nur von 15% (hier wird viel Verlustleistung in Form von Wärme abgegeben).<sup>105</sup>

→ Arbeit und Leistung auf einen Blick:

elektrische Arbeit:

Formelzeichen:  $W$

Einheit: Wattsekunden

Einheitszeichen:  $Ws$

Berechnung:  $W = U \cdot I \cdot t$

elektrische Leistung:

Formelzeichen:  $P$

Einheit: Watt

Einheitszeichen:  $W$

Berechnung:  $P = \frac{W}{t}$  oder  $P = U \cdot I$

---

<sup>104</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 35.

<sup>105</sup> Vgl. Ebda., 37 und 39.

Einige Beispiele für Leistung, um einen Überblick zu erhalten und Leistungen einordnen zu können:

1 Milliwatt (mW)	Lichtleistung von Laserpointern
100 mW	Transistorradio
1 Watt (W)	Mobiltelefon
100 W	Glühbirne
735,5 W	Pferdestärke (1 PS = 735,5 W)
2 – 5 Kilowatt (kW)	eine typische Waschmaschine
10 kW	Heizung eines Einfamilienhauses
736 kW	Antriebsleistung eines Bugatti Veyron
1 Megawatt (MW)	Windenergieanlage
2 MW	der stärkste Langwellensender
8 MW	Antriebsleistung eines ICE
60 MW	die größte Photovoltaikanlage
1 Gigawatt (GW)	typisches Kernkraftwerk
2 GW	Wasserkraftwerk Hoover-Staudamm
1 Terawatt (TW)	Leistung eines Blitzes
2 TW	elektrische Leistung weltweit (Durchschnitt)
167 Petawatt (PW)	Strahlungsleistung der Sonne <sup>106</sup>

Am Beispiel einer einfachen Taschenlampe lässt sich der Zusammenhang zwischen Strom, Spannung und Leistung verdeutlichen. Die Batterie überträgt Leistung an die Glühlampe, damit eine große Leistung und damit Leuchtkraft erreicht wird, wird mit mehreren Batterien eine höhere Spannung erzeugt. Ist die Batterie schon älter und schwächer, so sinkt ihre Spannung und als Folge dessen sinken auch der Strom und die Leuchtkraft.<sup>107</sup>

→ Zusammenfassung der physikalischen Größen der Elektronik:			
Physikalische Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Ladung	Q	Coulomb	C
Strom	I	Ampere	A
Spannung	U	Volt	V
Widerstand	R	Ohm	$\Omega$
Leistung	P	Watt	W

<sup>106</sup> Vgl. Fischer 2011, 16.

<sup>107</sup> Vgl. Winzker 2008, 11.

## Gleichstrom – Wechselstrom

Wie im Kapitel Spannungsquelle/Stromquelle erwähnt, ist die erste funktionstüchtige Stromquelle die Volta Säule. Sie liefert, wie die ersten Generatoren (denen Gleichrichter zuschaltet wurden), Gleichstrom. Nachteil des Gleichstroms ist, dass er nicht über längere Strecken transportiert werden kann. Im Gegensatz zu Wechselstrom, der mit Hilfe von Transformatoren hochtransformiert und daher über weite Strecken nahezu verlustfrei weitergeleitet werden kann.<sup>108</sup>

Von Gleichstrom spricht man, wenn sich die freien Elektronen nur in eine Richtung bewegen, und zwar immer gleich viele. Gleichstrom fließt in eine Richtung und zwar mit gleichbleibender Stromstärke. Fließt in einem Stromkreis Wechselstrom, so bewegen sich die freien Elektronen hin und her (in beide Richtungen gleich weit). Wechselstrom fließt mit ständig wechselnder Richtung und Stärke (veranschaulicht in einem Stromstärke – Zeit – Diagramm sieht Wechselstrom wie eine Sinuskurve aus).<sup>109</sup>

Gleichstrom liefern zum Beispiel Batterien und Akkumulatoren, Wechselstrom liefern Fahrraddynamos oder Wechselstromgeneratoren und -motoren. Auch der Strom, der aus unseren Steckdosen kommt, ist Wechselstrom. Viele der alltäglichen elektronischen Geräte (Fernseher, Computer, ... ) benötigen Gleichstrom. Sie sind mit einem Gleichrichter ausgestattet, um den Wechselstrom in Gleichstrom umzuwandeln. Gleichstrom wird mit DC (Direct Current, Zeichen: –) und Wechselstrom mit AC (Alternating Current, Zeichen: ~) abgekürzt.<sup>110</sup>

---

<sup>108</sup> Vgl. Fischer 2011, 113.

<sup>109</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 27.

<sup>110</sup> Vgl. Ebda., 27.

## Bauteile



Abb. 18: verschiedene elektronische Bauteile

Grundsätzlich wird in der Elektronik zwischen passiven und aktiven Bauteilen unterschieden. Passive Bauteile zeigen, im Gegensatz zu aktiven, keine Verstärkerwirkung und besitzen keine Steuerungsfunktion. Widerstände, Kondensatoren und Spulen zählen zu den passiven Bauelementen. Mit aktiven Bauteilen können elektrische Signale, also Ströme und Spannungen, verstärkt, gerichtet oder geschaltet werden. Solche Bauteile sind Dioden, Transistoren, Thyristoren, Relais oder integrierte Schaltungen. Auch eine Quelle elektrischer Energie, zum Beispiel eine Batterie als Spannungsquelle, ist ein aktives Bauelement.<sup>111</sup>

In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten (elektronischen) Bauteile aufgelistet, mit Funktionsprinzip, Bauformen und Kennwerten sowie nützlichem Hintergrund- und weiterführendem Wissen.

## Schalter

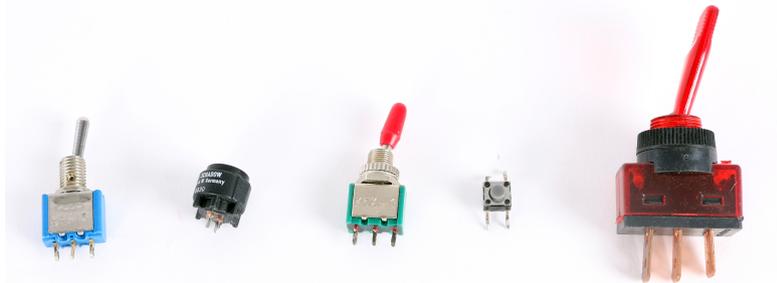


Abb. 19: verschiedene Schaltertypen

Schalter dienen in einem elektrischen Stromkreis dazu, diesen zu schließen, also eine elektrisch leitende Verbindung herzustellen, beziehungsweise zu öffnen. Es gibt sie in verschiedenen Ausführungen, als mechanisch betätigte Kippschalter, Taster, Drehschalter, Schiebeschalter uvm., als magnetisch betätigte Reedschalter oder über Wärmeeinwirkung ausgelöste Bimetallschalter.

Hinsichtlich Funktion wird zwischen Schließer (wie der Name schon sagt schließt dieser Schalter den Stromkreis), Öffner (unterbricht einen Stromkreis) und Wechselschalter (ein Stromkreis wird geöffnet und ein anderer geschlossen) unterschieden (Abb. 20).<sup>112</sup>

Acht zu geben ist bei den Schaltern auf die vom Hersteller angegebene Schaltleistung. Sie gibt an, wie viel Strom und welche Spannung der Schalter verkraften kann.

<sup>111</sup> Vgl. Winzker 2008, 13-17; Stiny 2011, 55.

<sup>112</sup> Vgl. [https://de.wikipedia.org/wiki/Schalter\\_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Schalter_(Elektrotechnik)), 28.03.2017.

Mit dem Multimeter kann ein Schalter überprüft und herausgefunden werden, welche Kontakte bei veränderter Schalterstellung geschlossen werden. Auch bei Taster kann überprüft werden, ob sie ein Schließer oder Öffner sind. Am einfachsten ist die Funktion eines Schalters mit Hilfe der Einstellung „Durchgangsprüfung“ am Multimeter herauszufinden. Dabei gibt das Multimeter einen Signalton ab, wenn eine Verbindung besteht bzw. bleibt still, wenn keine Verbindung besteht. Wichtig ist hier, diese Prüfung immer im stromlosen Zustand zu machen.<sup>113</sup>

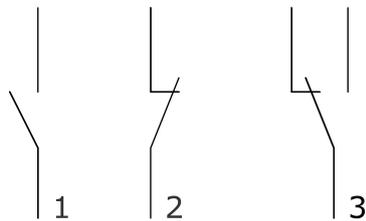


Abb. 20: Schaltzeichen für Schließer (1), Öffner (2) und Wechselschalter (3)

## Widerstand



Abb. 21: verschiedene Widerstände

Das Bauteil Widerstand setzt dem Strom einen elektrischen Widerstand entgegen, es bremst den Elektronenstrom. Widerstände werden eingesetzt, um den Strom in einem Stromkreis zu begrenzen (Vorwiderstand), um Spannungsabfälle zu erzeugen (Spannungsteiler, hier wird eine Spannung in einem bestimmten Verhältnis geteilt), um Strom in einem bestimmten Verhältnis zu teilen (Stromteiler) oder um elektrische Energie in Wärmeenergie (zum Beispiel Glühlampen, Lötkolben) umzuwandeln.<sup>114</sup>

Der Wert eines Widerstandes wird in Ohm ( $\Omega$ ) angegeben.

Es wird je nach Bauform zwischen Festwiderständen, einstellbaren und veränderlichen Widerständen unterschieden.

### *Festwiderstände*

Festwiderstände sind ohmsche Widerstände mit einem fixen Wert, der nicht einstellbar ist.

In der Elektronik, bei kleinen Leistungen, werden am häufigsten Schichtwiderstände verwendet, eine weitere Bauform eines Festwiderstandes ist der Drahtwiderstand.

Schichtwiderstände (Kohleschichtwiderstand, Metalloxid-Widerstand, Metallschichtwiderstand) bestehen aus einem Isolator (meist Keramik), je nach Bauform aus einer Schicht Kohle, Metalloxid oder

<sup>113</sup> Vgl. Platt 2012, 48.

<sup>114</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 36; [https://de.wikipedia.org/wiki/Widerstand\\_\(Baeuelement\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Widerstand_(Baeuelement)), 28.03.2017.

Metall und zwei Zuleitungen aus Metall. Nach außen schützt die Schicht ein farbiger Lacküberzug. Auf den zylindrischen Keramikkörper (teilweise auch aus Hartglas) wird durch Tauchen, Aufsprühen oder Aufdampfen eine dünne, leitfähige Schicht aus Kohle, Metall oder Metalloxid aufgebracht. Durch die Wahl der Schichtdicke wird schon der annähernde Widerstandswert erreicht, bei größerer Genauigkeit wird der Widerstandswert durch Einschleifen der Schicht abgeglichen.<sup>115</sup>

Schichtwiderstände werden in verschiedenen Nennwerten und Toleranzbereichen hergestellt. Die gängigsten Widerstandreihen sind E6 (20% Toleranz), E12 (10% Toleranz), E24 (5% Toleranz), E48 (2% Toleranz) und E96 (1% Toleranz). Die Widerstandswerte ausgewählter Reihen veranschaulicht Abb. 22. Dabei sind die Normreihen so festgelegt, dass sich die Toleranzfelder der einzelnen Widerstandswerte berühren oder überschneiden (Abb. 23).

Um zu erkennen, um welchen Widerstandswert es sich handelt, sind die Widerstände nach dem internationalen Farbcode gekennzeichnet (siehe Abb. 24 – 27). Der Widerstandswert kann auch mit dem Multimeter nachgeprüft werden.<sup>116</sup>

Folgende Tabelle zeigt die verschiedenen Widerstandswerte der Normreihen E6, E12 und E24 (diese werden dann bei Bedarf noch mit Zehnerpotenzen multipliziert). Die Reihen E48 und E96 haben noch feinere Unterteilungen.

E 6 (±20%)	1,0		1,5		2,2		3,3		4,7		6,8													
E 12 (±10%)	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2												
E 24 (±5%)	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Abb. 22: IEC-Widerstands-Normreihen E6, E12 und E24

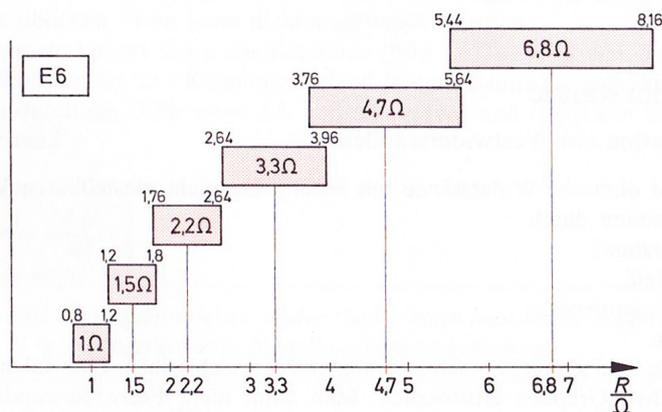


Abb. 23: Toleranzfelder der Widerstandswerte der E6-Normreihe (Beuth 1997, 26)

<sup>115</sup> Vgl. Beuth 1997, 29f.

<sup>116</sup> Vgl. Ebda., 23-26.

Kennfarbe	1. Ring = 1. Wertziffer	2. Ring = 2. Wertziffer	3. Ring = Multiplikator	4. Ring = Toleranz
farblos	-	-	-	±20%
silber	-	-	$\cdot 10^{-2} \Omega = 0,01\Omega$	±10%
gold	-	-	$\cdot 10^{-1} \Omega = 0,1\Omega$	±5%
schwarz	0	0	$\cdot 10^0 \Omega = 1,0\Omega$	-
braun	1	1	$\cdot 10^1 \Omega = 10\Omega$	±1%
rot	2	2	$\cdot 10^2 \Omega = 100\Omega$	±2%
orange	3	3	$\cdot 10^3 \Omega = 1k\Omega$	-
gelb	4	4	$\cdot 10^4 \Omega = 10k\Omega$	-
grün	5	5	$\cdot 10^5 \Omega = 100k\Omega$	±0,5%
blau	6	6	$\cdot 10^6 \Omega = 1M\Omega$	-
violett	7	7	$\cdot 10^7 \Omega = 10M\Omega$	-
grau	8	8	$\cdot 10^8 \Omega = 100M\Omega$	-
weiß	9	9	$\cdot 10^9 \Omega = 1000M\Omega$	-

Abb. 24: Internationaler Farbcode für Vierfachberingung (E6, E12, E24)

→ Beispiel Widerstand mit 4 Farbringen:



Abb. 25: Widerstand mit vier Farbringen

Der erste Ring ist derjenige, der näher am Anschlussdraht ist, in diesem Fall der rote:

1. Ring	2. Ring	Multiplikator	Toleranz
rot	violett	braun	gold
2	7	$\cdot 10^1 \Omega$	±5% = $27 \cdot 10 \Omega = 270\Omega$

Kennfarbe	1. Ring = 1. Wertziffer	2. Ring = 2. Wertziffer	3. Ring = 3. Wertziffer	4. Ring = Multiplikator	5. Ring = Toleranz
farblos	-	-	-	-	±20%
silber	-	-	-	$\cdot 10^{-2} \Omega = 0,01\Omega$	±10%
gold	-	-	-	$\cdot 10^{-1} \Omega = 0,1\Omega$	±5%
schwarz	0	0	0	$\cdot 10^0 \Omega = 1,0\Omega$	-
braun	1	1	1	$\cdot 10^1 \Omega = 10\Omega$	±1%
rot	2	2	2	$\cdot 10^2 \Omega = 100\Omega$	±2%
orange	3	3	3	$\cdot 10^3 \Omega = 1k\Omega$	-
gelb	4	4	4	$\cdot 10^4 \Omega = 10k\Omega$	-
grün	5	5	5	$\cdot 10^5 \Omega = 100k\Omega$	±0,5%
blau	6	6	6	$\cdot 10^6 \Omega = 1M\Omega$	-
violett	7	7	7	$\cdot 10^7 \Omega = 10M\Omega$	-
grau	8	8	8	$\cdot 10^8 \Omega = 100M\Omega$	-
weiß	9	9	9	$\cdot 10^9 \Omega = 1000M\Omega$	-

Abb. 26: Internationaler Farbcode für Fünffachberingung (E48, E96, E192)

→ Beispiel Widerstand mit 5 Farbringen:



Abb. 27: Widerstand mit fünf Farbringen

Der erste Ring ist wieder derjenige, der näher am Anschlussdraht ist, in diesem Fall der braune.

Der Ring, der die Toleranz angibt, hat häufig ein wenig Abstand von den restlichen Ringen.

1. Ring	2. Ring	3. Ring	Multiplikator	Toleranz
braun	schwarz	schwarz	braun	braun
1	0	0	$\cdot 10^1 \Omega$	±1%
$= 100 \cdot 10 \Omega = 1k\Omega$				

→ Festwiderstände auf einen Blick:

- Schaltzeichen:



Abb. 28: Schaltzeichen Festwiderstand

- Einheit: Ohm ( $\Omega$ )

- Kennbuchstabe: R

- Funktion: setzen dem Elektronenstrom einen Widerstand entgegen, begrenzen den Strom in einer Schaltung und erzeugen Spannungsabfälle

- Einbaurichtung/Polung: –

### *Einstellbare Widerstände*

Bei einstellbaren Widerständen kann der Widerstandswert in einem bestimmten Bereich eingestellt werden. Eingestellt werden kann mit Hilfe eines Schiebers (Drahtwiderstände mit Abgreifschelle), einer Drehachse (Potentiometer) oder eines kleinen Schraubenziehers (Trimmer), je nach Bauform und -größe.

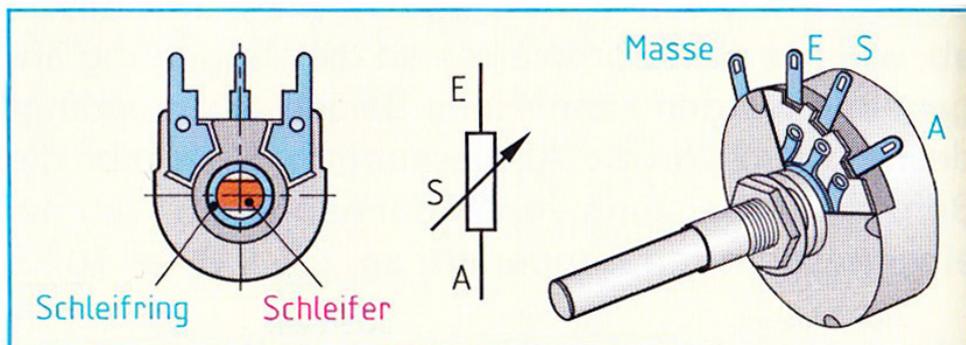


Abb. 29: Drehwiderstand (Potentiometer) (Bastian u. a. 2002, 34)

Potentiometer und Trimmer besitzen drei Anschlüsse (eventuell einen vierten, das ist dann die Masse): E (Eingang), A (Ausgang) und S (Schleifkontakt) (Abb. 29). Je nach dem wie der Schleifkontakt eingestellt ist, ändert sich der Widerstandswert zwischen S und A bzw. S und E. Zwischen A und E ist immer der volle Widerstandswert abgreifbar.<sup>117</sup>

<sup>117</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 34; Glagla/Lindner 1980, 39f.

→ Einstellbare Widerstände auf einen Blick:

- Schaltzeichen:



Abb. 30: Schaltzeichen von Potentiometer (1) und Trimmer (2)

- Einheit: Ohm ( $\Omega$ )

- Kennbuchstabe: R

- Einbaurichtung/Polung: Zwischen den beiden Außenkontakten kann der gesamte Widerstandswert abgegriffen werden. Mit dem Schleifer kann der Widerstandswert eingestellt werden, dann muss auch zwischen Schleifer und einem der äußeren Kontakte der Wert abgegriffen werden.

### *Veränderliche Widerstände*

Bei diesen Widerständen wird das Widerstandsverhalten von außen beeinflusst durch Erwärmung, Spannungsänderung oder Auftreten von Lichtenergie (Achtung: diese Widerstände besitzen keine lineare Strom-Spannungs-Kennlinie).

Wird das Verhalten der Widerstände durch Erwärmung beeinflusst, spricht man von temperaturabhängigen Widerständen. Hier wird zwischen Kaltleiter- oder PTC-Widerständen (Positive Temperature Coefficient) und Heißeiter- oder NTC-Widerständen (Negative Temperature Coefficient) unterschieden. PTC-Widerstände leiten in kaltem Zustand besonders gut, ihr Widerstandswert steigt bei Erwärmung. NTC-Widerstände, auch Thermistoren genannt, reagieren genau entgegengesetzt, sie leiten in heißem Zustand besonders gut, ihr Widerstandswert nimmt bei Abkühlung zu.

Temperaturabhängige Widerstände werden zum Beispiel als „Temperaturfühler“ eingesetzt, ein Kaltleiter meldet zuverlässig, wenn höchstzulässige Temperaturen an technischen Geräten erreicht werden.<sup>118</sup>

Bei Festwiderständen haben Spannungsänderungen so gut wie keinen Einfluss auf das Widerstandsverhalten. Bei den spannungsabhängigen Widerständen, auch Varistoren genannt, sinkt der Widerstandswert mit steigender Spannung, bei niedriger Spannung ist der Wert hoch. Varistoren (vom englischen variable resistor = veränderlicher Widerstand) werden vor allem zur Spannungsbegrenzung eingesetzt, um empfindliche Bauteile vor Überspannungen zu schützen.<sup>119</sup>

Bei Fotowiderständen (Abkürzung LDR = light dependent resistor), also lichtabhängigen Widerständen, wird der Widerstandswert umso geringer, je stärker die Lichteinstrahlung ist. Eingesetzt werden sie zum Beispiel für Lichtschranken, Dämmerungsschalter oder Alarmanlagen.<sup>120</sup>

<sup>118</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 41f.

<sup>119</sup> Vgl. Ebda., 42.

<sup>120</sup> Vgl. Ebda., 42f.

→ Veränderbare Widerstände auf einen Blick:

- Schaltzeichen:



Abb. 31: Schaltzeichen von PTC-Widerstand (1), NTC-Widerstand (2), Varistor (3), Fotowiderstand (LDR) (4)

- Einheit: Ohm ( $\Omega$ )

- Kennbuchstabe: R

- Einbaurichtung/Polung: –

## Widerstandsschaltungen

Widerstände können in Reihe (Reihenschaltung) und parallel (Parallelschaltung) angeordnet werden. Alle elektronischen Schaltungen lassen sich im Prinzip mit Reihen- oder Parallelschaltung von Widerständen, bzw. einer Kombination aus beiden, erklären. Das Verhältnis von Strom, Spannung und Widerstand regelt sich nach dem Ohmschen Gesetz.<sup>121</sup>

### Reihenschaltung von (linearen) Widerständen

Bei der Reihenschaltung sind die Widerstände (Verbraucher) in einer Reihe hintereinander geschaltet. Es werden alle Widerstände vom gleichen Strom durchflossen. Der Gesamtwiderstand (auch Ersatzwiderstand genannt) ergibt sich aus der Summe der Teilwiderstände. Die Summe der Teilspannungen an den Widerständen ist so groß wie die angelegte Spannung.<sup>122</sup>

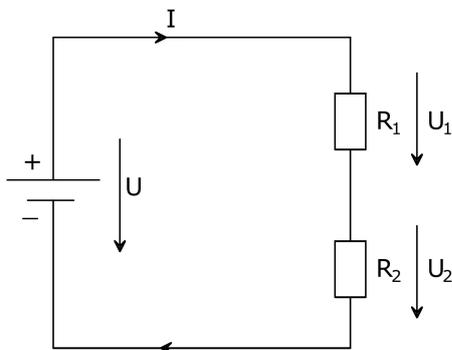


Abb. 32: Schaltplan Reihenschaltung von zwei Widerständen

→ Reihenschaltung auf einen Blick:

In Reihenschaltungen fließt überall derselbe Strom.

Der Gesamtwiderstand ist gleich der Summe der Einzelwiderstände:

$$R_{ges} = R_1 + R_2 (+R_3 + \dots)$$

Die Summe der Teilspannungen ist so groß wie die angelegte Spannung:

$$U = U_1 + U_2 (+U_3 + \dots)$$

<sup>121</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 43.

<sup>122</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 42.

Auch Vorwiderstände (zum Beispiel notwendig bei Leuchtdioden) werden in Serie geschaltet. Elektronische Bauteile oder Elektrogeräte können durch das Vorschalten eines Widerstandes an eine höhere Spannung gelegt werden, als ihre ursprüngliche Bemessungsspannung.<sup>123</sup>

Beispiel zur Berechnung eines Vorwiderstandes siehe Kapitel Diode (Leuchtdiode).

Am Beispiel der Reihenschaltung lässt sich die Maschenregel (2. Kirchhoff'sches Gesetz) sehr gut erklären:

### 2. Kirchhoff'sches Gesetz: Spannungen in Netzmaschen

Diese Regel besagt, dass in einer Masche die Summe aller Spannungen gleich null ist oder genauer formuliert: Die Summe der Erzeugerspannungen und der Teilspannungen an den Verbrauchern ist gleich null. Es sind die Vorzeichen der Spannungen zu berücksichtigen, Umlaufsinn ist gegen den Uhrzeigersinn.<sup>124</sup>

Somit lässt sich die Maschenregel folgendermaßen anschreiben:

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

Beispiel (Abb. 32):  $U - U_1 - U_2 = 0$  oder anders angeschrieben:  $U = U_1 + U_2$

### Parallelschaltung von (linearen) Widerständen

Als Parallelschaltung wird eine Schaltung von Widerständen (Verbrauchern) bezeichnet, wenn diese „nebeneinander“, also parallel, geschaltet sind. An allen Widerständen liegt dann die selbe Spannung. Der Gesamtstrom ist die Summe aller Teilströme (Zweigströme), die durch die parallel geschalteten Widerstände fließen. Bei der Parallelschaltung ist der Gesamtwiderstand (Ersatzwiderstand) stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand. Berechnet wird der Gesamtwiderstand über den Umweg über die Leitwerte der einzelnen Widerstände, der Ersatzleitwert ist die Summe der Einzelleitwerte.<sup>125</sup>

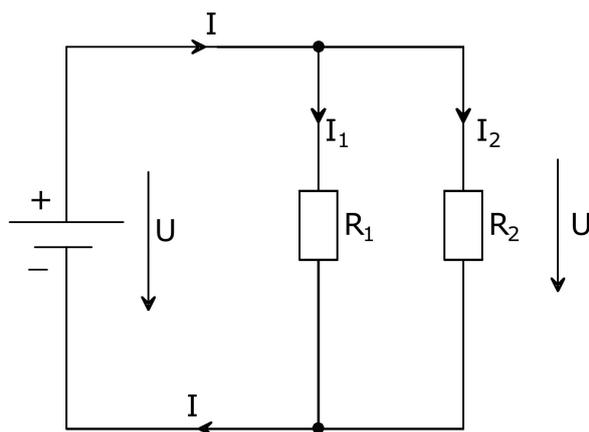


Abb. 33: Schaltplan Parallelschaltung von zwei Widerständen

<sup>123</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 44.

<sup>124</sup> Vgl. Ebda., 42f.

<sup>125</sup> Vgl. Ebda., 46f.

→ Parallelschaltung auf einen Blick:

In Parallelschaltungen liegt überall dieselbe Spannung an.

Der Gesamtleitwert ist gleich der Summe der Einzelleitwerte:

$$G_{ges} = G_1 + G_2 (+G_3 + \dots) \text{ mit } G = \frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} (+\frac{1}{R_3} + \dots)$$

Für das Beispiel mit zwei Widerständen bedeutet diese Formel umgeformt:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \rightarrow \frac{1}{R_{ges}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \rightarrow R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Die Summe der Teilströme ist so groß wie der Gesamtstrom:

$$I = I_1 + I_2 (+I_3 + \dots)$$

Am Beispiel der Parallelschaltung von Widerständen lässt sich die Knotenregel

(1. Kirchhoff'sches Gesetz) sehr gut veranschaulichen:

### 1. Kirchhoff'sches Gesetz: Ströme in Knotenpunkten

In jedem Knoten eines elektrischen Kreises ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme. Wieder sind die Vorzeichen der Ströme zu beachten, in den Knoten hineinfließende Ströme sind positiv, aus dem Knoten herausfließende Ströme negativ.<sup>126</sup> Somit lässt sich die Knotenregel folgendermaßen anschreiben:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

Bei vorigem Beispiel (Abb. 33) bedeutet dies folgendes:

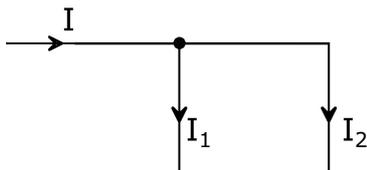


Abb. 34: Detail Knoten aus Abb. 33

$$I - I_1 - I_2 = 0 \text{ oder anders hingeschrieben: } I = I_1 + I_2$$

### Unbelasteter und belasteter Spannungsteiler

Ein Spannungsteiler ist eine Schaltung, bei der von einer angelegten Betriebsspannung  $U$  eine Teilspannung  $U_2$  für einen Verbraucher abgezweigt wird, welcher mit einer geringeren Spannung als die gesamte Betriebsspannung arbeiten soll.

Der Spannungsteiler besteht aus zwei in Reihe geschalteten Widerständen  $R_1$  und  $R_2$  sowie beim belasteten Spannungsteiler aus einem zu  $R_2$  parallel geschalteten Lastwiderstand  $R_L$ .<sup>127</sup>

<sup>126</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 32.

<sup>127</sup> Vgl. Ebda., 48f.

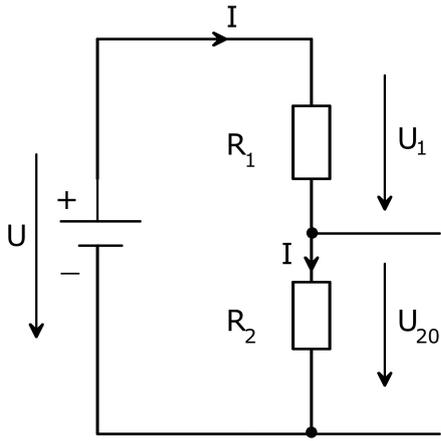


Abb. 35: Schaltplan unbelasteter Spannungsteiler

Diesem unbelasteten Spannungsteiler wird kein Strom entnommen (siehe dazu auch Serienschaltung von Widerständen), dieser Betriebsfall heißt Leerlauf.  $U_{20}$  heißt Leerlaufspannung, sie verhält sich zur Gesamtspannung  $U$  wie folgt:

$$U_{20} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U \quad (\text{berechnet mit Ohmschen Gesetz und Reihenschaltung von den Widerständen } R_1 \text{ und } R_2)$$

Die Spannungen verhalten sich proportional zu den Widerständen:  $\frac{U_{20}}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

Im Grunde ist jedes Potentiometer, jeder einstellbare Widerstand, ein einstellbarer Spannungsteiler.

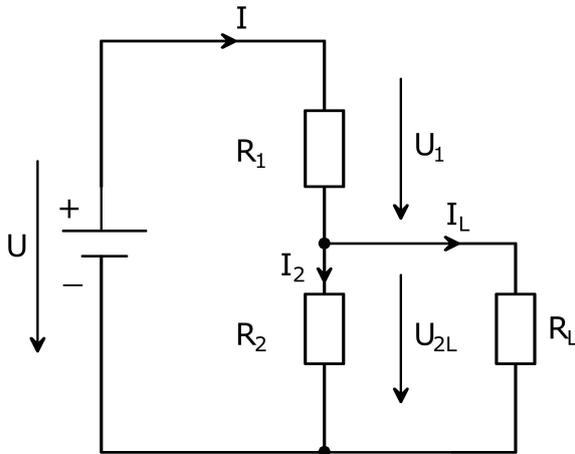


Abb. 36: Schaltplan belasteter Spannungsteiler

Ein Spannungsteiler ist belastet, wenn ein Verbraucher  $R_L$  angeschlossen wird, also ein (Last-) Strom  $I_L$  entnommen wird.

$U_{2L}$  wird umso kleiner, je kleiner der Lastwiderstand  $R_L$  ist (denn je kleiner  $R_L$ , desto größer ist  $I_L$ , Ohmsches Gesetz:  $I = \frac{U}{R}$ ). Die Verhältnisse im belasteten Spannungsteiler werden umso stabiler, je größer der Querstrom  $I_2$  im Verhältnis zum Laststrom  $I_L$  ist, darum wird der Querstrom zirka zehn mal so groß gewählt wie der Laststrom.<sup>128</sup>

<sup>128</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 51ff.

Die Teilspannung bei Belastung,  $U_{2L}$ , wird folgendermaßen berechnet:

$U_{2L} = \frac{R_{2L}}{R_1 + R_{2L}}$ , wobei  $R_{2L}$  der Ersatzwiderstand aus den parallel geschalteten Widerständen  $R_2$  und  $R_L$  ist:

$$R_{2L} = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}$$

→ Beispiel für einen belasteten Spannungsteiler (wie in Abb. 36)

Ein Spannungsteiler soll an einer Batteriespannung von 9V so eingestellt werden, dass die Teilspannung  $U_{2L}$  bei einem Laststrom von 0,1mA 3V beträgt.

Man wählt den Querstrom  $I_2$  zehn mal so groß wie den Laststrom, damit der Spannungsteiler stabil ist:  $I_2 = 10 \cdot I_L = 10 \cdot 0,1mA = 1mA$ . Durch  $R_1$  fließt der gesamte Strom  $I = I_2 + I_L = 1,1mA$ . Da

$U_{2L} = 3V$ , müssen an  $R_1$   $9V - 3V = 6V$  abfallen,  $U_1 = 6V$ .  $R_1$  beträgt daher  $\frac{U_1}{I} = \frac{6V}{0,0011A} \cong$

$5,45k\Omega = R_1$ . Hier müsste je nach Normreihe der nächst größere Normwert herangezogen werden,

bei E12 oder E24 wäre dies  $5,6k\Omega$ .  $R_L = \frac{U_{2L}}{I_L} = \frac{3V}{0,0001A} = 30k\Omega$ . Am Ersatzwiderstand  $R_{2L}$  der

beiden parallel geschalteten Widerstände  $R_2$  und  $R_L$  müssen, wie bei  $R_L$ , ebenfalls 3V abfallen,

allerdings fließt durch den Ersatzwiderstand der gesamte Strom  $I$ :  $R_{2L} = \frac{U_{2L}}{I} = \frac{3V}{0,0011A} \cong 2,727k\Omega$ .

Aus der Formel für die Parallelschaltung von Widerständen,  $R_{2L} = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}$  kann durch Umformung  $R_2$

berechnet werden:  $R_2 = \frac{R_{2L} \cdot R_L}{R_L - R_{2L}}$ <sup>129</sup>

## Kondensator

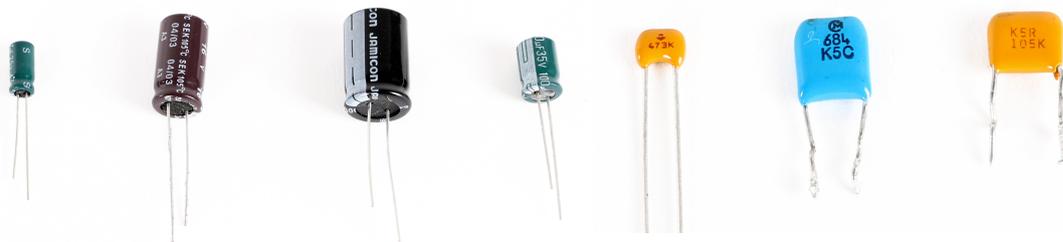


Abb. 37: verschiedene Kondensatoren

Ein Kondensator speichert elektrische Ladung  $Q$  und kann diese anschließend wieder abgeben, er ist ein Bauteil mit einer gewollten Kapazität bestimmter Größe. Als Kapazität wird die Eigenschaft eines Bauteiles bezeichnet, unter dem Einfluss einer Spannung elektrische Energie speichern zu können, Kapazität bedeutet Speichervermögen. Die Kapazität wird mit  $C$  bezeichnet und in Farad (F) angegeben.

Der Kondensator ist aus zwei elektrisch leitenden Platten (z. B. aus Metallfolie) und einem dazwischenliegenden Isolierstoff, dem sogenannten Dielektrikum sowie zwei Anschlussleitern aufgebaut (Abb. 38).<sup>130</sup>

<sup>129</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 52f.

<sup>130</sup> Vgl. Bastina u. a. 2002, 61.

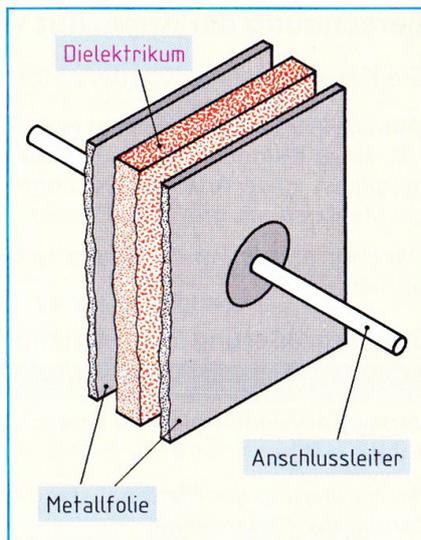


Abb. 38: Grundaufbau eines Kondensators (Bastian u. a. 2002, 61)

Wird an die beiden Metallplatten (-folien) eine Gleichspannung angelegt, so wird durch die Bewegung der Elektronen ein Ladestrom im Stromkreis hervorgerufen. Dieser Stromfluss steigt nach dem Anlegen der Spannung nicht gleichmäßig an, anfangs ist der Strom sehr groß, weil sich die Elektronen leicht bewegen lassen (geringe Gegenkraft), der Kondensator wirkt im Einschaltmoment wie ein Kurzschluss. Im Laufe der Zeit nimmt der Strom immer weiter ab, bis er schließlich den Wert Null erreicht (nämlich dann, wenn die Spannung am Kondensator den Wert der angelegten Spannung erreicht hat). Dann lassen sich die Elektronen nicht mehr verschieben, es herrscht ein Spannungszustand im Kondensator, da die Elektronen das Bestreben haben, wieder in ihre Ausgangslage zurückzukehren. Der Kondensator sperrt also nach dem Aufladen den Gleichstrom, in aufgeladenem Zustand wirkt der Kondensator wie ein großer Widerstand.

Werden die beiden Metallplatten durch einen elektrischen Leiter (Draht) verbunden bzw. ein Widerstand angeschlossen, fließen die Elektronen wieder von der einen Platte auf die andere, der Kondensator entlädt sich. Beim Entladevorgang ist der Strom zu Beginn wieder sehr hoch und nimmt bis auf den Wert Null ab, allerdings fließt der Strom in die entgegengesetzte Richtung wie beim Laden (Abb. 39).<sup>131</sup>

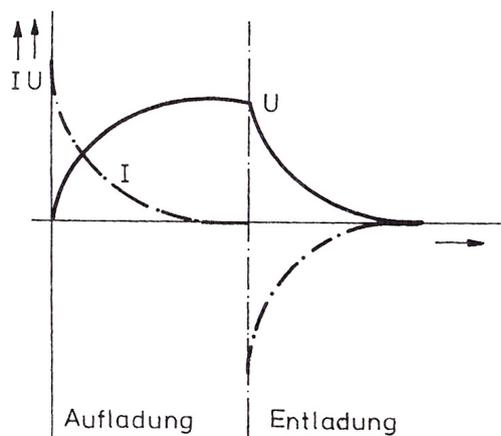


Abb. 39: Strom- und Spannungskennlinie eines Kondensators beim Auf- und Entladen (Benda 2008, 176)

<sup>131</sup> Vgl. Benda 2008, 175f.

## Kapazität

Als Kapazität wird das „Fassungsvermögen“ eines Kondensators für elektrische Ladung bezeichnet.

Formelzeichen ist C, Einheit ist das Farad (F), benannt nach Michael Faraday.

Je größer dabei die Fläche der beiden Elektroden (Metallfolie) und je kleiner der Abstand zwischen ihnen ist, desto höher ist die Kapazität des Kondensators.<sup>132</sup>

Die Kapazität von 1F bedeutet, wenn eine Sekunde ein Ladestrom von 1A fließt, so steigt die Spannung zwischen den Platten um 1V. Kondensatoren mit solchen Kapazitäten kommen in der Praxis nicht vor, die Kapazität wird daher in kleineren Größen angegeben, meist Mikrofarad ( $\mu\text{F}$ , der millionste Teil eines Farad) oder Nanofarad (nF).<sup>133</sup>

→ Hintergrundwissen Michael Faraday (1791 – 1867)

Faraday stammt aus bescheidenen Verhältnissen und besucht die Schule nur bis zu seinem 13. Lebensjahr, dann arbeitet er als Buchbinder. Dabei nutzt er die Möglichkeit, die Bücher, die er binden sollte, zu lesen, insbesondere solche, die Naturwissenschaften behandeln. Er arbeitet sich zum Laborassistenten hoch und kann erste Versuche starten. Den entscheidenden Beitrag zur Geschichte der Elektrizität liefert er im Anschluss an die Entdeckungen Ørsteds, er kann die Elektrizität und den Magnetismus zum Elektromagnetismus vereinen, er entdeckt die elektromagnetische Induktion. Er legt den Grundstein zur Entwicklung von Elektromotor und Generator.

Faraday ist Autodidakt, ein unglaublich neugieriger und kreativer Mensch mit einem Händchen für Experimente und deren Deutung. In seinem Nachlass finden sich Aufzeichnungen zu über 30.000 Experimenten, die er durchgeführt hat.

Er erfindet auch den bekannten Faraday'schen Käfig, dieses Prinzip schützt zum Beispiel Autos vor Blitzeinschlägen. Eine metallische Umhüllung eines begrenzten Raumes schirmt gegenüber elektrischen Feldern (zum Beispiel Blitzen) ab. Auch die Gesetze der Elektrolyse stammen von ihm.<sup>134</sup>

## Bauformen

Grundsätzlich gibt es gepolte und ungepolte Kondensatoren, wobei gepolt bedeutet, dass der Pluspol des Kondensators auch mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbunden sein muss (bei den Minuspolen gilt dasselbe), ansonsten wird der Kondensator zerstört.

Ungepolte (bipolare) Kondensatoren (Abb. 40) sind entweder Wickelkondensatoren oder Massekondensatoren. Bei den Wickelkondensatoren werden meist zwei Folien, durch ein Dielektrikum (entweder Luft, Papier oder Kunststoff) getrennt, aufgerollt und luftdicht verschlossen. Bei den Massekondensatoren bildet die keramische Isoliermasse (Dielektrikum) den Grundkörper, von außen werden dann metallische Beläge aufgebracht.

<sup>132</sup> Vgl. Hanus 2001, 30.

<sup>133</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 59f.

<sup>134</sup> Vgl. Boëtius 2006, 97f; Fischer 2011, 71; Gööck 1988, 275.

Ungepolte Kondensatoren gibt es auch als einstellbare Kondensatoren, hier kann durch drehen oder trimmen die Kapazität verändert werden. Sie werden zum Beispiel für die (manuelle) Sendereinstellung beim Radio verwendet.<sup>135</sup>



Abb. 40: ungepolte Kondensatoren

Bei gepolten Kondensatoren (Abb. 41) handelt es sich im allgemeinen um Elektrolytkondensatoren (Abkürzung „Elko“). Die gängigste Form sind die Aluminium-Elkos, Tantal-Elkos sind auf Grund ihrer kleineren Bauform und geringen Temperaturabhängigkeit teurer als jene aus Aluminium und werden zum Beispiel in Laptops, Mobiltelefonen oder Flachbildschirmen eingebaut. Aufgebaut sind Aluminium-Elkos aus einem aufgerollten Aluminiumband, welches in einen mit leitender Flüssigkeit (Elektrolyt) gefüllten Aluminiumbecher eintaucht. Dabei ist das Band die Anode (positive Elektrode), das Elektrolyt die Katode (negative Elektrode). Wird an den Kondensator eine Gleichspannung angelegt, so bildet sich auf Grund elektrochemischer Vorgänge eine Aluminiumoxidschicht auf der Anode, welches als Dielektrikum wirkt.<sup>136</sup>



Abb. 41: verschiedene Elektrolytkondensatoren

<sup>135</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 62-65.

<sup>136</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 67; Glagla/Linder 1980, 63f.

→ Kondensatoren auf einen Blick:

- Schaltzeichen:

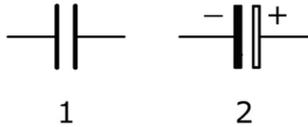


Abb. 42: Schaltzeichen Kondensator allgemein (1), gepolter Elektrolytkondensator (2)

- Einheit: Farad (F)

- Kennbuchstabe: C

- Funktion: der Kondensator kann elektrische Energie speichern

- Einbaurichtung/Polung: bei ungepolten Kondensatoren gibt es keine Einbaurichtung, bei gepolten Elektrolytkondensatoren ist auf die richtige Polung zu achten. Auf den Bauteilen ist (meist) der Minuspol gekennzeichnet (mit einem senkrechten Strich und einem Minussymbol).

Zusätzlich ist meist der Plusanschluss länger als der Minusanschluss (Abb. 41). Gepolte Kondensatoren sind nur für Gleichspannung geeignet.

## Spule

Eine Spule (auch Induktivität genannt) ist ein schraubenförmig aufgewickelter Draht (die Windungen müssen voneinander isoliert sein). Wird dieser Draht von einem Strom  $I$  durchflossen, so bildet sich ein magnetisches Feld (wie bei einem Elektromagneten). Die Wirkung des Magnetfeldes kann um ein vielfaches erhöht werden, wenn die Drahtwicklungen um einen Eisenkern erfolgen. Spulen dienen meist in Verbindung mit Kondensatoren zur Stabilisation in Netzteilen oder zur Filterung von Signalen.

Spulen werden in Transformatoren, Relais, Schützen oder Elektromotoren verbaut.<sup>137</sup>

In einem Gleichstromkreis wirkt die Spule genau gegengleich zu einem Kondensator. Ein Kondensator hat beim Einschalten einen großen Strom, der langsam absinkt, und eine Spannung, die auf ein Maximallevel steigt (siehe Abb. 39). Wirkt eine Spule in einem Gleichstromkreis, so steigt der Strom langsam bis zu einem Maximum an, im Augenblick des Einschaltens liegt die gesamte angelegte Spannung an der Spule, sie nimmt dann bis auf den Wert Null ab.<sup>138</sup>

### Induktion

Ein Strom  $I$  durch einen Draht bewirkt ein Magnetfeld, eine Änderung des Stromes durch die Spule ruft eine Änderung des Magnetfeldes hervor. Dieser Vorgang gilt genauso auch in umgekehrter Richtung: ändert sich das Magnetfeld einer Spule, so entsteht zwischen ihren beiden Enden eine Spannung – man spricht dabei vom „induzieren“ einer Spannung (lat. *inducere* = herbeiführen). Diesen Vorgang nennt man daher Induktion.<sup>139</sup>

<sup>137</sup> Vgl. Reber 2007, 82f; Winzker 2008, 15.

<sup>138</sup> Vgl. Beuth 1997, 68f.

<sup>139</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 80f.

Beispiel: Ein Fahrraddynamo funktioniert genau nach diesem Prinzip, eine Induktionsspannung entsteht durch das Bewegen des Rotors des Dynamos. Je nach Bauform wird entweder der Magnet in einer Spule (zum Beispiel beim klassischen Seitenläuferdynamo) oder eine Spule zwischen den Polen eines Magneten bewegt.

→ Spulen auf einen Blick:

- Schaltzeichen:

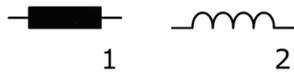


Abb. 43: Schaltzeichen einer Spule veraltet (1), aktuelle Norm (2)

- Einheit: Henry (H)

(benannt nach dem amerikanischen Physiker Joseph Henry (1797 – 1878))

- Kennbuchstabe: L

- Funktion: Spulen erzeugen bei Stromdurchfluss ein Magnetfeld

- Einbaurichtung/Polung: -

### Transformator

Die Änderung des Magnetfeldes kann auch quantitativ geschehen, durch den Auf- und Abbau eines Magnetfeldes, welches ebenso eine Induktion bewirkt. Genau dies ist das Prinzip eines Transformators. Hier werden zwei (oder auch mehr) Spulen magnetisch fest miteinander durch einen gemeinsamen Eisenkern gekoppelt. Jene Spule, die das Magnetfeld erzeugt (also jene, in die der Strom hineingeschickt wird), nennt man Primärspule (in der Abb. 44 Spule 1), an ihr liegt die Primärspannung an. Die zweite Spule, in die das wechselnde Magnetfeld die Spannung induziert nennt man Sekundärspule (in der Abb. 44 Spule 2), an ihr liegt die Sekundärspannung an. Da sich die Primär- und Sekundärspannungen wie die zugehörigen Windungen zueinander verhalten, lässt sich mit einem Transformator eine beliebige *Wechselspannung* (funktioniert nur mit Wechselspannung!) in beliebig höhere oder niedrigere Wechselspannungen umformen (transformieren).<sup>140</sup>

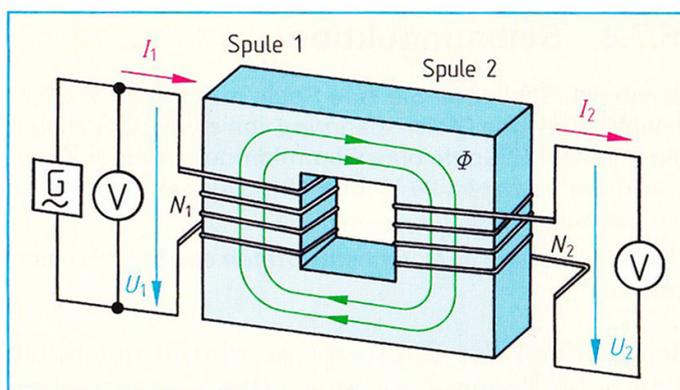


Abb. 44: Aufbau eines Transformators (Bastian u. a. 2002, 87)

<sup>140</sup> Vgl. Glagal/Lindner 1980, 89.

## Diode



Abb. 45: Diode

Eine Diode (vom altgriechischen *díodos* = Durchgang, Pass, Weg) ist ein Halbleiterbauelement, welches aus einer p-Schicht und einer n-Schicht besteht, an deren Enden sich metallische Kontakte befinden. Die beiden Anschlüsse werden Anode (Anschluss an der p-Schicht) und Katode (Anschluss an der n-Schicht) genannt (Abb. 46). Eine Diode leitet den Strom (ab einer gewissen Schleusenspannung  $U_S$  (Schwellwert)), wenn sie in Durchlassrichtung gepolt ist, das heißt, wenn der Pluspol der angelegten Spannung an der Anode angeschlossen ist. Die Diode sperrt den elektrischen Strom, wenn sie entgegengesetzt gepolt ist, also der Pluspol der angelegten Spannung an der Katode angeschlossen ist.<sup>141</sup>

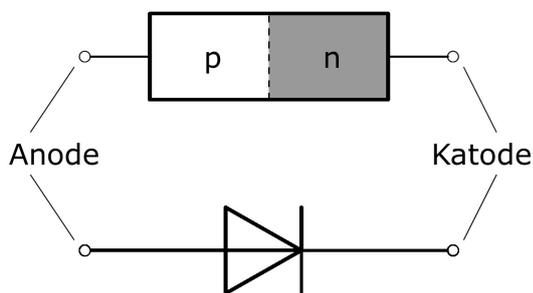


Abb. 46: Gegenüberstellung von pn-Halbleiter und Diodenschaltzeichen

Dioden werden vor allem aus Silizium, seltener auch aus Germanium hergestellt. Dieser Halbleiterkristall wird auf einer Seite p- und auf der anderen Seite n-dotiert und dann in ein Gehäuse verpackt.<sup>142</sup>

Am einfachsten kann man sich eine Diode wie ein Rückschlagventil in einem Wasserkreislauf oder wie das Ventil eines Fahrradschlauches vorstellen.

Verwendet werden Dioden vor allem in Gleichrichterschaltungen (zum Erzeugen von pulsierender Gleichspannung aus einer Wechselspannung) oder als Schutz gegen Überspannungen bei empfindlichen Bauteilen.<sup>143</sup>

<sup>141</sup> Vgl. Dugge/Eißner 2002, 40; Bastian u. a. 2002, 185.

<sup>142</sup> Vgl. Dugge/Eißner 2002, 40.

<sup>143</sup> Vgl. Reber 2007, 85.

## Kennlinie

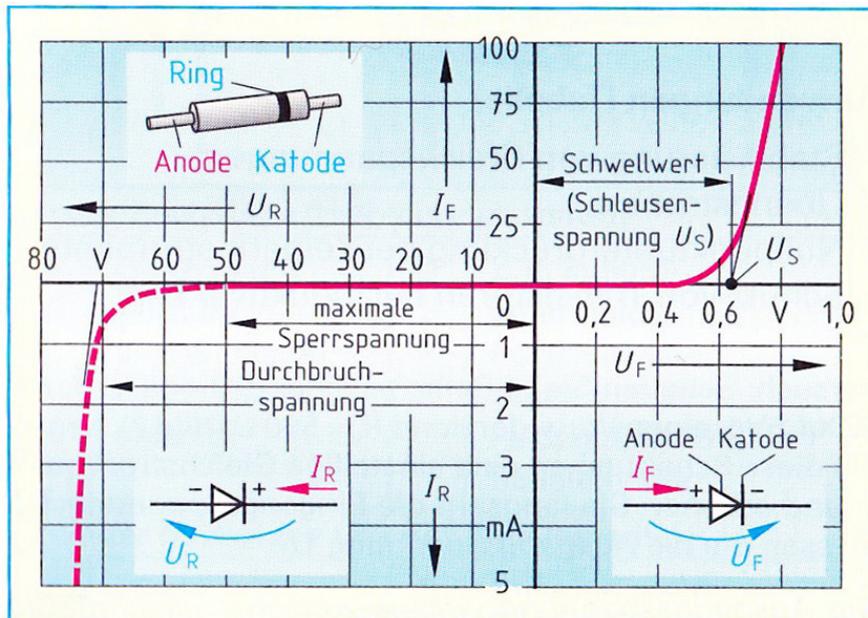


Abb. 47: Kennlinie einer Silizium-Diode (Bastian u. a. 2002, 185)

Dioden haben eine sehr charakteristische Strom-Spannungs-Kennlinie. Hier wird die Kennlinie anhand einer Silizium-Diode beschrieben (Abb. 47).

Auf der rechten Seite (im ersten Quadranten dargestellt) ist die Diode in Durchlassrichtung gepolt.  $I_F$  sowie  $U_F$  stehen für den Durchlassstrom (F für forward = vorwärts) und die Durchlassspannung. Anfangs fließt durch die Diode auch in Durchlassrichtung kein Strom, dazu muss eine sogenannte Schleusenspannung (Durchlassspannung, Schwellenspannung)  $U_S$  überwunden werden. Diese Spannung ist erforderlich, um die im pn-Übergang entstandene Sperrschicht abzubauen. Ab dann wird der Widerstand der Sperrschicht sehr klein und der Strom kann fließen, die Diode leitet und wirkt wie ein sehr niedriger Widerstand. Die Schleusenspannung liegt bei Siliziumdioden zwischen 0,6 und 0,7V, bei Germaniumdioden bei 0,3V.<sup>144</sup>

Auf der linken Seite (im dritten Quadranten dargestellt) ist die Diode in Sperrrichtung gepolt.  $I_R$  sowie  $U_R$  stehen für den Sperrstrom (R für reverse = rückwärts) und die Sperrspannung.<sup>145</sup> Es fließt nur ein verschwindend geringer Sperrstrom  $I_R$ , die Diode wirkt wie ein sehr großer Widerstand, bis die Spannung einen gewissen Maximalwert erreicht hat (maximale Sperrspannung). Über diesen Wert hinaus darf die Diode nicht betrieben werden, ansonsten kommt es zum sogenannten Durchbruch, was eine Zerstörung der Diode bedeutet.<sup>146</sup>

### Prüfen von Dioden

Dioden sind entweder funktionstüchtig oder defekt (gilt für alle Halbleiterbauelemente). Eine Diode kann zwei Fehler haben: entweder der pn-Übergang ist unterbrochen oder die Diode hat einen Kurzschluss. Überprüft werden kann die Funktionstüchtigkeit der Diode mit einem einfachen Multimeter. Viele haben einen eigenen Diodenprüfer eingebaut (gekennzeichnet mit dem Schaltzeichen der Diode). Sollte dies der

<sup>144</sup> Vgl. Dugge/Eißner 2002, 40f; Bastian u. a. 2002, 185.

<sup>145</sup> Achtung: die Einteilung der Achsen in Durchlass- bzw. Sperrrichtung entspricht nicht dem selben Maßstab.

<sup>146</sup> Vgl. Beuth 1997, 117.

Fall sein, wird die Diode einmal in beide Richtungen angeschlossen, in Durchlassrichtung wird die Durchlassspannung angezeigt (bei Siliziumdioden ca. 0,7V, bei LED je nach Farbe zwischen 1,2V und 3V). Ist im Multimeter kein Diodenprüfer integriert, so reicht auch eine einfache Widerstandsmessung. In Durchlassrichtung muss der Widerstand sehr klein sein, in Sperrrichtung sehr groß. Ist der Widerstand bei beiden Messungen sehr groß bzw. sehr klein, so ist die Diode defekt.<sup>147</sup>

→ Dioden auf einen Blick:

- Schaltzeichen:

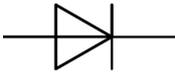


Abb. 48: Schaltzeichen einer Diode

- Einheit: -

- Kennbuchstabe: R

- Funktion: Dioden leiten den Strom in Durchlassrichtung (ab einer Schleusenspannung  $U_s$ ) und sperren den Strom in Sperrrichtung

- Einbaurichtung/Polung: Durchlassrichtung: Pluspol der angelegten Spannung muss mit der Anode verbunden sein. Gekennzeichnet ist die Katode der Diode und zwar mit einem Ring (einfach zu merken: der Ring auf der Diode ist auf der selben Seite wie der senkrechte Strich beim Schaltzeichen)

Weitere Eselsbrücke: der Strom durch eine Diode fließt immer nur in Pfeilrichtung (Schaltzeichen ist als Pfeil zu interpretieren)

→ Weiterführendes Wissen Dioden:

Neben den normalen Dioden gibt es auch noch Dioden mit speziellen Eigenschaften:

- Fotodioden: reagieren wie Fotowiderstände auf Lichteinfall, meist in Sperrrichtung betrieben. Werden als Sensoren zur Messung der Lichtintensität oder als Solarzelle zur Energieerzeugung genutzt.

- Zener-Dioden (Z-Dioden): werden im Sperrbereich beim Erreichen der Zenerspannung niederohmig, werden also in Sperrrichtung betrieben. In Durchlassrichtung verhalten sie sich wie normale Dioden. Sie eignen sich sehr gut zur Spannungsstabilisierung.

- Schottky-Dioden: haben extrem kurze Schaltzeiten

- Backwarddioden: können auch kleinste Wechsellspannungen gleichrichten

- Kapazitätsdioden: sind durch Spannung steuerbare Kapazitäten<sup>148</sup>

<sup>147</sup> Vgl. Glagla/Linder 1980, 101.

<sup>148</sup> Vgl. Beuth 1997, 137-157 und 290ff.

## Leuchtdiode



Abb. 49: Leuchtdioden

Leuchtdioden (kurz LED = light emitting diode) sind Halbleiterbauelemente mit den Eigenschaften einer Diode, die zusätzlich noch elektromagnetische Strahlung emittieren (= aussenden), wenn sie in Durchlassrichtung betrieben werden. Diese Strahlung kann im sichtbaren Bereich oder im Infrarotbereich liegen.<sup>149</sup>

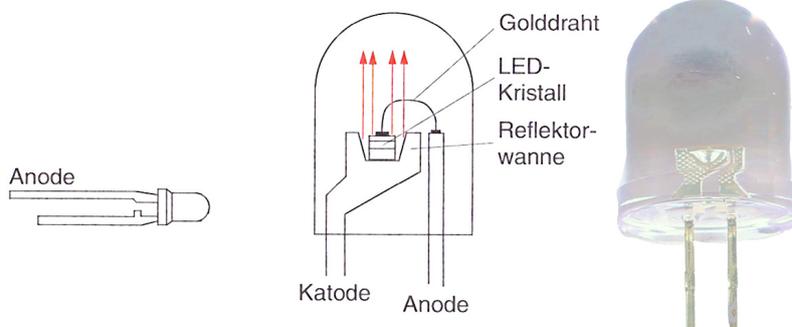


Abb. 50: Aufbau einer LED (vgl. Dugge/Eißner 2002, 291)

Abb. 51: Detail durchsichtige Leuchtdiode

Wird die Leuchtdiode in Durchlassrichtung betrieben, so wandern freie, bewegliche Elektronen im LED-Kristall über den pn-Übergang in das p-Gebiet, wo sie mit Löchern rekombinieren (siehe dazu Kapitel Halbleiter und der pn-Übergang). Bei diesem Vorgang wird Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung frei, welche dann in der Reflektorwanne reflektiert wird. Die runde Bauform der LED beeinflusst ebenfalls die Strahlung.<sup>150</sup>

Je nach verwendetem Halbleitermaterial und Dotierungsgrad leuchtet die LED in verschiedenen Farben:

Material und Dotierung	Farbe	Durchlassspannung $U_F$
GaAsSi	infrarot	1,2V
GaAsP	rot	1,6V
GaAsPN	orange	1,6V
GaAsPN	gelb	1,8V
GaPN	grün	1,8V
InGaN	blau	3V

Ga = Gallium, As = Arsen, Si = Silizium, P = Phosphor, N = Stickstoff, In = Indium

Abb. 52: Werkstoffe von Leuchtdioden (vgl. Bastian u. a. 2002, 202)

<sup>149</sup> Vgl. Dugge/eißner 2002, 290.

<sup>150</sup> Vgl. Ebda., 290f.

Erstmals sichtbar zu leuchten beginnen LED bei einem Durchlassstrom von zirka 2mA, bei 20mA leuchten sie gut sichtbar (20mA ist auch jener Strom, mit dem die meisten LED betrieben werden). Der höchst zulässige Dauerstrom liegt bei 50mA. Deswegen müssen LED auch immer mit einem strombegrenzenden Vorwiderstand betrieben werden, welcher in Reihe geschaltet wird. LED sind in Sperrrichtung sehr empfindlich, es darf (je nach Typ) eine Sperrspannung von 3-5V nicht überschritten werden.<sup>151</sup>

Beim Einbau der Leuchtdioden ist darauf zu achten, dass die Lötzeiten nicht zu lange sind, LED sind sehr wärmeempfindlich. Daher sollten auch die Anschlussdrähte nicht kürzer als 1cm abgeschnitten werden, damit die LED nicht beim Einlöten überhitzen.

Verwendet werden Leuchtdioden vor allem zu Anzeigezwecken. Sie können als Kontrolllampen fungieren, als Warn- oder Messanzeigen und sind in 7-Segment-Anzeigen verbaut. Infrarot-LED sind in Fernbedienungen eingebaut. LED haben den Vorteil, dass sie fast trägheitslos reagieren, wenig Strom verbrauchen und sehr langlebig sind.<sup>152</sup>

LED können gut in Reihe geschaltet werden, hier werden alle LED vom selben Strom durchflossen, die Spannungen addieren sich (es muss also eine genügende hohe Versorgungsspannung anliegen). Schaltet man LED parallel, kann dies zu sehr unterschiedlichen Leuchtintensitäten führen, weil LED sehr hohe Bauteiltoleranzen haben. Wichtig bei einer Parallelschaltung ist, dass jede LED ihren eigenen Vorwiderstand hat. Eine Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung ist auch möglich.

→ Leuchtdioden auf einen Blick:

- Schaltzeichen:



Abb. 53: Schaltzeichen für Leuchtdiode

- Einheit: -

- Kennbuchstabe: P

- Funktion: Leuchtdioden leiten den Strom in Durchlassrichtung und leuchten, sie sperren den Strom in Sperrrichtung und leuchten nicht

- Einbaurichtung/Polung: Durchlassrichtung: Pluspol der angelegten Spannung muss mit der Anode verbunden sein. Die Anode ist bei neuen Dioden erkennbar durch das längere Beinchen, auf der Seite der Kathode ist das Gehäuse der Diode abgeflacht. LED dürfen nur mit einem strombegrenzenden Vorwiderstand betrieben werden.

Vorsicht beim Einlöten der LED, sie dürfen nicht zu lange und zu stark erhitzt werden.

<sup>151</sup> Vgl. Lindner 1991, 34f.

<sup>152</sup> Vgl. Lehnert 1986, 36f; Dugge/Eißner 2002, 294; Lindner 1991, 34.

### Vorwiderstand berechnen

Jede Leuchtdiode muss mit einem Vorwiderstand betrieben werden, damit ein maximal zulässiger Strom nicht überschritten wird. Dieser wird in Serie vor die LED geschaltet und kann mit Hilfe des Ohmschen Gesetz berechnet werden.

→ Beispiel:

Leuchtdiode in rot wird an eine Batterie angeschlossen. Durchlassspannung der LED  $U_F=1,6V$ , gewünschter Durchlassstrom  $I=20mA$ , Betriebsspannung  $U=4,5V$ . Berechnung des Vorwiderstandes  $R_V$ :

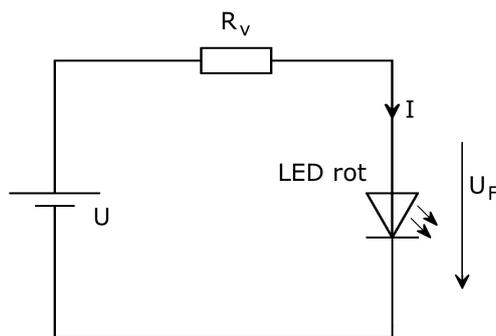


Abb. 54: Schaltplan LED mit Vorwiderstand

$$R_V = \frac{U - U_F}{I} = \frac{4,5V - 1,6V}{0,02A} = 145\Omega \text{ (gewählt wird der nächste Normwert, } 150\Omega \text{)}$$

### (Bipolarer) Transistor



Abb. 55: verschiedene Transistoren

Ein bipolarer Transistor (kurz für transfer resistor) ist, wie eine Diode, ein Halbleiterbauelement, meist aus Silizium hergestellt. Im Gegensatz zu Dioden sind Transistoren aber nicht nur aus einem pn-Übergang aufgebaut sondern aus zwei.<sup>153</sup> Auf Grund der pn-Schichtenfolge wird zwischen zwei Grundtypen unterschieden: dem npn-Transistor und dem pnp-Transistor. Beide haben drei Anschlüsse, den Kollektor, die Basis und den Emitter. Die Funktion der beiden Typen ist ident, nur die Polarität ist entgegengesetzt (der npn-Typ wird mit einer positiven Spannung an der Basis relativ zum Emitter aktiviert, der pnp-Typ mit einer negativen).<sup>154</sup>

<sup>153</sup> Der Name bipolar kommt allerdings davon, dass bei dieser Transistorart zwei Ladungsträger für den Stromtransport verantwortlich sind, Elektronen und Löcher, im Gegensatz zu den unipolaren Transistoren.

<sup>154</sup> Vgl. Beuth 1997, 159f; Lindner 1991, 50f; Lehnert 1990, 38f.

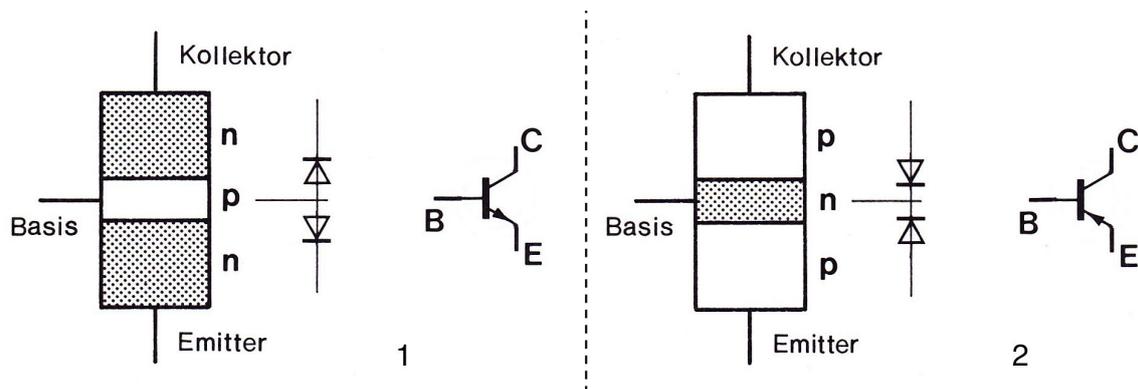


Abb. 56: Schichtenfolge, Dioden-Ersatzschaltbild und Schaltzeichen von npn-Transistor(1) und pnp-Transistor(2) (Lindner 1991, 50)

Ein Transistor kann, wegen seiner beiden pn-Übergänge, als zwei mit einem Pol gegensinnig verbundene Dioden vereinfacht dargestellt werden. Eine wird in Durchlassrichtung betrieben (zwischen Emitter und Basis), die andere in Sperrrichtung (zwischen Kollektor und Basis). Der Pfeil beim Emitter zeigt immer in Stromrichtung von Plus nach Minus.

Da der npn-Transistor wesentlich häufiger eingesetzt wird, wird der Aufbau und die Wirkungsweise an diesem Typ erläutert. In Abb. 56 (1) ist die Zonenfolge ersichtlich, zwischen den n- und p-dotierten Schichten (wobei die p-Schicht viel schmaler als die n-Schichten ist) bildet sich je eine Grenzschicht (Sperrschicht). Wird an die pn-Schicht zwischen Basis und Emitter eine Spannung  $U_{BE}$  angelegt, so ergibt sich ein Stromfluss  $I_B$  über die in Durchlassrichtung geschaltete Diode. Da aber die mittlere p-dotierte Schicht sehr dünn ist (wir sprechen hier von wenigen  $\mu\text{m}$ ) wird sie mit Ladungsträgern (beim npn-Transistor Elektronen) vom Emitter (emit = aussenden, ausströmen) her überflutet und es können nur wenige Elektronen mit Löchern rekombinieren. Nur ca. 1% der vom Emitter „ausgesandten“ Elektronen fließen zur Basis und bilden den sehr kleinen Basisstrom  $I_B$ . Die meisten Ladungsträger werden vom elektrischen Feld der Basis-Kollektor-Sperrschicht in den Kollektor (collect = einsammeln) hineingetrieben. Es entsteht der hohe Kollektorstrom  $I_C$ , welcher um den Faktor 10-500 größer als der Basisstrom ist.<sup>155</sup>

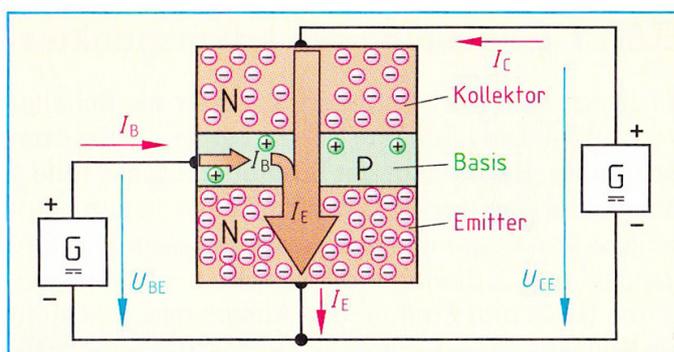


Abb. 57: Ströme und Spannungen bei einem npn-Transistor (Bastian u. a. 2002, 189)

Schon ein sehr kleiner Basisstrom  $I_B$  verursacht beim Transistor einen großen Kollektorstrom  $I_C$ , dies wird Stromverstärkung genannt. Mit der Höhe der Basisspannung  $U_{BE}$  kann der Basisstrom  $I_B$  gesteuert werden, je höher  $U_{BE}$  desto höher  $I_B$ . Mit dem Basisstrom wird der Kollektorstrom gesteuert. Hier gilt: Je höher der Basisstrom, desto höher ist der Kollektorstrom.

<sup>155</sup> Vgl. Benda 2008, 229; Bastian u. a. 2002, 188f.

So wie eine Diode benötigt der Transistor eine gewisse Schwellspannung zwischen Basis und Emmitter (bei Siliziumtransistoren gilt zirka  $U_{BE} > 0,7V$ ), um diesen Grenzübergang leitend zu machen, vorher sperrt der Transistor (und es fließt ein verschwindend geringer Sperrstrom).<sup>156</sup>

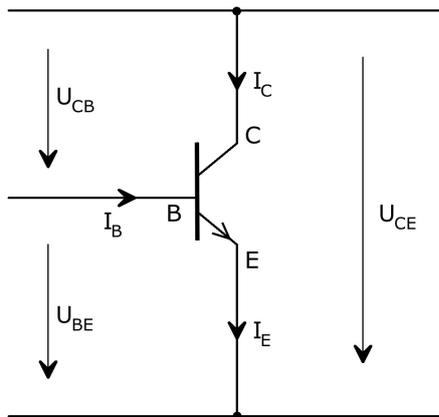


Abb. 58: Ströme und Spannungen beim npn-Transistor

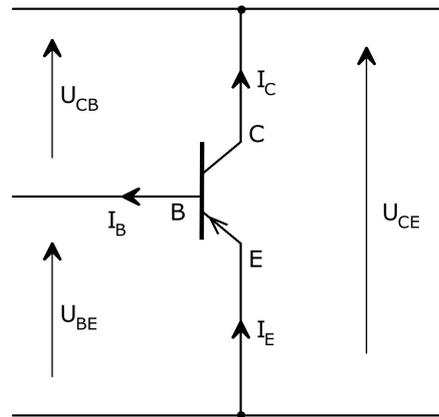


Abb. 59: Ströme und Spannungen beim pnp-Transistor

Es gilt:

$$U_{CE} = U_{CB} + U_{BE} \text{ sowie } I_E = I_C + I_B$$

Ein Transistor kann als Wasserrohr mit Ventil veranschaulicht werden. Fließt kein Basisstrom, so ist das Ventil zu, der Transistor sperrt (Abb. 60). Sobald ein Basisstrom fließt (und die Schwellspannung überwunden ist), fließt ein Strom vom Kollektor zum Emmitter, dieser Strom kann mit dem Ventil, also der Höhe des Basisstromes, geregelt werden (Abb. 61). Ein kleiner Wasserstrom an der Basis kann einen großen Wasserstrom vom Kollektor zum Emmitter steuern.

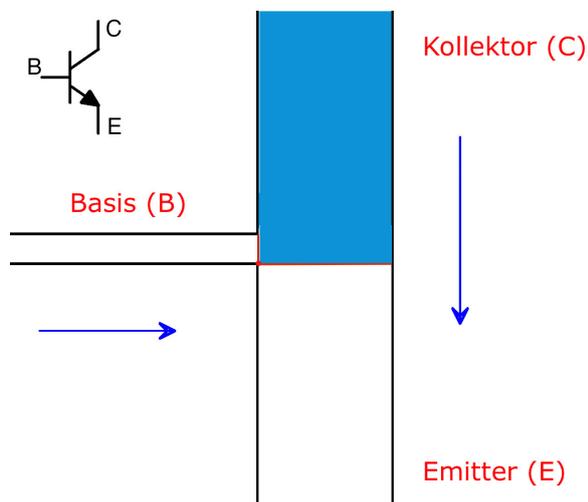


Abb. 60: kein Basisstrom, Ventil zu

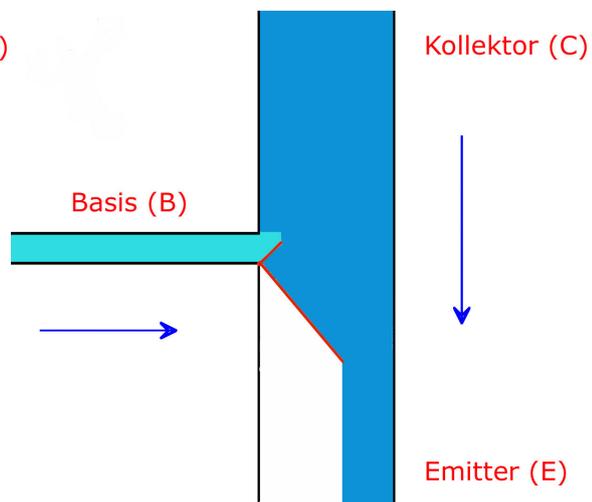


Abb. 61: Basisstrom fließt, Ventil offen

<sup>156</sup> Vgl. Bastian u. a. 2002, 188f; Glagla/Lindner 1980, 124f.

Transistoren werden als schaltendes, strom- oder spannungsverstärkendes bzw. –stabilisierendes Bauelement eingesetzt.

### Transistor als Schalter

Sehr häufig werden Transistoren als Schalter eingesetzt, da sie sehr zuverlässig und schnell sind. In der Digitaltechnik gibt es nur die Unterscheidung „offen“ (elektrischer Schalter ist geöffnet, gesperrt) und „geschlossen“ (leitend). Bei den ersten Rechenmaschinen wird dieses Schalten noch mit mechanischen Relais realisiert, diese Maschinen sind groß, schwer, teuer und haben mechanischen Verschleiß. Seit der Erfindung des Transistors werden die Relais ersetzt, Transistoren sind wesentlich billiger, kleiner, leichter, schneller und haben eine lange Lebensdauer. Zum Vergleich: ein mechanisches Schaltwerk hat eine Lebensdauer von ungefähr 1 Million Schaltvorgängen, diese Leistung bringt ein Transistor in weniger als einer Zehntel Sekunde, und das über Jahre hinweg.

Folgende Schaltung zeigt den Transistor als Schalter einer LED (Abb. 62).

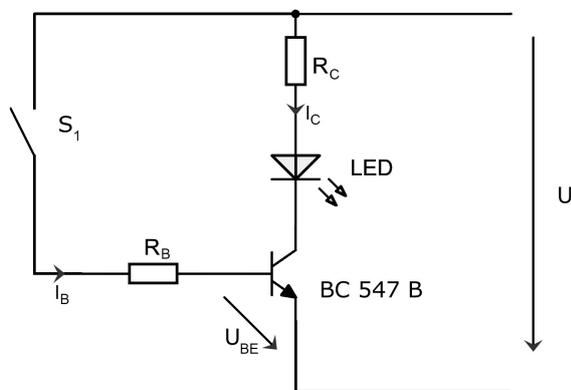


Abb. 62: Schaltplan Transistor als Schalter

Diese Schaltung kann zum Beispiel mit folgenden Bauteilen realisiert werden: Spannungsversorgung mit Batterie  $U = 4,5V$ ,  $R_C = 150\Omega$ ,  $R_B = 20k\Omega$ , LED rot mit  $I_{LED} = I_C = 20mA$  und  $U_{LED} = 1,6V$ .  $U_{BE}$  ist bei diesem Transistor ca.  $0,7V$ .  $S_1$  ist ein Schalter, kann mit einem richtigen Schalter realisiert werden (Schließer) oder auch nur mit einem Metallplättchen oder Draht, der den Kontakt schließt.

Ist der Schalter  $S_1$  offen, so fließt keine Basisstrom  $I_B$ , somit sperrt der Transistor (sehr hochohmiger Widerstand), es fließt nur ein verschwindend geringer Kollektorstrom  $I_C$  und die LED leuchtet nicht. Die gesamte Spannung  $U$  fällt am hochohmigen Transistor ab ( $U_{CE} \approx U$ ). Wird der Schalter  $S_1$  geschlossen, so fließt über den (im Verhältnis zu  $R_C$  großen) Widerstand  $R_B$  (dieser Widerstand dient zur Strombegrenzung an der Basis) ein geringer Basisstrom  $I_B$  (unter  $1mA$ ), welcher aber ausreicht, um den Transistor durchzuschalten (die Spannung  $U_{CE}$  zwischen Kollektor und Emitter geht gegen  $0$  weil sich der Widerstand der CE-Strecke verringert). Es fließt ein großer Kollektorstrom  $I_C$  (ca.  $20mA$ ), welcher das LED zum Leuchten bringt. Wird der Basisstrom wieder unterbrochen ( $S_1$  geöffnet), so sperrt der Transistor wieder und das LED erlischt. Das Öffnen und Schließen des Schalters kann auch mit einer dort eingespeisten Rechteckspannung realisiert werden (bei  $0V$  sperrt der Transistor, beim höheren Level leitet er).<sup>157</sup>

<sup>157</sup> Vgl. Glagla/Lindner 1980, 52f.

### Transistor als Verstärker

Transistoren können als strom- oder spannungsverstärkende Bauteile eingesetzt werden. Es werden kleine Eingangsspannungen und -ströme auf höhere Werte verstärkt. Wie schon beim Schalten mit Transistoren beschrieben, kann mit einem kleinen Basisstrom  $I_B$  ein großer Kollektorstrom  $I_C$  gesteuert werden. Es gibt drei verschiedene Grundschaltungen, je nachdem wie der Transistor in der Schaltung verbaut ist: Emitter-, Kollektor- und Basisschaltung. Unterschieden wird folgendermaßen: Grundsätzlich braucht man für jede Verstärkerschaltung vier Anschlüsse, zwei für die Eingangsspannung und zwei für die Ausgangsspannung. Da ein Transistor nur drei Anschlüsse besitzt, muss ein Anschluss jeweils für Ein- und Ausgangsspannung benutzt werden. Nach diesem doppelt genutzten Anschluss ist dann die Grundschaltung benannt. Am häufigsten verbreitet ist die Emitterschaltung.<sup>158</sup>

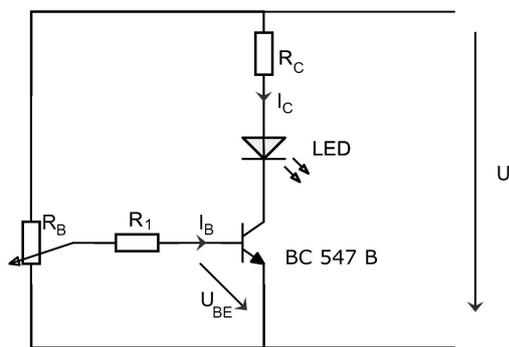


Abb. 63: Schaltplan Transistor als Verstärker, Emitterschaltung

Anhand dieser Schaltung kann die Verstärkerwirkung eines Transistors veranschaulicht werden.  $R_1$  ist ein Schutzwiderstand gegen Kurzschlüsse an der Basis. Dimensionierung der Schaltung wie im Beispiel Transistor als Schalter, Potentiometer  $R_B$  sollte zirka 200-220k $\Omega$  haben.

Durch Drehen des Potentiometers wird der Basisstrom verändert, im oberen Bereich fließt ein kleiner Basisstrom, das LED leuchtet nur schwach. Wird das Potentiometer niederohmiger gedreht, fließt ein höherer Basisstrom, das LED leuchtet immer stärker.

<sup>158</sup> Vgl. Dugge/Eißler 2002, 115 und 133f.

→ Hintergrundwissen Erfindung des Transistors:

1945 wird von den Bell-Laboratories ein umfangreiches Halbleiter-Forschungsprojekt ins Leben gerufen, geleitet von Physiker William Shockley (1910 – 1989). Ebenfalls in diesem Team sind die Physiker Walter Brattain (1902 – 1987) und John Bardeen (1908 – 1991). Durch Zufall entdecken Brattain und Bardeen Ende 1947 ein ihnen bis dahin unbekanntes Phänomen: Bei sogenannten Duo-Punktkontaktdioden aus Germanium bewirkt eine Veränderung der Spannung an der ersten Diode eine Änderung des Stromes der durch die zweite Diode fließt. Sie nannten diese Erscheinung „Transistoreffekt“. Demonstriert wird ihre Entdeckung einen Tag vor Weihnachten 1947, weltweit bekannt gegeben im Laufe des Jahres 1948.

Die ersten Transistoren sind Punktkontakttransistoren (Spitzentransistoren), welche noch wenig stabil arbeiten. Shockley hat 1950 die Idee, das Germanium gezielt zu dotieren und erfindet (in der Theorie) den auch heute noch verwendeten Flächentransistor (realisiert im Laufe der 1950er Jahre). 1956 erhalten die drei Physiker den Nobelpreis für „ihre Untersuchungen über Halbleiter und die Entdeckung des Transistoreffekts“<sup>159</sup>, John Bardeen bekommt 1972 (als bisher einziger in Physik) einen zweiten Nobelpreis für die Theorie der Supraleitung.<sup>160</sup>

→ Weiterführendes Wissen Transistor:

Neben den bipolaren Transistoren gibt es noch weitere Typen mit sehr speziellen Eigenschaften. In der Werkerziehung und für einfache Schaltungen werden sie sehr selten verwendet. Hier ein Überblick mit kurzer Beschreibung:

- Fototransistor: bei ihm kann Licht auf die Basis-Kollektor-Sperrschicht fallen. Lichteinfall erzeugt eine Spannung, die ähnlich wie die Basisspannung den Transistor steuert. Angewendet werden Fototransistoren ähnlich wie Fotodioden, allerdings sind sie durch ihre verstärkende Wirkung wesentlich empfindlicher (zum Vergleichen mit einer Fotodiode mit anschließender Verstärkung)

- Feldeffekttransistor (FET): ist ein unipolarer Transistor, das heißt, es ist nur eine Art von Ladungsträgern für den Stromfluss verantwortlich, entweder Elektronen oder Löcher.

Feldeffekttransistoren wurden schon vor den bipolaren Transistoren entwickelt. Sie werden im Gegensatz zu bipolaren Transistoren nicht durch Strom, sondern durch ein elektrisches Feld, also mit einer Spannung gesteuert. Es gibt Sperrschicht-Feldeffekttransistoren (J-FET = Junction FET) und Isolierschichtfeldeffekttransistoren (häufigster Vertreter MOSFET = Metall-Oxid-Halbleiter-FET).

Vorteil gegenüber den bipolaren Transistoren ist die praktisch leistungslose Ansteuerung.

- Thyristor: besteht aus vier Halbleiterzonen, hat drei Grenzschichten. Ein Thyristor ist ein steuerbarer Gleichrichter, normalerweise sperrt er, kann aber durch einen Stromimpuls eingeschaltet werden und bleibt dann bis zur Unterschreitung eines Haltestroms leitend.<sup>161</sup>

<sup>159</sup> Vgl. [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Nobelpreisträger\\_für\\_Physik](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Nobelpreisträger_für_Physik), 23.4.2017.

<sup>160</sup> Vgl. Platt 2012, 78; Sjobbema 1999, 139ff; Gööck 1988, 213f; Fischer 2011, 284-289.

<sup>161</sup> Vgl. Hanus 2001, 323-332; Beuth 1997, 292f und 203-224; Dugge/Eißner 2002, 169-198 und 286ff; Benda 2008, 224ff.

→ Bipolare Transistoren auf einen Blick:

- Schaltzeichen:

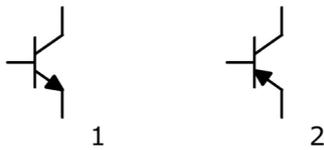


Abb. 64: Schaltzeichen npn-Transistor (1) und pnp-Transistor (2)

- Einheit: -

- Kennbuchstabe: K

- Funktion: Transistoren können als Schalter oder als Verstärker eingesetzt werden. Ein kleiner Basisstrom bewirkt einen großen Strom zwischen Kollektor und Emitter

- Einbaurichtung/Polung: Am besten hält man das Gehäuse so, dass die abgeflachte Seite nach vorne zeigt. Dann ist die Reihenfolge der Anschlüsse von links nach rechts: Kollektor, Basis, Emitter (gilt für den meistens im Werkunterricht verwendeten npn-Transistor Typ BC 547 B).



Standard Pinning  
1 = C 2 = B 3 = E

Abb. 65: npn-Transistor BC 547 B (<http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/155012-da-01-en-BC547B.pdf>, 21.4.2017)

Da es sehr viele unterschiedliche Transistoren gibt, empfiehlt sich ein Blick in das Datenblatt, hier sind die Anschlüsse bezeichnet. Auch mit der Diodenprüfung (siehe Kapitel Prüfen von Dioden) können die Anschlüsse bestimmt werden.

## Elektromotor

Elektromotoren sind zwar keine elektrischen Bauteile, kommen aber im Technischen Werkunterricht häufig vor. Meist handelt es sich um kleine Gleichstrommotoren, mit denen verschiedenste Bewegungen umgesetzt werden können.

Grundsätzlich wandeln Elektromotoren eine elektrische in mechanische Energie um (im Gegensatz zum Generator, welcher genau das Gegenteil macht, mechanische in elektrische Energie umwandeln).

Gleichstrommotoren sind auf eine bestimmte Nennspannung ausgelegt, mit der sie betrieben werden. Ist die Spannung niedriger, läuft der Motor langsamer, ist die Spannung zu hoch, so droht eine Zerstörung des Motors. Durch Umpolung der Eingangsspannung kann der Drehsinn des Motors geändert werden.<sup>162</sup>

<sup>162</sup> Vgl. Hanus 2001, 310ff.

Elektromotoren beruhen auf folgenden Prinzipien: Nord- und Südpol eines Magneten ziehen sich an und gleichnamige Pole stoßen sich ab, fließt Strom durch einen Draht, so bildet sich um diesen ein Magnetfeld (entdeckt von Øersted und Faraday).

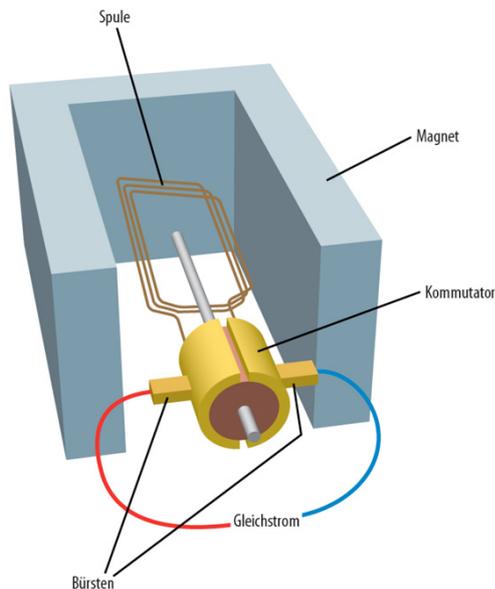


Abb. 66: vereinfachte Darstellung eines Gleichstrommotors (Platt 2012, 275)

Gleichstrommotoren sind grundsätzlich aus einem feststehenden Magneten (Stator) und einem drehbar gelagerten Rotor, bestehend aus einer um einen Eisenkern (Anker) gewickelten Spule und dem Kommutator. Die Stromversorgung des Rotors passiert mit Hilfe von Bürsten, durch den Stromfluss bildet sich ein Magnetfeld um die Spule. Diese steht nun in Wechselwirkung mit dem äußeren Magnetfeld des Stators. Der Rotor dreht sich so, dass sich die Pole des Rotors und des Stators anziehen bzw. die gegensinnigen Pole abstoßen. Nun muss eine Umpolung des Rotors stattfinden, sonst würde der Motor stehen bleiben. Dies erfolgt durch den Kommutator (Stromwender), aus dem Nordpol des Rotors ist der Südpol geworden und umgekehrt. Diese Pole stoßen sich wieder mit den Polen des Stators ab und der Motor dreht sich weiter. Diese Umpolung muss schnell genug erfolgen, damit sich der Motor gleichmäßig dreht.<sup>163</sup>

Weitere Bauformen des Elektromotors sind der Schrittmotor (Gleichstrommotor, der sich in kleinen Schritten dreht) und der Wechselstrommotor.

---

<sup>163</sup> Vgl. Bastian u.a. 2002, 447; Platt 2012, 275; Hanus 2001, 310-314.

## Unterrichtsideen

Im folgenden Kapitel werden einige einfache Schaltungen mit den grundlegenden Bauteilen beschrieben. Es werden keine fertig ausgearbeiteten Unterrichtsbeispiele präsentiert, sondern eine Idee samt Schaltplan, die jeweilige Umsetzung (Aufbau der Schaltung, löten oder stecken, Gehäuse usw.) bleibt der Lehrkraft überlassen. Einige der Schaltungen sind erweiterbar bzw. zu größeren, umfangreicheren Schaltungen zusammenfügbar. Hier werden nur die (Grund-) Schaltungen in ihrer Funktion erklärt, wenn diese verstanden und probiert wurden, ist eine Erweiterung und Umsetzung mit den SchülerInnen ohne größeren Aufwand zu realisieren.

### *Polaritätsprüfer<sup>164</sup>*

Mit dieser sehr einfachen Schaltung kann die Polarität von Spannungsquellen geprüft werden. Der Polaritätsprüfer zeigt an, wo sich der positive bzw. der negative Pol einer Spannungsquelle befindet. Diese Schaltung zeigt die Funktion einer LED und einer Diode.

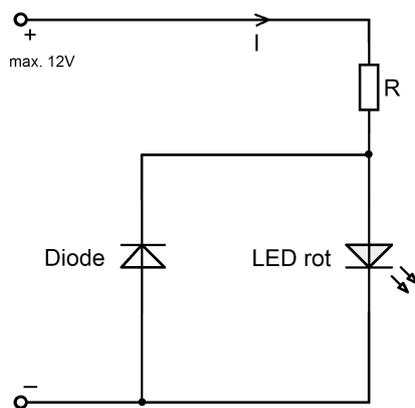


Abb. 67: Schaltplan Polaritätsprüfer

Verwendete Bauteile (für eine Spannung von maximal 12V ausgelegt):

- Widerstand  $R=560\Omega$
- Silizium-Allzweckdiode 1N4148
- LED grün ( $U_F=1,8V$ ,  $I=20mA$ )

Funktion der Schaltung:

Es kann eine maximale Spannung von 12V angelegt werden. R ist der Vorwiderstand, um den Strom I für die LED auf 20mA zu begrenzen.

Ist die Spannungsquelle „falsch“ angeschlossen (Plus zu Minus, Minus zu Plus), so leuchtet die Diode nicht auf. Wichtig ist in diesem Fall, dass zum Schutz der LED (an ihr würde in diesem Fall die gesamte Eingangsspannung anliegen) eine Schutzdiode eingebaut ist, die den Strom von der LED ableitet. Die Schutzdiode ist in diesem Fall in Durchlassrichtung gepolt, die LED in Sperrrichtung. Da der Strom den Weg mit dem geringsten Widerstand nimmt, fließt er über die Diode ab und zerstört die LED nicht.

---

<sup>164</sup> Vgl. Lindner 1991, 38f.

Ist die Spannungsquelle richtig angeschlossen (Pluspol der Spannungsquelle am Pluspol des Polaritätsprüfers, Minuspol analog), so leuchtet die LED und zeigt somit die richtige Polung an. In diesem Fall fließt der Strom über den Vorwiderstand R über die LED und bringt sie zum Leuchten. Über die Diode fließt kein Strom, weil sie in diesem Fall in Sperrrichtung gepolt ist.

Dieser Polaritätsprüfer kann auch mit zwei verschiedenfarbigen Leuchtdioden realisiert werden. Dabei wird die Schutzdiode einfach durch eine weitere LED ersetzt (zum Beispiel mit der Farbe rot). Dann leuchtet bei richtig angeschlossener Spannungsquelle die grüne LED, bei falscher Polung die rote.

### *Joule-Thief-Schaltung*

Die Joule-Thief-Schaltung (zu Deutsch Joule-Dieb, wobei mit Joule die Energie gemeint ist) ist eine einfache Schaltung, die Gleichspannung in höhere (pulsierende) Gleichspannung transformiert, es ist ein selbst oszillierender Schwingkreis. Mit der Joule-Thief-Schaltung kann auch noch aus schon sehr schwachen Batterien der letzte Rest „herausgequetscht“ werden oder mit zu schwachen Spannungsquellen Schaltungen oder Geräte betrieben werden, die eigentlich höhere Spannungen benötigen. Eine Joule-Thief-Schaltung kann sehr gut für eine Taschenlampe verwendet werden, sie lässt die Lampe auch noch leuchten, wenn die Batterie schwach wird. Verwendet werden müsste dazu eine größere superhelle LED.

Als Bauteile werden lediglich Transistor, Leuchtdiode und Widerstand benötigt. Eine Spule wird selbst von den SchülerInnen gewickelt und dabei das Prinzip einer Spule verdeutlicht.

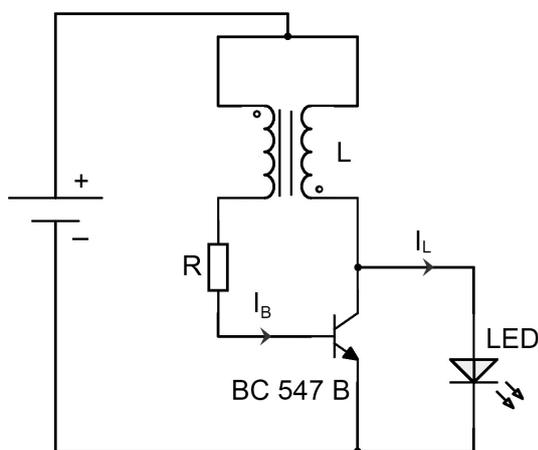


Abb. 68: Schaltplan Joule-Thief

Verwendete Bauteile und Materialien:

- Transistor BC 547 C oder ähnliche
- Widerstand R  $1k\Omega$  (kann je nach gebauter Spule variieren, sonst zur Sicherheit Potentiometer einbauen)
- LED in beliebiger Farbe
- Ringkern aus Eisen, Durchmesser einige Zentimeter (kann bestellt werden oder aus alten Elektrogeräten ausgebaut werden)
- Isolierter Draht oder lackierter Kupferdraht

Wickeln der Spule:

Die Spule wird selbst von den SchülerInnen gewickelt. Dazu wird ein Ferrit-Ringkern benötigt und isolierter Draht (dieser sollte möglichst dünn sein oder es wird Kupferlackdraht verwendet, wichtig ist, dass die einzelnen Wicklungen voneinander isoliert sind). Es werden zwei Drähte miteinander verdreht und anschließend über den Ringkern gewickelt. Angeschlossen werden die beiden Wicklungen gegengleich (Abb. 69). Zwei Enden werden verbunden und mit dem Pluspol der Batterie verdrahtet, ein Ende (R) führt zum Widerstand, das andere (C) zum Kollektor des Transistors. Gewickelt sollten zirka zwei mal 20 Windungen werden. Zum Wickeln von Ringkernen gibt es einige sehr anschauliche You-Tube-Videos im Netz.

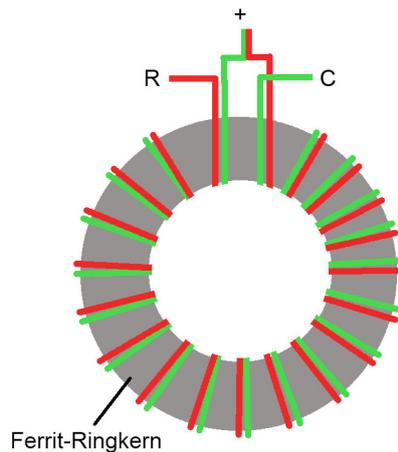


Abb. 69: Ferrit-Ringkern mit zwei Wicklungen

Funktion der Schaltung:

Zu Beginn sperrt der Transistor, die LED leuchtet nicht. Es fließt ein sehr kleiner Strom (weil nur eine sehr schwache Batterie angehängt wird) durch die erste Wicklung der Spule über den Widerstand R zur Basis des Transistors. Der Transistor beginnt zu leiten, was einen verstärkten Stromfluss über den Kollektor-Emitter-Anschluss bewirkt. Es liegt nun die volle Betriebsspannung an der zweiten Wicklung. Da sich die beiden Wicklungen auf dem selben Kern befinden und auch die selbe Wicklungszahl haben, liegt auch auf der ersten Wicklung die gleiche Spannung an, allerdings mit anderer Polung, weil die erste Wicklung umgekehrt angeschlossen ist (siehe Abb. 69). Nach kurzer Zeit (wenige  $\mu\text{s}$ ) kann der Kollektorstrom nicht mehr weiter steigen, er erreicht seinen Maximalwert (abhängig vom Stromverstärkungsfaktor des Transistors). Steigt der Strom nicht mehr weiter an, so wird auch keine Spannung mehr in die erste Wicklung induziert. Dies hat ein Fallen des Basisstroms und in weiterer Folge auch des Kollektorstroms zur Folge. Der Transistor schaltet ab, er leitet nicht mehr. Dadurch bricht das Magnetfeld in der Spule zusammen, dies erzeugt eine Spannung mit umgekehrter Polarität, welche sich zu der angelegten Betriebsspannung addiert. Genau dies bringt die LED kurzfristig zum Leuchten, und zwar so lange, bis die Energie aus der Spule aufgebraucht ist. Dann beginnt dieser Kreislauf wieder von vorne, die Schaltung schwingt (mit wenigen Mikrosekunden). Dieses Schwingen ist mit freiem Auge nicht wahrnehmbar, es erscheint als ob die LED dauerhaft leuchtet.

## Alarmanlage<sup>165</sup>

Eine Alarmanlage kann sehr einfach mit den SchülerInnen realisiert werden. Sie besteht nur aus wenigen Bauteilen und kann als praxisbezogene Schaltung zum Beispiel als Sicherung der Kinderzimmertür oder ähnlichen gebaut werden. Als Alarm leuchtet ein LED, die Schaltung kann auch durch ein akustisches Signal (zum Beispiel Summer) erweitert werden.

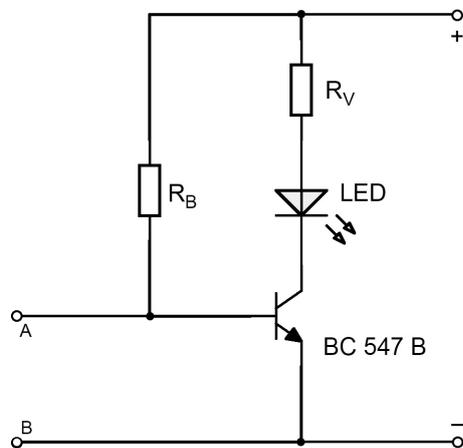


Abb. 70: Schaltplan Alarmanlage

### Verwendete Bauteile:

- Versorgungsspannung Batterie 4,5V
- LED rot ( $U_F=1,6V$ ,  $I=20mA$ )
- Vorwiderstand  $R_V=150\Omega$
- Widerstand  $R_B=20k\Omega$
- Stück sehr dünner Draht oder Schalter (Öffner)

Zwischen den Anschlüssen A und B befindet sich der Auslöser der Alarmanlage. Dies kann ein Stück dünner Draht sein, der bei Betätigung durchreißt oder ein Schalter, welcher normal geschlossen ist und den Alarm durch Öffnen auslöst (bei der Realisierung solcher Schalter sind keine Grenzen gesetzt).

### Funktion der Schaltung:

Da zwischen den Anschlüssen A und B eine dauernde Verbindung besteht, liegt die Basis des Transistors am Minuspol der Spannungsquelle, die Basis-Emitter-Strecke ist also kurzgeschlossen. Der Transistor sperrt, es fließt kein (bzw. nur der verschwindend geringe Sperr-) Strom zwischen Kollektor und Emitter, es wird kein Alarm ausgelöst. Der Strom fließt in diesem Fall über den Basiswiderstand.

Wird diese Verbindung getrennt (Draht durchgerissen, Schalter geöffnet), so fließt über den Basiswiderstand  $R_B$  ein Basisstrom, welcher den Transistor leitend macht. Der Basisstrom bewirkt einen verstärkten Kollektorstrom, welcher die LED zum Leuchten bringt, also den Alarm auslöst. Die LED leuchtet so lange, bis wieder eine Verbindung zwischen A und B hergestellt wird.

<sup>165</sup> Vgl. Lindner 1991, 58f; Glagla/Lindner 1980, 131ff.

### Darlington Schaltung

Nachteil der vorigen Schaltung (Alarmanlage) ist, dass bei eingeschalteter Anlage ein Ruhestrom über den Basiswiderstand und den Kurzschluss der Basis fließt. Im vorigen Beispiel sind das 0,225mA (wird statt dem LED eine kleine Glühlampe verwendet erhöht sich dieser Strom), was auf Dauer die Batterie strapaziert. Mit Hilfe der sogenannten Darlington-Schaltung kann man die Alarmanlage sparsamer betreiben.

Die Darlington-Schaltung ist nichts anderes als die Hintereinanderschaltung von zwei Transistoren (gleicher Zonenfolge). Dabei steuert der Emitterstrom des ersten Transistors den Basisstrom des zweiten Transistors. Die Kollektoranschlüsse werden miteinander verbunden. Die Gesamtstromverstärkung dieser Schaltung setzt sich aus den Stromverstärkungen der beiden Transistoren zusammen, sie werden multipliziert.

Der Transistor BC 547 B hat zum Beispiel eine Stromverstärkung von zirka 200, eine Darlingtonschaltung mit zwei Transistoren dieses Typs käme auf eine Verstärkung von 40 000.

Eine solch enorme Verstärkung des Basisstroms hat zur Folge, dass ein wesentlich größerer Basiswiderstand gewählt werden kann und somit der Ruhestrom bei eingeschalteter Anlage auf wenige Mikroampere sinkt.

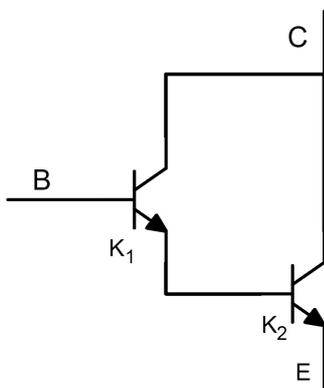


Abb. 71: Darlington-Schaltung von zwei npn-Transistoren

Funktion der Schaltung:

Der Basisstrom des Transistors  $K_1$  bewirkt einen verstärkten Emitterstrom von  $K_1$ , welcher gleichzeitig der Basisstrom von  $K_2$  ist. Dieser Basisstrom wird wiederum von  $K_2$  verstärkt. Die Stromverstärkungen der einzelnen Transistoren multiplizieren sich. Behandelt werden kann die Darlington-Schaltung wie ein einziger Transistor mit größerer Stromverstärkung. Allerdings addieren sich die Basis-Emitter-Spannungen der beiden Transistoren, es wird eine doppelt so hohe Eingangsspannung als Schwellwert benötigt. Die Darlington-Schaltung wird vor allem als sehr empfindlicher und schneller Schalter eingesetzt.<sup>166</sup>

<sup>166</sup> Vgl. Dugge/Eißner 2002, 138f; Glagla/Lindner 1980, 134ff; Lindner 1991, 60f.

### Nachdenkzeitbegrenzer (Einschaltverzögerung)<sup>167</sup>

Ein „Nachdenkzeitbegrenzer“ kann von den SchülerInnen für diverse Spiele oder Aufgaben verwendet werden. Ist die Zeit bei einem Spiel pro Spielzug begrenzt, wird durch diese Schaltung ein Signal gegeben, dass der nächste Spieler am Zug ist. Kann auch für Kopfrechenaufgaben, Quiz oder Ratespielen verwendet werden.

Grundsätzlich ist der Nachdenkzeitbegrenzer eine Einschaltverzögerung, welche ein Signallämpchen aufleuchten lässt. Transistoren werden in Form der Darlington-Schaltung eingesetzt, ein Kondensator dient als Zeitgeber.

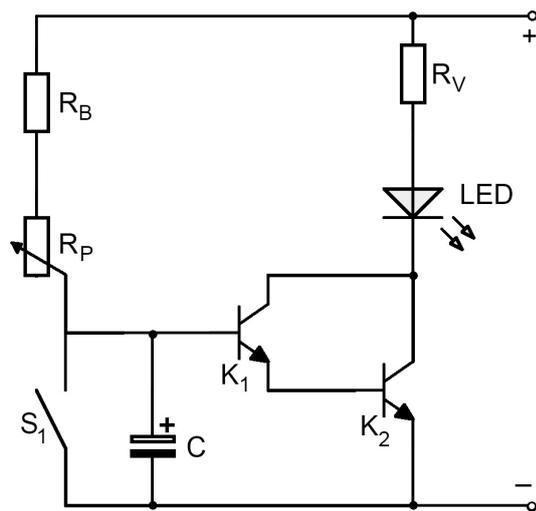


Abb. 72: Schaltplan Nachdenkzeitbegrenzer

#### Verwendete Bauteile:

- Versorgungsspannung Batterie 4,5V
- LED rot (1,6V, 20mA)
- Transistoren  $K_1, K_2$  BC 547 B
- Kondensator C 470 $\mu$ F
- Widerstand  $R_V=100\Omega$
- Widerstand  $R_B=1k\Omega$
- Potentiometer  $R_P=500k\Omega$
- Taster  $S_1$  (Schließer)

#### Funktion der Schaltung:

Die Darlington-Schaltung der beiden Transistoren wird im Text als ein Transistor dargestellt.

Beim Anlegen der Versorgungsspannung ist der Transistor zunächst gesperrt, die LED leuchtet nicht. Der Kondensator C lädt sich über die Widerstände  $R_B$  und  $R_P$  auf. Da ein Kondensator anfangs wie ein Kurzschluss wirkt, fließt kein Basisstrom. Erst wenn sich der Kondensator auf mindestens die Schwellspannung des Transistors aufgeladen hat, beginnt ein Basisstrom zu fließen. Dadurch beginnt der Transistor durchzuschalten und die Kollektor-Emitter-Schicht wird leitend. Die LED fängt an zu leuchten.

<sup>167</sup> Vgl. Lindner 1991, 86-91; Glagla/Lindner 1980, 146.

Fließt der ganze Strom über die Basis-Emitter-Strecke, bleibt für den Kondensator kein Ladestrom mehr übrig, der Transistor schaltet voll durch und die LED leuchtet hell. Die Spannung des Kondensators bleibt in Höhe der Transistor-Schwelspannung (bei der Darlingtonschaltung 1,4V) stehen. Durch Drücken des Tasters  $S_1$  wird der Kondensator sehr schnell entladen, die Basis des Transistors liegt auf 0V, der Transistor sperrt und die LED erlischt. Durch Loslassen des Tasters beginnt der Ladezyklus von neuem. Durch Verändern des Basiswiderstandes, also durch Drehen des Potentiometers, kann der Basisstrom eingestellt und die Ladezeit des Kondensators verzögert werden. Es können auch andere Kondensatoren und Potentiometer eingesetzt werden, wenn eine kürzere oder längere Schaltzeit gewünscht ist. Außerdem kann zusätzlich zum optischen Signal ein akustisches Signal eingebaut werden

### Heißer Draht<sup>168</sup>

Das Spiel „Heißer Draht“ oder „Sichere Hand“ kennt wohl jede/jeder SchülerIn. Doch hinter diesem einfachen Spiel steckt eine interessante Schaltung, nämlich eine bistabile Kippstufe (Flip-Flop). Diese Schaltung kann genau zwei Zustände einnehmen und ist somit ein Speicher von 1 Bit Datenmenge. Die Schaltung bleibt so lange in einem Zustand, bis sie durch einen Impuls in den zweiten Zustand versetzt wird. Das Spiel selbst dürfte jedem bekannt sein. Eine Öse mit Griff soll über eine lange, verwinkelte Kontaktstrecke hin und wieder zurück geführt werden, ohne dass es dabei zu einer Berührung kommt. Solange es zu keiner Berührung des Kontaktdrahtes kommt leuchtet die grüne LED, sobald einmal ein kurzer Kontakt war, erlischt die grüne LED und die rote beginnt zu leuchten. Sie leuchtet so lange, bis durch den Taster  $S_1$  die Schaltung zurückgesetzt wird (Neustart des Spieles).

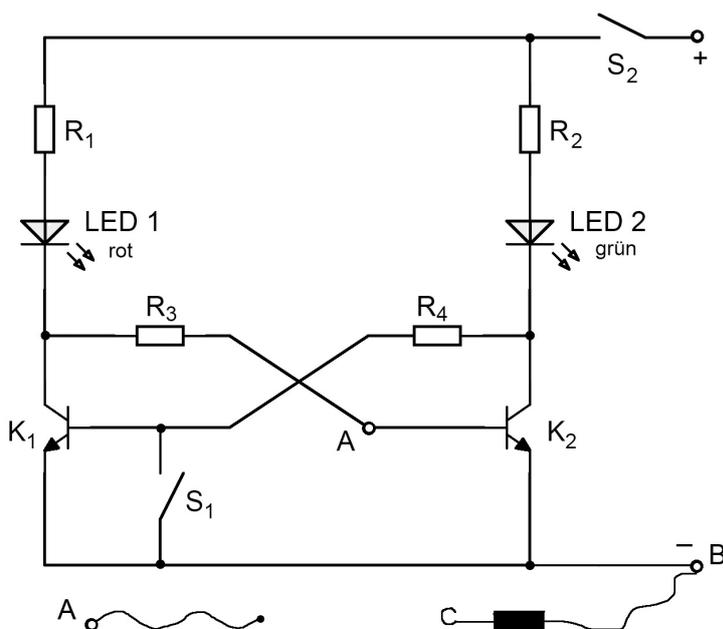


Abb. 73: Schaltplan "Heißer Draht"

<sup>168</sup> Vgl. Lindner 1991, 66f; Glagla/Linder 1980, 162f.

Mit dem Anschluss A wird der gebogene Draht an einer Seite verbunden, an Anschluss B wird der Holzgriff mit Öse und isoliertem Draht angebracht. Berühren sich die Öse und der Draht, bedeutet das nichts anderes, wie wenn zwischen A und B ein Taster geschlossen wird.

Verwendete Bauteile:

- Versorgungsspannung Batterie 4,5V
- Widerstand  $R_1=150\Omega$
- Widerstand  $R_2=100\Omega$
- Widerstand  $R_3, R_4=10k\Omega$
- Transistor  $K_1, K_2$  BC 547
- LED rot (1,6V, 20mA)
- LED grün (1,8V, 20mA)
- Taster  $S_1$  (kann auch mit einem Stück Blech realisiert werden)
- Schalter (Schließer)  $S_2$
- Blanker Kupferdraht, Öse, Holz für Griff, isolierter Draht

Funktion der Schaltung:

Versorgungsspannung anlegen und mit dem Schalter  $S_2$  die Schaltung einschalten. Einer der beiden Transistoren schaltet durch (abhängig von den Bauteilen und Toleranzen), mit dem Betätigen des Tasters  $S_1$  wird die Schaltung in den Anfangszustand gebracht. Dann fließt über  $R_1$  und die rote LED (leuchtet nicht) sowie  $R_4$  ein Basisstrom zum Transistor  $K_2$  und bringt ihn zum Leiten, es fließt ein höherer Kollektorstrom über  $R_2$  und die grüne LED, welche zu leuchten beginnt.  $T_1$  sperrt. Dieser Zustand ist von so langer Dauer, bis der Kontakt zwischen A und B (also ein Kontakt der Öse mit dem gebogenen Draht), was einem Taster gleichzusetzen ist, hergestellt wird. Besteht dieser Kontakt kurz, so wird die Basis des Transistors  $K_2$  mit dem Minuspol der Versorgungsspannung verbunden und der Transistor  $K_2$  sperrt. Dadurch erlischt die grüne LED. Wenn  $K_2$  sperrt, liegt die Basis von  $K_1$  (über die Widerstände  $R_2$  und  $R_4$  und das grüne LED) am positiven Pol der Batterie, es fließt ein Basisstrom, welcher durch die Widerstände begrenzt wird.  $K_1$  schaltet durch, die rote LED beginnt zu leuchten. Die rote LED zeigt also an, wenn beim Spiel ein Fehler gemacht wird, und zwar so lange, bis der Taster  $S_1$  betätigt wird. Dann wird das Spiel neu gestartet. Durch die Betätigung von  $S_1$  wird die Basis von  $K_1$  mit dem Minuspol der Batterie kurzgeschlossen,  $K_1$  sperrt wieder und  $K_2$  leitet, die grüne LED beginnt zu leuchten.

## **Teil II: Fragebogen Elektronik im Werkunterricht**

Als Vorbereitung für meine Diplomarbeit habe ich unter einigen WerklehrerInnen, vor allem aus Oberösterreich, eine qualitative elektronische Umfrage zum Thema „Elektronik im Werkunterricht“ gestartet. Ich habe eine kurze Bestandsaufnahme durchgeführt, inwieweit Elektronik tatsächlich im Unterricht vorkommt und in welcher Form. Dazu habe ich einen Fragebogen mit 17 Fragen in Form einer Online-Umfrage mit Unterstützung von Prof. Markus Riebe, Fachinspektor Technisches Werken, Mag. Josef Derflinger, Arbeitsgemeinschaft (ARGE) – Leiter für Technisches Werken OÖ, Mag. Walter Lexmüller, Leiter Bundesarbeitsgemeinschaft (BAG) – Werken sowie Mag. Susanne Weiß, Landesvorsitzende für OÖ des Berufsverband Österreichischer Kunst- und Werkerzieher (BÖKWE), versendet.

Der Rücklauf von 59 beantworteten Fragebögen ermöglicht es mir, eine Tendenz in Bezug auf Anwendung von Elektronik im Werkunterricht festzustellen.

Der Fragebogen umfasst 17 Fragen, die teilweise mit Multiple-Choice, teilweise mit eigenen Worten zu beantworten waren. Die Befragung konnte auf Wunsch auch anonym durchgeführt werden. Der Fragebogen ist im Anhang zu finden.

### **Resümee**

Viele der befragten LehrerInnen sind sich bewusst, dass auf Elektronik im Werkunterricht nicht verzichtet werden soll. Die meisten bemühen sich, Elektronik in ihren Unterricht einfließen zu lassen. Um einen guten Unterricht zu gestalten, ist es wichtig, ein grundlegendes Wissen und Verständnis für die zu vermittelnde Materie zu haben. Doch die Informations- und Wissensbeschaffung in diesem Bereich gestaltet sich für viele als schwierig. Ihr Wissen haben der Großteil der Befragten über ein Selbststudium von Büchern und Internetquellen erlangt, Fortbildungen im Bereich Elektronik werden auch genutzt, vor allem an den Pädagogischen Hochschulen.

Da es immer wieder an Vorwissen mangelt, behelfen sich viele der Befragten mit der Verwendung von Werkpackungen und Bausätzen. Diese werden entweder direkt im Unterricht verwendet, dienen aber auch als Ideenpool und Anschauungsmaterial.

Eine genaue Auswertung jeder einzelnen Frage folgt im nächsten Kapitel. Jede Frage wird gesondert ausgewertet und ein Kurzresümee gezogen, welches teilweise noch mit Diagrammen unterstützt wird.

## Auswertung

### 1. Wie wichtig finden Sie es, dass SchülerInnen heutzutage eine Basisausbildung im Bereich Elektronik bekommen?

Es ist gut zu erkennen, dass fast 95 % der Befragten sich der Wichtigkeit einer Grundausbildung im Bereich Elektronik bewusst sind. Warum jede(r) Einzelne dies als sehr wichtig oder wichtig empfindet, wird in der Zusatzfrage (kurze Erklärung) beleuchtet.

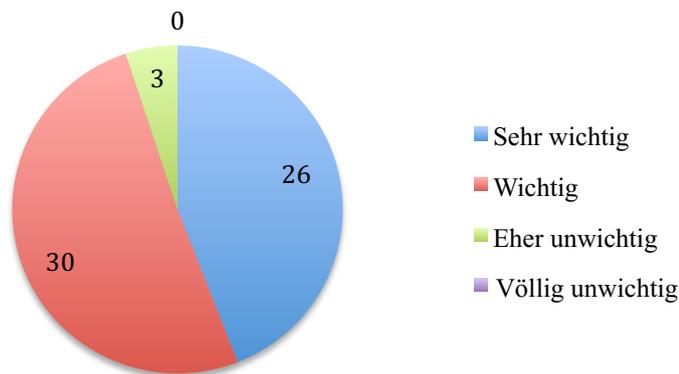


Abb. 74: Wichtigkeit von Elektronik im Werkunterricht

Als Zusatzfrage zur ersten Frage musste noch eine kurze Erklärung zur gegebenen Antwort gemacht werden, als Erläuterung, warum SchülerInnen eine Basisausbildung im Bereich Elektronik bekommen sollten.

Aus der Fülle von Antworten haben sich folgende Aussagen herauskristallisiert:

Die Grundlagen der Elektronik zählen heute zur Allgemeinbildung, die Elektronik ist die Grundlage der gegenwärtigen Technik. Da wir im Alltag ständig mit Elektronik konfrontiert sind, sollte auch jeder ein gewisses Basiswissen in diesem Bereiche haben, auch um eventuell kleinere Reparaturen durchführen zu können, um so der Wegwerfgesellschaft ein wenig entgegen zu wirken. Grundkenntnisse im Bereich der Elektronik sind zum Verstehen technischer Zusammenhänge wichtig. Die SchülerInnen sollen die Funktionen von elektrischen Bauteilen verstehen und sinnvoll anwenden, man kann mit einer Einführung in die Elektronik Interesse wecken bei den SchülerInnen, was wichtig für das spätere (Berufs-) Leben ist.

## 2. Behandeln Sie Elektronik im Werkunterricht?

Es ist zu erkennen, dass Elektronik fast in jedem Werkunterricht vorkommt, genauer bei zirka 90% der Befragten. Unter den sechs Personen, die Elektronik gar nicht unterrichten, befinden sich zwei Lehrer aus der BAfEP (Bundesbildungsanstalt für Elementarpädagogik, Kindergartenpädagogik), bei denen das Wort „Elektronik“ nur ein einziges Mal im Lehrplan vorkommt, und zwar als möglicher Unterrichtsinhalt, welcher natürlich nicht zwingend unterrichtet werden muss, sondern lediglich als Vorschlag dient. In diesem Fall wird Elektronik nicht unterrichtet (außer eines einfachen Stromkreises bei Beleuchtungsaufgaben), wie mir in einem Mail mitgeteilt wurde.

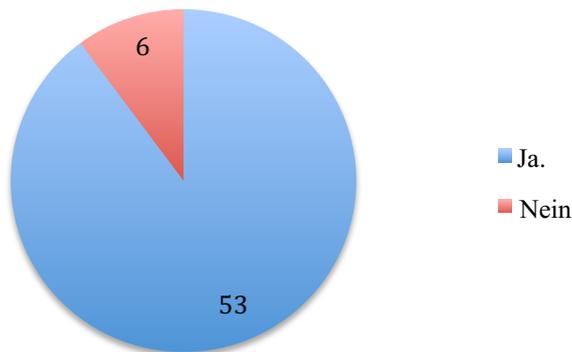


Abb. 75: Behandlung von Elektronik im Werkunterricht

## 3. Finden Sie, dass Elektronik in Ihrem Unterricht ausreichend behandelt wird?

Hier ist gut zu sehen, dass fast 75% der befragten LehrerInnen in ihrer Selbsteinschätzung die Elektronik in ihrem Unterricht teilweise bis ausreichend behandeln.

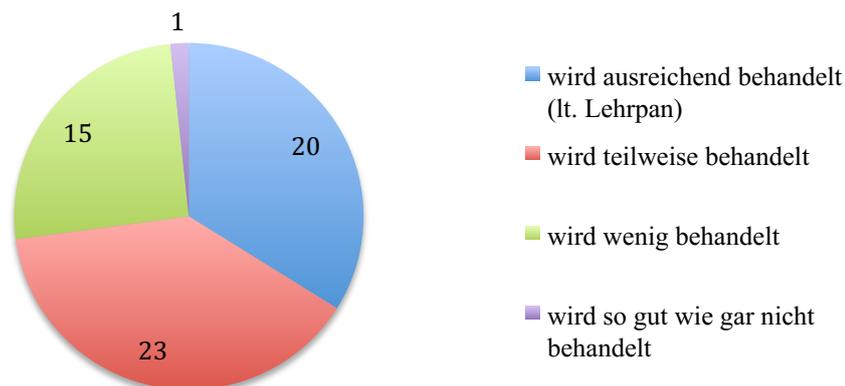


Abb. 76: Häufigkeit von Elektronik im Werkunterricht

#### 4. Verwenden Sie in Ihrem Unterricht Werkpackungen oder Bausätze?

Knapp über 50% der Befragten verwenden in ihren Unterricht Werkpackungen oder Bausätze. In den Antworten auf die nächste Frage werden die Gründe genannt, warum Werkpackungen vor allem im Bereich Elektronik eingesetzt werden.

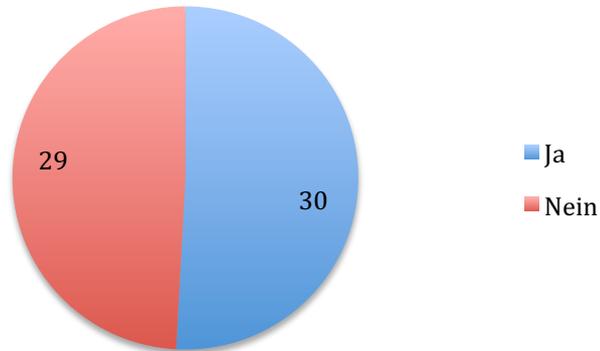


Abb. 77: Werkpackungen im Unterricht

#### 4a. Wenn ja, welche im Bereich Elektronik und wo werden diese bestellt?

Bestellt wird vor allem, egal ob Werkpackungen oder Einzelteile, bei Winkler Schulbedarf, Conrad, Elektronikum (Versand für Elektronik Schulen, Industrie und Hobbyelektroniker), Opitec (Bastelshop), Aduis, ELV und auf musikding.de.

Einige LehrerInnen bestellen für sich Werkpackungen als Vorbereitung und Anschauungsmaterial, mit den SchülerInnen werden in Anlehnung daran die Werkstücke dann selbst hergestellt. In diesem Fall dient die Werkpackung als Ideenfindung, zum Eigenstudium und Sammeln von Basiswissen.

Werkpackungen werden auch bestellt, wenn dadurch das Material billiger zu bekommen ist als beim Kauf von Einzelteilen. Als WerklehrerIn muss stets darauf geachtet werden, nicht zu viel Geld für Material auszugeben, weil Eltern teilweise kein Verständnis für die anfallenden Kosten haben. Es gibt auch LehrerInnen, die Werkpackungen als reine Materiallieferungen für freies Arbeiten bestellen, die Schritt-für-Schritt-Anleitungen werden weggeworfen und die SchülerInnen müssen im Eigenstudium und mit eigenen Ideen ihre Werkstücke herstellen.

Einige der Befragten bestellen Werkpackungen auch ausschließlich für den Bereich Elektronik. Hier werden dann je nach Wissenstand des Lehrers / der Lehrerin nur einfache Blinkschaltungen oder auch komplexere Schaltungen wie zum Beispiel Lichtschranken hergestellt.

Als Beispiele, welche Werkpackungen für den Bereich Elektronik bestellt werden, wurden unter anderem Miniorgel, Alarmanlage, Taschenlampe, Robobiene, Ralleyfahrzeug und Motorwanze genannt. Hier stellt sich die Frage, ob man mit mehr Zeit und mehr Informationen für LehrerInnen diese ganzen Werkstücke nicht auch ohne Werkpackung herstellen könnte. Viel elektronisches Wissen steckt hinter keinem der angeführten Dinge.

Bei Opitec kann ein Set bestellt werden, mit dem sehr rasch 17 verschiedene Versuche zum Thema Elektronik durchgeführt werden können (Einführung in die Elektronik), von Versuchen mit Widerständen,

Dioden, Transistoren, Kondensatoren über optische Sensoren bis hin zu Versuchsaufbauten wie Doppelblinker oder Lichtschranke. In der Beschreibung wird auch gut auf die Funktionen der einzelnen Bauteile eingegangen, als erster Einstieg in die Elektronik vielleicht gar nicht so schlecht, die Schaltungen können sehr schnell mit Hilfe von Krokoklemmen auf- und wieder abgebaut werden.

#### 4b. Wenn ja, wie oft verwenden Sie diese Bausätze/Werkpackungen im Bereich Elektronik?

Nur wenige der Befragten verwenden immer Bausätze im Bereich Elektronik. Viele holen sich von Bausätzen ihre Ideen und verwirklichen diese dann auf ihre eigene Art mit den SchülerInnen. Gerade wenn man wenig elektronisches Wissen hat, ist es schwierig, ohne Vorlagen Schaltungen zu bauen. Meiner Meinung nach ist es völlig in Ordnung, wenn man sich Ideen und Schaltungen aus Werkpackungen holt und dann, abgeändert, ein eigenes Werkstück daraus macht.

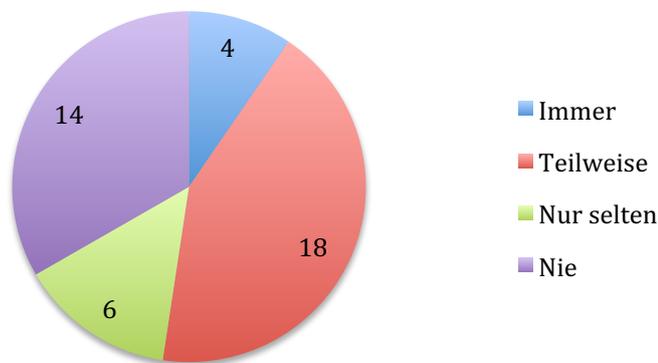


Abb. 78: Häufigkeit der Werkpackungen im Werkunterricht

#### 5. Nennen Sie mir einige Unterrichtsbeispiele von Ihnen, die in den Bereich der Elektronik fallen.

Am häufigsten wurden hier die LED-Taschenlampe, das Blinklicht und die Alarmanlage genannt. LED-Taschenlampen lassen sich sehr einfach herstellen und die SchülerInnen können ein individuelles Gehäuse für ihre Lampe designen. Auch ein Blinklicht und eine Alarmanlage können aus wenigen Bauteilen hergestellt werden. Man benötigt lediglich Widerstände, Transistoren, beim Blinklicht einen Potentiometer mit dem man die Blinkgeschwindigkeit einstellt, und Kondensatoren. Die Schaltungen sind relativ einfach und man kann sie noch gut erklären und verstehen, auch die Funktion der Bauteile kann anhand dieser Schaltungen schön veranschaulicht werden.

Auch der Elektromotor wird häufig verwendet, sei es für eine freie Arbeit, wo die SchülerInnen selbst entscheiden dürfen, was sie mit dem Motor antreiben wollen oder für elektrisch betriebene Autos oder Boote.

Weitere Werkstücke (bzw. wahrscheinlich teilweise auch Werkpackungen), die von den Befragten realisiert werden: Lichtorgel, Zeitschalter, Füllstandanzeige, Zeichenroboter, Durchgangsprüfer (den man im Laufe der Schulzeit immer wieder verwenden kann), Ventilator, Vibro-Käfer und Geschicklichkeitsspiele (Schiffsuche, heißer Draht,...).

Zum Kennenlernen der wichtigsten Bauteile verwenden manche LehrerInnen einen elektronischen Experimentierkasten (wie unter Punkt 4a. bereits erwähnt). Mit Photovoltaik wird ebenfalls experimentiert, mit einem Siliziumpanel wird die Stromerzeugung durch Sonnenenergie veranschaulicht. Der geschichtliche Hintergrund ist teilweise Thema.

## 6. Kennen Sie Arduino?

Da meine Studienkollegin Laura Neumüller aktuell über Arduino in ihrer Diplomarbeit schreibt (voraussichtlicher Fertigstellungstermin Dezember 2017), habe ich dazu drei Fragen aufgenommen, wie weit Arduino den WerklehrerInnen bekannt ist, ob es Schulen gibt, die Arduino-Bausteine besitzen und ob damit unterrichtet wird.

Leider ist Arduino nicht einmal 50% der Befragten ein Begriff.

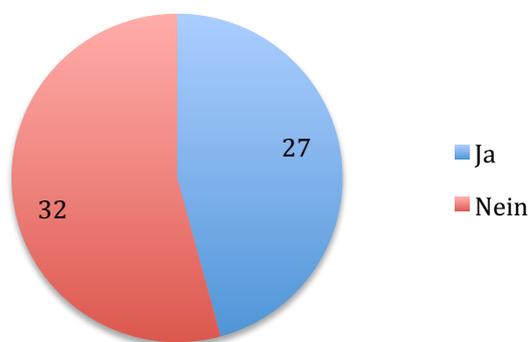


Abb. 79: Kenntnis von Arduino

### 6a. Gibt es Arduino-Bausteine an Ihrer Schule?

Lediglich an zwei der befragten Schulen gibt es Arduino-Bausteine, eine davon ist das Musische Gymnasium Salzburg, die andere ein Bundesrealgymnasium, bei dem leider der Standort nicht genannt wurde.

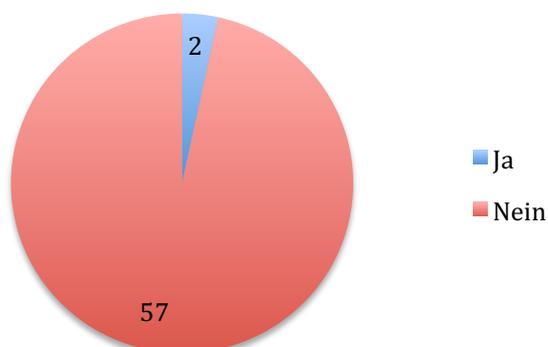


Abb. 80: Arduino-Bausteine an der Schule

### 6b. Haben Sie schon einmal damit unterrichtet?

Da an so wenigen Schulen Arduino zur Verfügung steht, ist es auch nicht verwunderlich, dass nur drei der Befragten mit Arduino unterrichtet haben.

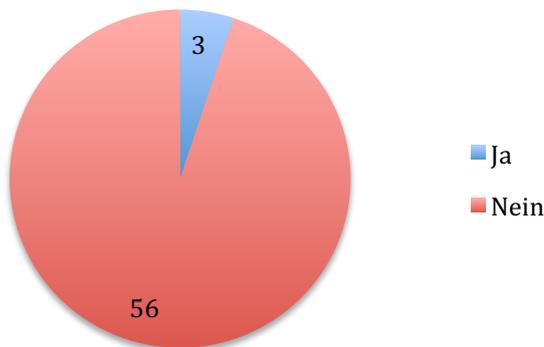


Abb. 81: Unterricht mit Arduino

### 7. Wie sind Sie zu Ihrem Wissen im Bereich Elektronik gekommen? (Mehrfachantworten möglich)

Hier spiegelt sich gut wider, dass das während der Ausbildung erworbene Wissen im Bereich Elektronik keineswegs ausreichend für einen sinnvollen Unterricht ist. Es bedarf einer stetigen Weiterbildung, meist in Form eines Selbststudiums von Büchern oder diversen Internetquellen, beziehungsweise in Form einer Fortbildung.

Fast 75% der Befragten bilden sich mit Büchern, über 60% über das Internet weiter.

Unter Sonstige wurden folgende Punkte angeführt:

Wissen im Bereich Elektronik kann man auch vom Ehemann, von KollegInnen, Freunden und Bekannten, sogar durch den eigenen Sohn, der Lego-Technik liebt, erwerben. Durch das Studieren der Texte und Beschreibungen, die den Werkpackungen beiliegen, kann man sich einiges an Information beschaffen. Persönliches Interesse ist hilfreich bei der Wissensbeschaffung, auch ein Hausbau kann zu einer Steigerung der Kenntnisse im Bereich Elektronik führen.

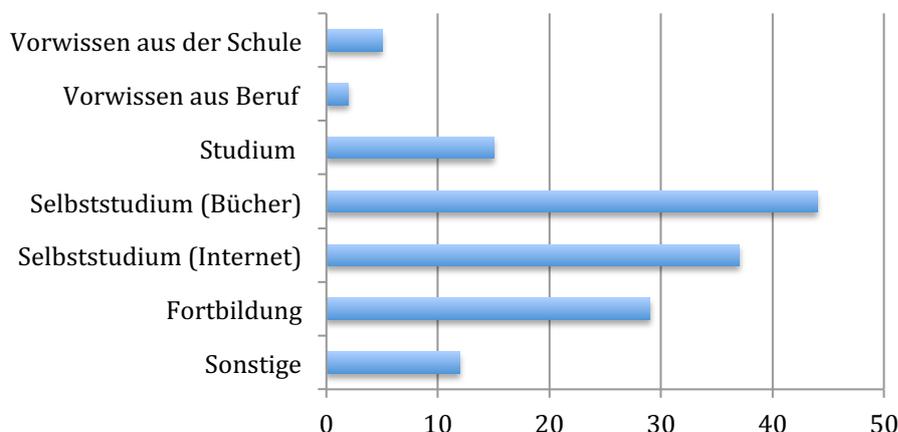


Abb. 82: Wissen über Elektronik

## 8. Haben Sie sich schon einmal im Bereich Elektronik weitergebildet?

Dass sich mehr als 60% der Befragten schon im Bereich Elektronik weitergebildet haben, ist eine sehr positive Überraschung.

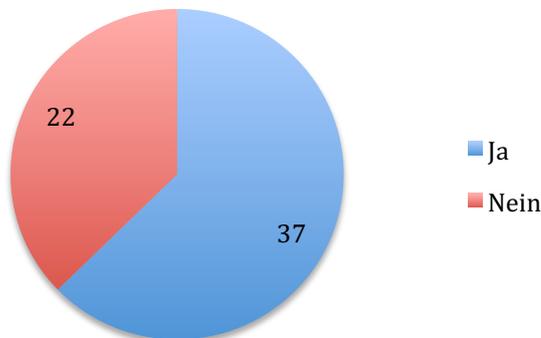


Abb. 83: Weiterbildung im Bereich Elektronik

### 8a. Wenn ja, wo und in welchem Stundenausmaß?

Hier reicht die Spanne von wenigen bis hin zu 50 Stunden, je nach Alter der Lehrerin / des Lehrers und der Anzahl der Unterrichtsjahre.

Viele holen sich ihr Wissen bei mehrtägigen Seminaren. Angeboten werden diese in Form der LehrerInnenfortbildung der ARGE Technisches Werken, an den Pädagogischen Hochschulen, an der Volkshochschule oder an den Schulen direkt. Auch eine selbstorganisierte schulübergreifende LehrerInnenfortbildung im Ausmaß von acht Stunden im Bereich Elektronik wurde erwähnt.

Eine interessante Weiterbildungsmöglichkeit stellt das Repaircafé dar. Hier werden verschiedene nicht mehr funktionstüchtige (Elektro-) Geräte repariert, von einem selbst unter fachlicher Anleitung von freiwilligen Helfern. Werkzeuge und Material werden dort gegen eine freiwillige Spende zur Verfügung gestellt. Das Geld kommt Hilfsprojekten zu Gute. Man will so der Wegwerfgesellschaft ein wenig entgegenwirken, auf schlechte Arbeitsbedingungen bei der Herstellung von Elektrogeräten aufmerksam machen, ein Zeichen setzen und Wissen, wie verschiedene Sachen repariert werden, bewahren. Diese Repaircafés gibt es in vielen Städten, einfach im Internet informieren und vorbeischaun.

### 9. Welche Weiterbildungsmöglichkeiten im Bereich Elektronik kennen Sie?

Bei dieser Frage ist gut ersichtlich, dass den meisten LehrerInnen nur wenige Weiterbildungsmöglichkeiten bekannt sind, obwohl die Bereitschaft zur Weiterbildung durchaus gegeben ist. Es mag auch daran liegen, dass gerade im Bereich Elektronik nicht sehr viele Weiterbildungskurse angeboten werden.

Unter den 59 Befragten gaben immerhin 17 Personen an, dass sie im Moment keinerlei Weiterbildungsmöglichkeiten kennen. Weitere 19 Personen nannten auch nur die Pädagogischen Hochschulen als Möglichkeit.

Doch auch an den Universitäten, am Wirtschaftsförderungsinstitut, bei der ARGE Technisches Werken oder beim BÖKWE finden Kurse oder Seminare statt.

Als Quelle Nummer eins für Informationen im Bereich Elektronik, gerade wenn es schnell gehen muss, dienen aber Bücher, Internet, Fachleute oder LehrerkollegInnen.

**10. Name (Sie können auch anonym bleiben):**

14 Befragte nannten ihren Namen, alle anderen nutzten die Möglichkeit, anonym zu bleiben. Diese Möglichkeit ist meiner Meinung nach wichtig, um wirklich ehrliche Antworten zu erhalten.

**11. Alter:**

Das Alter der Befragten ist gleichmäßig aufgeteilt, es wurden JunglehrerInnen im ersten Jahr genauso befragt wie LehrerInnen mit über 30 Dienstjahren.

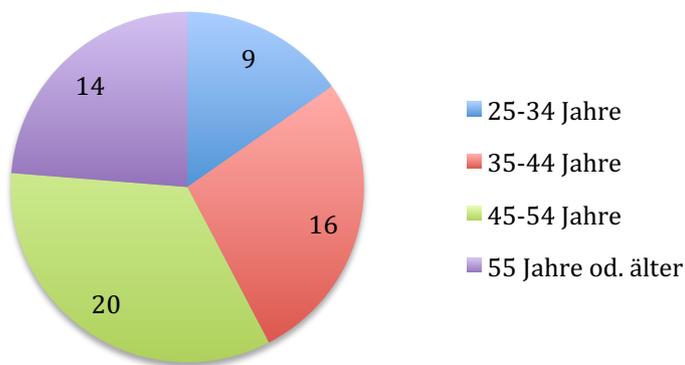


Abb. 84: Alter der Befragten

**12. Geschlecht:**

Im Technischen Werken ist der Anteil an Lehrern und Lehrerinnen sehr gut ausgewogen.

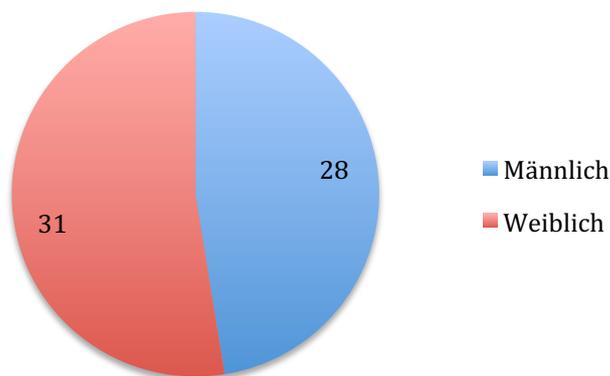


Abb. 85: Geschlecht der Befragten

### 13. Jetzige Schule:

Leider gaben nicht alle den Namen der Schule, in der sie gerade unterrichten, an. Die meisten begnügten sich mit dem Schultyp.

An einer AHS unterrichten 36 der befragten Personen, davon 13 in Oberösterreich, sechs in Salzburg, fünf in Wien, vier in Tirol und eine(r) in Kärnten.

An einem BORG lehrt ebenfalls nur eine(r) der Befragten und zwar in Oberösterreich.

Vier Rückmeldungen kamen von den Pädagogischen Hochschulen, zwei von einer BAfEP, acht von einer Neuen Mittelschule.

### 14. Unterrichtsfächer an der Schule:

Da der Fragebogen nur an technische WerklehrerInnen ausgesickt wurde, ist das Zweit- (bzw. Dritt-) Fach interessant. Nach wie vor wird Technisches Werken vor allem mit anderen künstlerischen Studienrichtungen kombiniert. Fast 75% aller Befragten unterrichten somit neben Technischen Werken entweder Bildnerische Erziehung oder Textiles Gestalten. Eine andere Fächerkombination kann sich schon während des Studiums als schwierig erweisen, da zum Beispiel in Linz ein Studium Technisches Werken und Mathematik, so wie ich es gemacht habe, an zwei verschiedenen Universitäten stattfindet. Hier sind die Stundenpläne kaum aufeinander abgestimmt, es kommt zu häufigen Überschneidungen und somit Verzögerungen im Studium.

Alle Befragten unterrichten Technisches Werken und eines (oder zwei) der folgenden Unterrichtsfächer:

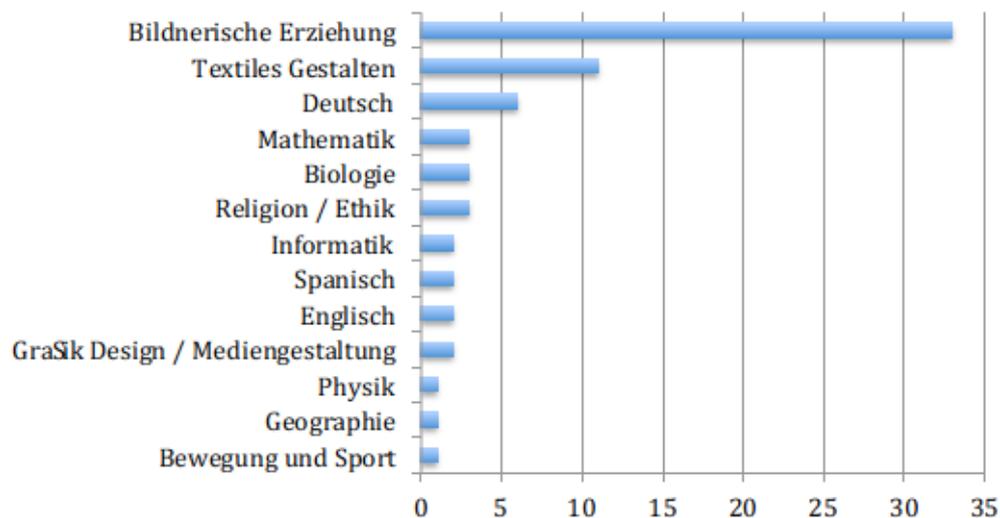


Abb. 86: Zweitfach neben Technischen Werken

## 15. Wie lange unterrichten Sie schon?

Die Anzahl an Unterrichtsjahren ist, wie das Alter der Befragten, breit gefächert, manche befinden sich erst im Probejahr, viele unterrichten schon seit über 30 Jahren.

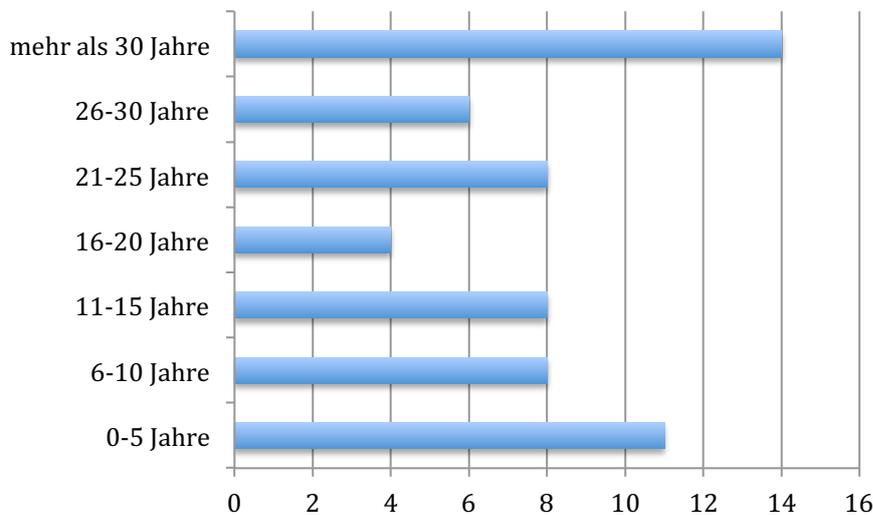


Abb. 87: Unterrichtsjahre der Befragten

## 16. Welche Ausbildung haben Sie? (welches Studium, welche Schule, eventuelle Zusatzausbildungen)

Da dies eine offen gestellte Frage war, kamen sehr unterschiedliche Antworten. Zusammenfassend gaben 30 der befragten Personen an, ein Lehramt studiert zu haben, 26 gaben an, an einer Kunstuniversität studiert zu haben, ohne eine genaue Studienrichtung anzugeben. Die Pädagogische Hochschule besuchten drei, eine Bildungsanstalt für ArbeitslehrerInnen ebenfalls drei der Befragten. Als Zusatzausbildung wurden angeführt: HauptschullehrerIn, KindergartenpädagogIn, VolksschullehrerIn, MuseumspädagogIn, KunsthistorikerIn, HeimatforscherIn, Erwachsenenbildung und SonderschullehrerIn.

## 17. Welche Tipps im Bereich Elektronik haben Sie für KollegInnen? (Bauteile bestellen, besonders erfolgreiche Unterrichtsbeispiele, Werkpackungen, etc.)

Zusammenfassung verschiedenster Antworten:

Grundtenor der Befragung war, dass das Thema Elektronik ein hohes Motivationslevel bei den SchülerInnen liefert.

Einige der Befragten sind der Meinung, dass die SchülerInnen nicht überfordert werden sollen, daher muss systematisch vorgegangen werden. Die Schaltungen immer wieder von den SchülerInnen überprüfen lassen und keine individuellen Werkstücke machen, damit man selbst den Überblick behält. Die Schaltpläne sollen systematisch gezeichnet werden, auf einen großzügigen Schaltungsaufbau ist zu achten, damit gut gelötet werden kann. Werkzeug und Material müssen gut erklärt werden.

Andere LehrerInnen bevorzugen den intuitiv forschenden Zugang. Begonnen wird mit dem Bau von Schaltungen mit den Grundbauteilen (LED, Widerstand, Kondensator, Transistor), danach Ergründen der physikalischen Gesetze. Sie unterrichten eher nach dem Motto: ausprobieren, experimentieren und aus Fehlern lernen. Anfangs sollen dennoch keine zu komplexen Aufgabenstellungen bearbeitet werden, lieber

einfache Werkstücke, die dafür aber von den SchülerInnen gut verstanden werden. Den SchülerInnen sollte Spielraum für eigene Experimente gegeben werden.

Für jeden Zugang gilt aber: alle Schaltungen sollten vorab selbst von der Lehrerin/vom Lehrer gebaut, getestet und verstanden werden. Wenn sich die Lehrperson noch nicht so gut auskennt, sind Werkpackungen ein guter Einstieg (auch für ein Selbststudium zuhause). Hier gibt es brauchbare Beschreibungen, um den Schaltungsaufbau und das Zusammenwirken der Bauteile zu verstehen.

Erste Übungen im Bereich Elektronik am besten ohne Löten machen, das senkt die Fehlerquote. Eine Zusammenarbeit mit der/dem PhysiklehrerIn kann angestrebt werden, es kann dabei viel mehr in die Tiefe gegangen werden, gerade was die physikalischen Grundlagen betrifft.

## Nachwort

Diese Arbeit behandelt nur die Grundlagen der Elektronik. Zusätzlich zu historischem Hintergrundwissen und einer kurzen Bauteilkunde werden auch die Grundlagen zu Berechnungen und Messungen verständlich gemacht. Auf dieses Wissen aufbauend, können mit den SchülerInnen auch kompliziertere und aufwändigere Schaltungen gebaut werden, vorausgesetzt alle Grundsaltungen wurden verstanden.

Neben den gelöteten Schaltungen kann auch in Richtung Mikrocontroller und Visualisierung von Schaltungen auf dem Computer eingegangen werden. Das Einfachste und somit schon für die Kleinsten im Unterricht handhabbare in diese Richtung ist MaKey MaKey. Mit dieser kleinen Leiterplatte, die per USB mit dem Computer verbunden wird, können spielerisch die verschiedensten Experimente gemacht werden. MaKey MaKey ist mit dem nächst höherem Level in dieser Richtung, Arduino, kompatibel. Arduino besteht aus einer Opensource Software sowie einem Board mit Mikrocontroller und digitalen und analogen Aus- und Eingängen. Mit Arduino können Schaltungen simuliert und programmiert werden. Zum Thema Arduino möchte ich auf die Diplomarbeit meiner Studienkollegin Laura Neumüller verweisen.

Ein weiterer Einplatinen-Computer zum Programmieren und Experimentieren ist Raspberry Pi.

Sollten LehrerInnen an weiterführenden Informationen im Bereich Elektronik interessiert sein, so kann mit gut verstandenen Grundlagen und Experimentierfreude sehr viel selbst erlernt werden.

## Anhang

Fragebogen zu Elektronik im Werkunterricht – eine Bestandsaufnahme

Durchgeführt im Rahmen der Diplomarbeit „Elektronik im Werkunterricht“ von Ilse Mayrhofer

1. Wie wichtig finden Sie es, dass SchülerInnen heutzutage eine Basisausbildung im Bereich Elektronik bekommen?
  - Sehr wichtig
  - Wichtig
  - Eher unwichtig
  - Völlig unwichtig

Kurze Erklärung zu Ihrer Antwort von Frage 1: \_\_\_\_\_

2. Behandeln Sie Elektronik in Ihrem Werkunterricht?
  - Ja
  - Nein
3. Finden Sie, dass Elektronik in Ihrem Unterricht ausreichend behandelt wird?
  - Wird ausreichend behandelt (laut Lehrplan)
  - Wird teilweise behandelt
  - Wird wenig behandelt
  - Wird so gut wie gar nicht behandelt
4. Verwenden Sie in Ihrem Unterricht Werkpackungen oder Bausätze?
  - Ja
  - Nein
- 4a. Wenn ja, welche im Bereich Elektronik und wo werden diese bestellt?
- 4b. Wenn ja, wie oft verwenden Sie diese Bausätze/Werkpackungen im Bereich Elektronik?
  - Immer
  - Teilweise
  - Nur selten
  - Nie

5. Nennen Sie mir einige Unterrichtsbeispiele von Ihnen, die in den Bereich Elektronik fallen.
6. Kennen Sie Arduino?
- Ja
  - Nein
- 6a. Gibt es Arduino-Bausteine an Ihrer Schule?
- Ja
  - Nein
- 6b. Haben Sie schon einmal damit unterrichtet?
- Ja
  - Nein
7. Wie sind Sie zu Ihrem Wissen im Bereich Elektronik gekommen? (Mehrfachantworten möglich)
- Vorwissen aus der Schule
  - Vorwissen aus Beruf
  - Studium
  - Selbststudium (Bücher)
  - Selbststudium (Internet)
  - Fortbildung
  - Sostige: \_\_\_\_\_
8. Haben Sie sich schon einmal im Bereich „Elektronik“ weitergebildet?
- Ja
  - Nein
- 8a. Wenn ja, wo und in welchem Stundenausmaß?
9. Welche Weiterbildungsmöglichkeiten im Bereich Elektronik kennen Sie?
10. Name (Sie können auch anonym bleiben):
11. Alter:
- 25 – 34 Jahre
  - 35 – 44 Jahre
  - 45 – 54 Jahre
  - 55 oder älter

12. Geschlecht:

- weiblich
- männlich

13. Jetzige Schule:

14. Unterrichtsfächer an der Schule

15. Wie lange unterrichten Sie schon?

16. Welche Ausbildung haben Sie? (welches Studium, welche Schule, eventuelle Zusatzausbildungen)

17. Welche Tipps im Bereich Elektronik haben Sie für Ihre KollegInnen? (Bauteile bestellen, besonders erfolgreiche Unterrichtsbeispiele, Werkpackungen, etc. )

# Literaturverzeichnis

## Primärliteratur

- Bastian, Peter u. a.: Fachkunde Elektrotechnik, Haan-Gruiten <sup>23</sup>2002
- Benda, Dietmar: Elektronik ohne Ballast. Grundlagen der Elektronik leicht verständlich, Poing 2008
- Beuth, Klaus: Bauelemente. Elektronik 2, Würzburg <sup>15</sup>1997
- Boëtius, Henning: Geschichte der Elektrizität, Weinheim/Basel 2006
- Böhmer, Erwin: Elemente der angewandten Elektronik. Kompendium für Ausbildung und Beruf, Braunschweig/Wiesbaden <sup>10</sup>1996
- Dugge, Karl-Wilhelm/Eißner, Andreas: Grundlagen der Elektronik. Die Meisterprüfung, Würzburg <sup>7</sup>2002
- Fischer, Ernst Peter: Das große Buch der Elektrizität, Köln 2011
- Glagla, Joseph/Lindner, Gert: Wege in die Elektronik. Ein Lern- und Werkbuch für Selbststudium und Unterricht, Ravensburg 1980
- Gööck, Roland: Die großen Erfindungen. Nachrichtentechnik Elektronik, Künzelsau 1988
- Golluch, Norbert: Das Automobil ist nur eine vorübergehende Erscheinung. Kuriose Prognosen, die knapp daneben gingen, München 2016
- Hanus, Bo: Der leichte Einstieg in die Elektronik. Ein leicht verständlicher Grundkurs mit vielen leicht verständlichen Bauanleitungen, Poing 2001
- Kainka, Bernhard/Bernstein, Herbert: Grundwissen Elektronik. Die Grundlagen für Hobby, Ausbildung und Beruf, Poing 2011
- Kloss, Albert: Von der Electricität zur Elektrizität. Ein Streifzug durch die Geschichte der Elektrotechnik, Elektroenergetik und Elektronik, Basel/Boston/Stuttgart 1987
- Lay, Peter: Selbstbauprojekte mit Leuchtdioden. 50 praktische Anwendungen für Haus, Garten und Hobby, Poing 2009
- Lehnert, Werner: Freizeit-Basteleien mit Elektronik, Stuttgart 1990
- Lindner, Gert: Elektronisches Basteln, München 1991
- Platt, Charles: Make: Elektronik. Lernen durch Entdecken, Köln 2012
- Reber, Friedrich: Elektronik-Wissen für Schule & Studium, Poing 2007
- Sattelberg, Kurt: Vom Elektron zur Elektronik. Eine Geschichte der Elektrizität, Berlin 1971
- Sjobbema, D. J. W.: Die Geschichte der Elektronik. Vom Volta-Element zum digitalen Fernsehen, Aachen 1999
- Stiny, Leonhard: Grundwissen Elektrotechnik, Poing 2011

Synwoldt, Christian: Alles über Strom. So funktioniert Alltagselektronik, Weinheim 2009

Von Rétzyi, Andreas: Energie ohne Ende. Erfindungen – Konzepte – Lösungen, Rottenburg 2013

Winzker, Marco: Elektronik für Entscheider. Grundwissen für Wirtschaft und Technik, Wiesbaden 2008

Zastrow, Dieter: Elektronik. Lehr- und Übungsbuch für Grundschaltungen der Elektronik, Leistungselektronik, Digitaltechnik/Digitalisierung mit einem Repetitorium Elektrotechnik, Wiesbaden <sup>11</sup>2012

Vortrag

Wien, Wilhelm: Über Elektronen, Leipzig 1905

## **Internetquellen**

[https://de.wikipedia.org/wiki/Stromquelle\\_\(Schaltungstheorie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Stromquelle_(Schaltungstheorie)), 20.03.2017

<http://www.eiffelturm.org/Wissenschaftler/wissenschaftler.html>, 20.03.2017

[https://de.wikipedia.org/wiki/Schalter\\_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Schalter_(Elektrotechnik)), 28.03.2017

[https://de.wikipedia.org/wiki/Widerstand\\_\(Bauelement\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Widerstand_(Bauelement)), 28.03.2017

[https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Nobelpreisträger\\_für\\_Physik](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Nobelpreisträger_für_Physik), 23.4.2017

Datenblatt des Transistors BC 547 B unter: <http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/155012-da-01-en-BC547B.pdf>, 21.4.2017

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Pixiis Dynamo (1832) (Boëtius 2006, 122).....	11
Abb. 2: Atommodell eines Wasserstoffatoms (Bastian u.a. 2002, 20).....	17
Abb. 3: Vereinfachte Darstellung (Bastian u.a. 2002, 20).....	17
Abb. 4: Polystyrolstab und Papierschnitzel (Bastian u. a. 2002, 19) .....	18
Abb. 5: zwei Polysytolstäbe (Bastian u. a. 2002, 19).....	18
Abb. 6: Polystyrolstab und Acrylglasstab (Bastian u. a. 2002, 19).....	18
Abb. 7: p-dotiertes Silizium (n-Typ) (Zastrow 2012, 23) .....	20
Abb. 8: n-dotiertes Silizium (p-Typ) (Zastrow 2012, 23) .....	20
Abb. 9: einfachster Stromkreis mit Spannungsquelle, Verbraucher, Hin- und Rückleitung .....	21
Abb. 10: Aufbau einer Zitronenbatterie mit LED und Messung der Spannung mit dem Multimeter .....	23
Abb. 11: URI-Dreieck .....	26
Abb. 12: R berechnen.....	27
Abb. 13: U berechnen.....	27
Abb. 14: Schaltplan eines einfachen Stromkreises.....	27
Abb. 15: Digitalmultimeter Messbereiche und Anschlüsse .....	28
Abb. 16: Schaltplan Spannung messen .....	29
Abb. 17: Schaltplan Strom messen.....	30
Abb. 18: verschiedene elektronische Bauteile.....	34
Abb. 19: verschiedene Schaltertypen .....	34
Abb. 20: Schaltzeichen für Schließer (1), Öffner (2) und Wechselschalter (3) .....	35
Abb. 21: verschiedene Widerstände .....	35
Abb. 22: IEC-Widerstands-Normreihen E6, E12 und E24 .....	36
Abb. 23: Toleranzfelder der Widerstandswerte der E6-Normreihe (Beuth 1997, 26) .....	36
Abb. 24: Internationaler Farbcode für Vierfachberingung (E6, E12, E24).....	37
Abb. 25: Widerstand mit vier Farbringen.....	37
Abb. 26: Internationaler Farbcode für Fünffachberingung (E48, E96, E192) .....	38
Abb. 27: Widerstand mit fünf Farbringen .....	38
Abb. 28: Schaltzeichen Festwiderstand.....	39
Abb. 29: Drehwiderstand (Potentiometer) (Bastian u. a. 2002, 34).....	39
Abb. 30: Schaltzeichen von Potentiometer und Trimmer.....	40
Abb. 31: Schaltzeichen von PTC-Widerstand, NTC-Widerstand, Varistor, Fotowiderstand (LDR).....	41
Abb. 32: Schaltplan Reihenschaltung von zwei Widerständen.....	41
Abb. 33: Schaltplan Parallelschaltung von zwei Widerständen.....	42
Abb. 34: Detail Knoten aus Abb. 33 .....	43
Abb. 35: Schaltplan unbelasteter Spannungsteiler .....	44
Abb. 36: Schaltplan belasteter Spannungsteiler .....	44

Abb. 37: verschiedene Kondensatoren .....	45
Abb. 38: Grundaufbau eines Kondensators (Bastian u. a. 2002, 61) .....	46
Abb. 39: Strom- und Spannungskennlinie eines Kondensators beim Auf- und Entladen (Benda 2008, 176).46	
Abb. 40: ungepolte Kondensatoren .....	48
Abb. 41: : verschiedene Elektrolytkondensatoren.....	48
Abb. 42: Schaltzeichen Kondensator allgemein, gepolter Elektrolytkondensator.....	49
Abb. 43: Schaltzeichen einer Spule veraltet, aktuelle Norm.....	50
Abb. 44: Aufbau eines Transformators (Bastian u. a. 2002, 87).....	50
Abb. 45: Diode .....	51
Abb. 46: Gegenüberstellung von pn-Halbleiter und Diodenschaltzeichen .....	51
Abb. 47: Kennlinie einer Silizium-Diode (Bastian u. a. 2002, 185) .....	52
Abb. 48: Schaltzeichen einer Diode.....	53
Abb. 49: Leuchtdioden .....	54
Abb. 50: Aufbau einer LED (vgl. Dugge/Eißner 2002, 291).....	54
Abb. 51: Detail durchsichtige Leuchtdiode.....	54
Abb. 52: Werkstoffe von Leuchtdioden (vgl. Bastian u. a. 2002, 202).....	54
Abb. 53: Schaltzeichen einer Leuchtdiode.....	55
Abb. 54: Schaltplan LED mit Vorwiderstand .....	56
Abb. 55: verschiedene Transistoren .....	56
Abb. 56: Schichtenfolge, Dioden-Ersatzschaltbild und Schaltzeichen von npn-Transistor und pnp-Transistor (Lindner 1991, 50) .....	57
Abb. 57: Ströme und Spannungen bei einem npn-Transistor (Bastian u. a. 2002, 189) .....	57
Abb. 58: Ströme und Spannungen beim npn-Transistor.....	58
Abb. 59: Ströme und Spannungen beim pnp-Transistor.....	58
Abb. 60: kein Basisstrom, Ventil zu.....	58
Abb. 61: Basisstrom fließt, Ventil offen .....	58
Abb. 62: Schaltplan Transistor als Schalter .....	59
Abb. 63: Schaltplan Transistor als Verstärker, Emitterschaltung .....	60
Abb. 64: Schaltzeichen npn-Transistor und pnp-Transistor.....	62
Abb. 65: npn-Transistor BC 547 B ( <a href="http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/155012-da-01-en-BC547B.pdf">http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/155012-da-01-en-BC547B.pdf</a> , 21.4.2017).....	62
Abb. 66: vereinfachte Darstellung eines Gleichstrommotors (Platt 2012, 275).....	63
Abb. 67: Schaltplan Polaritätsprüfer .....	64
Abb. 68: Schaltplan Joule-Thief.....	65
Abb. 69: Ferrit-Ringkern mit zwei Wicklungen.....	66
Abb. 70: Schaltplan Alarmanlage.....	67
Abb. 71: Darlington-Schaltung von zwei npn-Transistoren .....	68
Abb. 72: Schaltplan Nachdenkzeitbegrenzer .....	69

Abb. 73: Schaltplan "Heißer Draht" .....	70
Abb. 74: Wichtigkeit von Elektronik im Werkunterricht.....	73
Abb. 75: Behandlung von Elektronik im Werkunterricht .....	74
Abb. 76: Häufigkeit von Elektronik im Werkunterricht .....	74
Abb. 77: Werkpackungen im Unterricht .....	75
Abb. 78: Häufigkeit der Werkpackungen im Werkunterricht.....	76
Abb. 79: Kenntnis von Arduino .....	77
Abb. 80: Arduino-Bausteine an der Schule.....	77
Abb. 81: Unterricht mit Arduino .....	78
Abb. 82: Wissen über Elektronik .....	78
Abb. 83: Weiterbildung im Bereich Elektronik .....	79
Abb. 84: Alter der Befragten .....	80
Abb. 85: Geschlecht der Befragten .....	80
Abb. 86: Zweifach neben Technischen Werken .....	81
Abb. 87: Unterrichtsjahre der Befragten .....	82

Alle nicht zitierten Abbildungen (Fotos, Schaltpläne, Schaltzeichen, Tabellen, Diagramme) sind eigene Anfertigungen.



CC BY-NC-ND 3.0 AT  
Namensnennung - Nicht-kommerziell - Keine Bearbeitung 3.0 Österreich