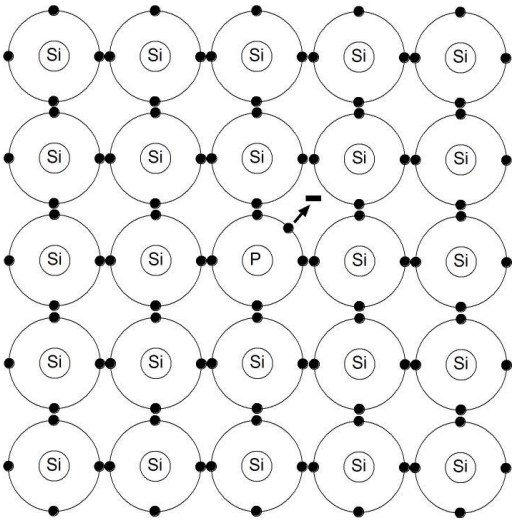
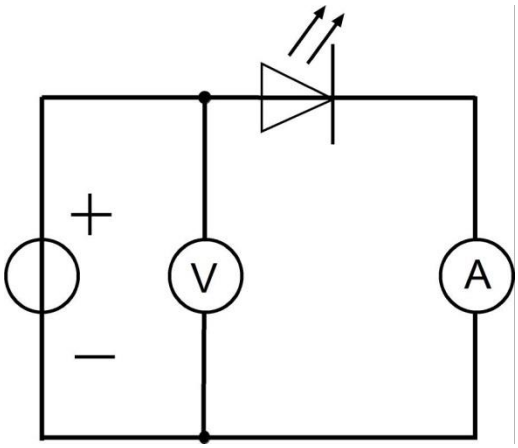
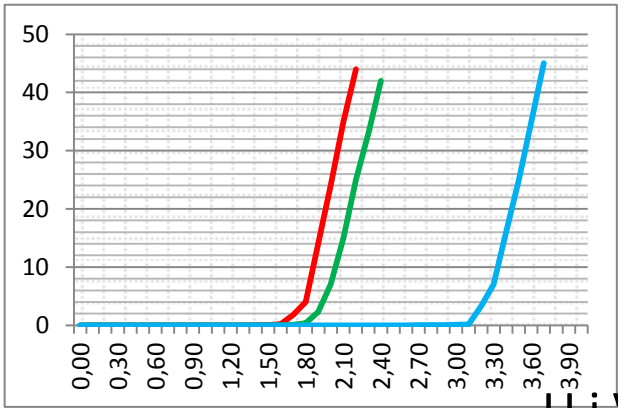
Landeshauptstadt Hannover

Hannover

Schulbiologiezentrum







19.77

LED-Werkstatt

Experimente mit Leuchtdioden (Arbeitsfassung 6/2015)

Juni 2015

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover/
Energie-LAB in der IGS Mühlenberg

Titel: LED-Werkstatt
Experimente mit Leuchtdioden

Titelbild: Ingo Mennerich

Arbeitshilfe 19.77 (Arbeitsfassung 6/2015)

Verfasser: Ingo Mennerich

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Schulbiologiezentrum
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel: 0511/168-47665
Fax: 0511/168-47352
E-Mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info

Inhalt

Einige Worte vorweg

LED-Werkstatt (Experimentier-Stationen)

Wie funktioniert eine LED?

Einige Beobachtungen vorweg

Eine LED unter der Lupe

Ein (didaktischer) Umweg als Einstieg

Wie funktionieren Dioden?

Silizium ist ein "Halbleiter"
"Verunreinigung" (Dotierung) von Silizium

Warum springen die Elektronen nicht sofort vom n- zum p-Silizium?

Kann man an einer Diode eine Spannung zwischen n- und p-Anschluss nachweisen?

Dioden als "elektrische Einbahnstraßen"

Was unterscheidet eine LED von einer herkömmlichen Diode?

Farbige LEDs

Mit steigender Spannung steigt der Strom plötzlich (!) und sehr stark an

Damit die LED nicht durchbrennt: Der passende Vorwiderstand

Betrieb mit Wechselstrom

Photonenenergie und Wellenlänge

Experimente mit LEDs

LEDs unter der Lupe

Grundversuche

Spannung und Strom

Farbige LEDs

Turmspringen: Einer, Dreier oder Zehner?

"Sprunghöhe"* der Elektronen und LED-Farbe

Kennlinien Spannung und Strom

Vorwiderstand

Farbenmix

Weißes Licht

UV-LEDs

IR-LEDs

Einige Worte vorweg

LEDs sind kleine Wunderwerke der Quantenphysik. Ihre Funktionsweise ist zwar deutlich schwerer zu begreifen als die die der Glühlampe, sie sind aber, richtig gepolt und mit der richtigen Spannung versehen, unkompliziert im Gebrauch und daher gut für Experimente geeignet.

LEDs lösen zunehmend die als "Energiesparlampen" in den Markt eingeführten Kompaktleuchtstoffröhren ab und sind die modernen Leuchtmittel schlechthin.
Kompakt, energieeffizient und damit wirklich sparsam. Im Gegensatz zu Kompaktleuchtstoffröhren, die als kompakte Leuchtstoffröhren ein Quecksilber-Gasgemisch enthalten stellen LEDs bei Betrieb und Entsorgung primär auch kein Umweltproblem dar.
Allein die, auch bei Kompaktleuchtstoffröhren erforderlichen, Vorschaltgeräte können durch die auf Platinen aufgetragene und bei Wärme freigegebene Stoffe, lecke Kondensatoren oder elektromagnetische Felder umweltrelevant werden.

Auch wenn es bereits Entwicklungen wie leuchtende Folien und ähnliches gibt, scheinen LEDs noch einige Jahre den Technik-Markt zu beherrschen.

Grund genug, LEDs im Unterricht zu behandeln.
Im Schul-LAB (heute "Energie-LAB") der IGS Mühlenberg beschäftigen wir uns seit langen Jahren mit der Energie- und Kosteneffizienz von Leuchtmitteln und setzen dies in entsprechenden Kursangeboten um.

Im Kindergarten- bzw. Primarbereich mit "miniSolar" bzw. "Solarkids", für die Sekundarstufe I und II mit z.B. mit "Deutschland sucht das Super-Licht!". Unterstützt wird dies z.B. mit dem Thema "Licht & Farbe".

In der Sek I und II dringt man dabei auch in die physikalischen Hintergründe ein. Was bringt eine Glühlampe, eine (Kompakt-)Leuchtstoffröhre und eine LED zum Leuchten?

Daraus entstand die "LED-Werkstatt" in der sich Schülerinnen und Schüler in modulartig und flexibel einzusetzenden Experimental-Stationen.

Wir würden uns freuen, wenn Sie aus dieser Arbeitshilfe Anregungen und weitere Ideen ziehen können. Für Hinweise auf Fehler und Kritik an dieser Arbeitsfassung (6/2015) sind wir dankbar.

Ingo Mennerich
Energie-LAB in der IGS Mühlenberg
Schulbiologiezentrum Hannover

Juni 2015

LED-Werkstatt (Experimentier-Stationen)

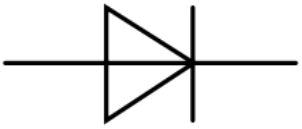
(Me, 09.02.15)

Thema	Inhalt	Material
Halbleiter-Modell	Silizium, dotiertes Silizium (Phosphor/Bor), n-Schicht/p-Schicht, pn-Übergang, Elektronen-/Löcher-Wanderung	Eierkartons Kugeln (Atomkerne/Valenzelektronen)
Grundschaltung LED	Niederspannungsquelle, Gleich-/Wechselstrom	Weiße LED, Festspannungsquelle, Vorwiderstand
Vorwiderstand, Dimmer	Notwendigen Spannungsabfall ULED = Uges - UR berechnen und in Form einer Reihenschaltung praktisch umsetzen. Spannungen messen.	LED, Festspannungsquelle, Widerstände, Farbcode, Potentiometer, Volt-/Amperemeter, Schemazeichnung, Formel, Taschenrechner
Kennlinie rote, grüne, blaue LEDs	Spannungs-/Stromkurven für farbige LEDs aufnehmen	Volt-/Amperemeter, Regelbare Gleichspannungsquelle, Tabelle zum Ausfüllen, Diagramm-Vorlage, EXCEL-Programm Kennlinie
Additive Farbmischung	Weißes Licht aus Grundfarben RGB bzw. Grundfarbe Blau und Komplementärfarbe Gelb herstellen	Versuchsaufbau "Licht&Farbe"
RGB erzeugt weißes Licht	Dimmbare LEDs (R,G.B) so anordnen und einstellen dass "weißes Licht" entsteht	Rote, grüne, blaue LED mit regelbaren Vorwiderständen
Spektrale Eigenschaften	LED-Licht in Spektrum einordnen, Wellenlängenbereich bestimmen	Handspektroskop Spektroskop mit Skala
Lichtausbeute/Wirkungsgrad Vergleich Glühlampe/LED	Spannung/Strom ins Verhältnis zur Lichtausbeute (Lumen/W) setzen	Weiße LED, Spannungsquelle, Luxmeter, Volt-/Amperemeter, Glühlampe
Leuchtmittelvergleich (LMV): "Deutschland sucht das Super-Licht!"	LED-Leuchten (12V/240V), Vergleich mit Leuchtstoffröhren/Glühlampen	Luxmeter, LMV-Set (Spannung, Ampere, Leistung, Phasenwinkel

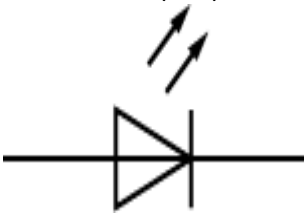
Wie funktioniert eine LED?

Zeichnung: Wikipedia

Diode



Leuchtdiode (LED)



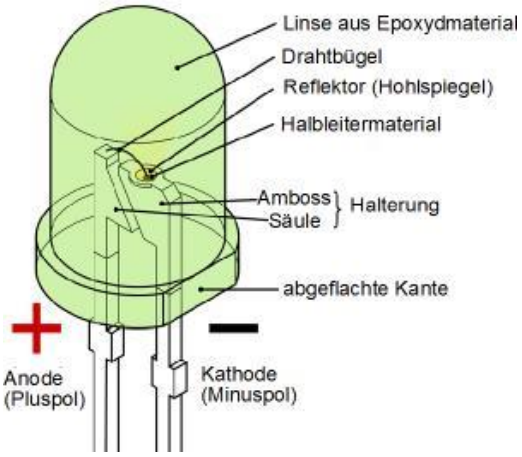
Einige Beobachtungen vorweg:

- Eine LED erzeugt Licht, eine Glühlampe auch.
- Eine LED erzeugt - innerhalb des zulässigen Spannungsbereichs - stets dieselbe Lichtfarbe.
- Dieses Licht ist - mit dem Spektroskop betrachtet - monochromatisch, besteht also Strahlung eines eng umgrenzten Wellenlängenbereichs.
- Die Farbe einer Glühlampe ist spannungsabhängig. Sie leuchtet mit steigender Spannung zunächst dunkelrot, dann hellrot, dann gelb und vor dem Durchbrennen schließlich gelblich-weiß.
- Das Licht der Glühlampe ist - mit dem Spektroskop betrachtet - polychromatisch, besteht also auch einem breiten Wellenlängenbereich. Je heller und heißer die Glühlampe bei höherer Spannung wird, desto mehr verschiebt sich das Maximum der Strahlung vom (langwelligen energiearmen) Roten zum (kurzwelligen energiereichen) Blauen. Auch das Sonnenlicht ist polychromatisch, was man an den Farben des Regenbogens erkennen kann. Die Oberflächentemperatur der Sonne ist deutlich höher als die einer Glühwendel. Daher ist der Blauanteil deutlich höher, was in der Summe Weiß ergibt.
- Eine Glühlampe wird heiß (und bleibt es nach dem Ausschalten noch lange), eine LED nicht.
- Eine Glühlampe braucht viel, eine LED nur wenig Strom.
- Aber: Eine Glühlampe kann mit man so herum oder so herum an eine Gleich- oder Wechselspannungsquelle schließen. Eine LED funktioniert nur, wenn, wenn man genau auf die "Polung" achtet, also Plus und Minus nicht verwechselt. Was Wechselspannung ausschließt.
- Und: Glühlampen gibt es für niedrige und für hohe Spannungen. LEDs vertragen nur niedrige Spannungen. LED-Lampen für höhere Spannungen bestehen aus vielen LEDs.

Eine LED unter der Lupe:

Anders als eine Glühlampe, die man in Einzelteile zerlegen mit Hilfe einer in einem leeren, von Sauerstoff weitgehend befreiten Marmeladenglas befestigten selbst gewickelten Wendel aus Konstantandraht " nachbauen" kann, ist die LED zunächst ein schwer fassbares Bauteil.

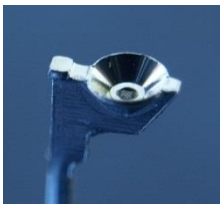
Das liegt schon an der Größe der LED und ihrer Komponenten.



Zeichnung: Wikimedia, verändert (deutsche Bezeichnungen)

Zwar hat die LED Anschlussdrähte und einen transparenten Körper (Linse) der Einblicke in ihr Inneres gewährt. So erkennt man mit der Lupe metallene Stifte, einen Golddraht und eine Art winziger "Wanne". Die "Wanne" trägt den "LED-Chip".

Bei vielen LEDs wird die Strahlung durch einen Reflektor gebündelt.



Trotz Lupe und Binokular: Das Funktionsprinzip der LED erschließt sich durch Beobachtung dennoch nicht.

Ein (didaktischer) Umweg als Einstieg

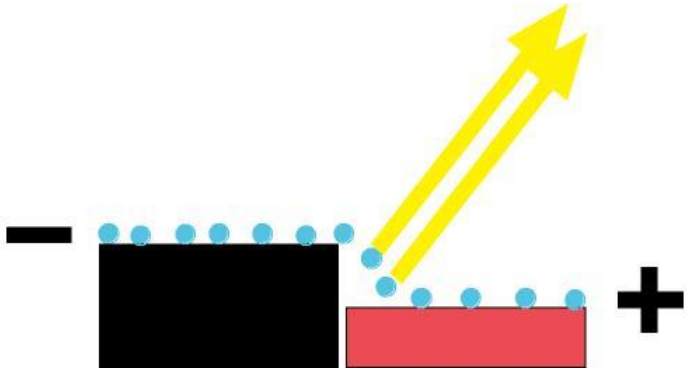
Eine Batterie hat einen Plus- und einen Minuspol: Sie besteht aus zwei "Regionen": Auf der Minusseite gibt es viele freie (negativ geladene) Elektronen, auf der Plusseite nur wenige. Zwischen den beiden Seiten herrscht Spannung, die nach Ausgleich ruft.

Bringt man den Plus- und den Minuspol einer Batterie zusammen - das ist ein Kurzschluss! - gibt es einen kleinen Lichtblitz, einen Funken. Der Funken entsteht an der Stelle, wo die Elektronen von "Minus" nach "Plus" hinüberspringen.

Reibt man einen Gummi- oder Plastikstab an einer Hose und nähert ihn dann z.B. an einen Wasserhahn, gibt es einen Funken. Der Grund: Durch Reibung (Energiezufuhr) sind Elektronen aus der Hose in den Stab gewandert und haben sich dort angehäuft. Bringt man sie mit Gegenständen, die weniger Elektronen enthalten (z.B. Wasserhahn) zusammen, dann springen sie unter Aussendung eines Lichtblitzes vom Stab auf den Wasserhahn über. Die Elektronen "fallen" dabei von einem hohen auf ein tiefes Energieniveau und erzeugen dabei Licht.

Das Funktionsprinzip der LED ist, Elektronen von einem energetisch hohen auf ein energetisch niedrigeres Niveau "fallen" zu lassen und aus der "Fallhöhe" (bitte nicht räumlich zu verstehen!) elektromagnetische Strahlung (Licht!) zu machen.

Wie funktionieren Dioden?



Ganz (!!!) einfach ausgedrückt:

Bei einer Leuchtdiode werden kleine elektrische Teilchen, Elektronen genannt, vom Minuspol der Batterie zu einer hohen Kante geschickt um dort in die Tiefe zu springen.

Während sie fallen geben sie Licht ab.

Dann werden sie vom Pluspol der Batterie wieder eingesammelt

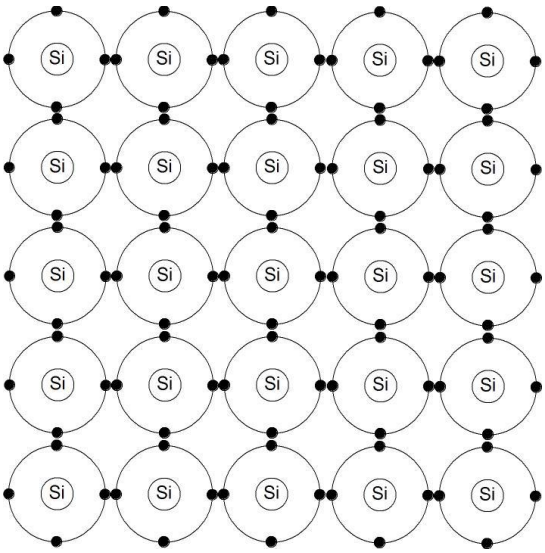
Eine LED ist eine "**L**icht **e**mittierende **D**iode". An eine passende Spannungsquelle angeschlossen gibt sie Licht ab. Eine "normale" Diode tut das nicht.

Prinzipiell sind Leuchtdioden und "normale" Dioden gleich aufgebaut. Um eine LED zu verstehen, sollte man sich zunächst mit den Eigenschaften einer Diode beschäftigen.

Dioden (also auch die LED) haben eine Minus- und eine Plusseite und damit zwei Anschlüsse, einen kurzen und einen langen. Dazu sollte man sich merken: Plus ist mehr (lang) und Minus ist weniger (kurz). Besonders feinfühlige Menschen erkennen noch eine Kante an der Basis der LED. Das ist die Minusseite (Merke: Glattgeschliffen = weniger)

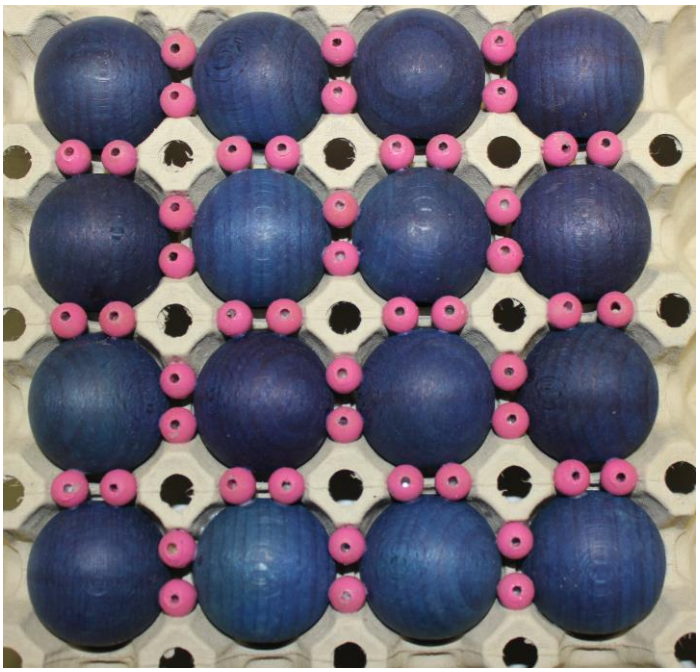
Der positive Anschluss wird auch **Anode** genannt, der negative **Kathode**.

Die LED wäre ohne den schon fast vergessenen Transistor nicht denkbar. Beide bestehen aus dem "Halbleitermaterial" Silizium, dem Hauptbestandteil des Sandes am Strand. Das klingt nach einer nahezu unerschöpflichen Rohstoffquelle. Aber Sand allein ist kein Halbleitermaterial. Das im Sand enthaltene Silizium muss unter Einsatz von Chemie und viel Energie gereinigt und in eine neue passende Form gebracht werden.



Zeichnung: Ingo Mennerich

Das Siliziumatom enthält einen Kern aus 14 positiv geladenen Protonen, ebenso vielen elektrisch neutralen Neutronen und einer Hülle aus 14 negativ geladenen Elektronen. Die Elektronen verteilen sich auf drei Bahnen, denen verschiedene Energieniveaus entsprechen. Die vier sich auf der äußersten Bahn bewegendenden Elektronen gehen mit jeweils 4 benachbarten Siliziumatomen feste Bindungen ein. Dadurch entsteht ein Kristallgitter.



Halbleitermaterial "Silizium" aus Eierpalette und Holzkugeln:

Blaue Kugeln:
Silizium-Atome (Kern und nicht an der Bindung beteiligte Elektronen)

Rosa Kugeln:
Zwei benachbarte Silizium-Atome teilen sich 2 Valenzelektronen.

Im Profilkurs "Solarenergie" entwickeltes Unterrichtsmaterial, Energie-LAB

Foto: Ingo Mennerich

Silizium ist ein "Halbleiter"

Jeder weiß, dass Kupfer elektrischen Strom leitet und das das Kabel isolierende Gummi nicht. Kupfer ist ein Leiter, Gummi ein Nichtleiter. Was unterscheidet die beiden?

Kupfer ist ein Metall und hat normalerweise eine regelmäßige Gitterstruktur. Kupferatome gehen miteinander eine (metallische) Bindung ein, indem sie sich Elektronen auf der Außenschale (so genannte Valenzelektronen) miteinander teilen. Die Bindung ist aber sehr locker. Kupfer lässt sich daher leicht verformen. Auch ohne Energiezufuhr - vagabundieren Elektronen zwischen den Kupferatomen als "Elektronengas". Diese "freien" Elektronen sind die Ladungsträger. Sie machen Kupfer zum elektrischen Leiter.

Auch Gummi ist weich. Aber aus anderen Gründen. Hier gibt es keine "freien" Elektronen, alle Elektronen sind in Valenzbindungen festgelegt. Infolgedessen auch keine elektrische Leitung. Gummi ist ein Nichtleiter.

Halbleiter liegen in ihrer Leitfähigkeit zwischen den Nichtleitern und den Leitern. Ein solcher Halbleiter ist das Silizium.

Im oben schematisch dargestellten Siliziumkristall scheinen alle Elektronen fest gebunden zu sein. Danach wäre Silizium unfähig, elektrische Ladungen zu transportieren und damit ein Nichtleiter.

Tatsächlich aber sind die Elektronen im Siliziumkristall nicht an feste Plätze gebunden. Durch Energiezufuhr (Wärme / elektromagnetische Strahlung = Licht) werden einige von ihnen auf ein höheres Energieniveau gehoben. Sie treten vom "Valenzband" in das energetisch höhere "Leitungsband". Dadurch wird Silizium zum mittelmäßig guten Leiter, eben zu einem "Halbleiter". Dabei ist es egal, in welche Richtung der Strom durch den Halbleiter fließt.

Man kann das Halbleitermaterial Silizium durch bestimmte Eingriffe dazu bringen, den elektrischen Strom nur in eine Richtung fließen zu lassen und erhält eine "elektrische Einbahnstraße", eine Diode.

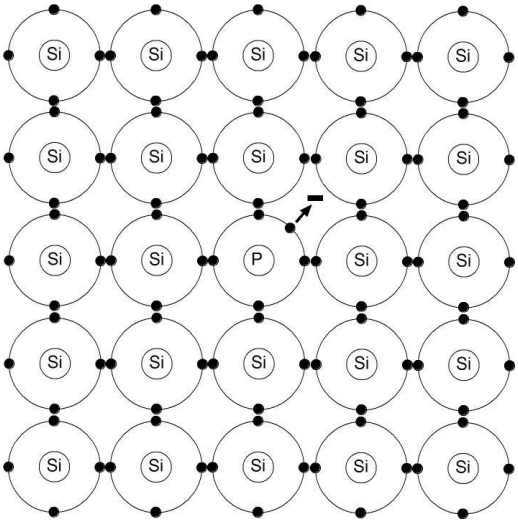
Dioden sitzen in Gleichrichtern die Wechselstrom in Gleichstrom verwandeln. Als "Doppeldioden" sind sie Steuerelemente (Transistoren), die millionenfach auf kleinstem Raum miteinander verschaltet die "Chips" ergeben, ohne die unsere immer kleiner werdenden Hochleistungsrechner nicht denkbar wären. Auch Licht in Strom verwandelnde Solarzellen sind Dioden.

Heute gibt es so viele Anwendungen der Halbleitertechnologie, dass es sinnvoll ist, sich mit dem Grundprinzip der Diode zu beschäftigen.

"Verunreinigung" (Dotierung) von Silizium

Zur Herstellung von Dioden wird Silizium gezielt mit sehr (!) wenigen Fremdstoffen (etwa 1 Atom auf 10^{10} = 100 Milliarden Atome Silizium!) bestimmter Eigenschaften "verunreinigt" (dotiert). Sie sorgen dafür, dass das so behandelte Silizium entweder zu viel (n-dotiert) oder zu wenig Elektronen (p-dotiert) enthält. Bei der Herstellung einer Diode werden Schichten aus n- und p-Silizium aneinandergesetzt.

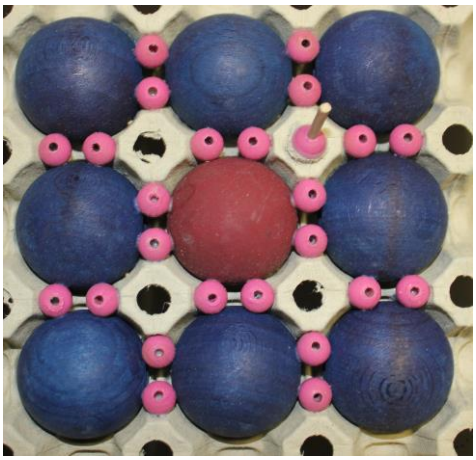
Eine "normale", nicht leuchtende Diode besteht aus n- und p-dotiertem Silizium.



Zeichnung: Ingo Mennerich

Das n-dotierte Silizium enthält wenige Atome Phosphor. Phosphor (P) besitzt 5 Elektronen auf der äußeren Schale. Dieses Valenzelektron spielt gewissermaßen das "fünfte Rad am Wagen": Es kann im Siliziumgitter keine Bindung eingehen und wird zum "freien" Ladungsträger. Der durch Phosphor n-dotierte Siliziumkristall erhält so einen Elektronenüberschuss und wird zum Leiter negativer Ladungen.

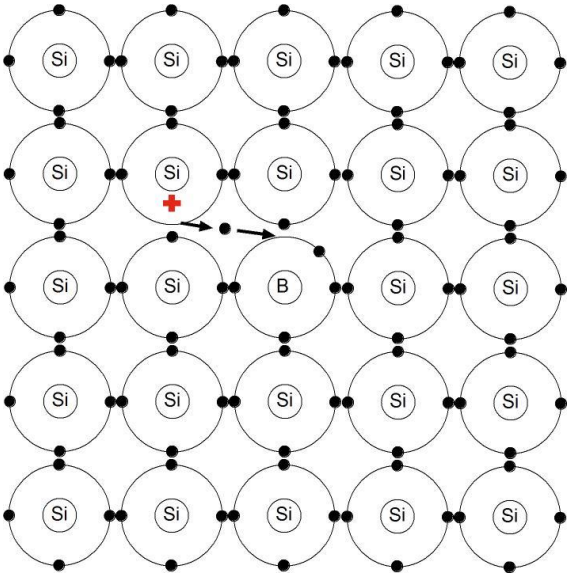
Im n-dotierten Kristallverband gibt es insgesamt einen Elektronenüberschuss.
Das heißt, er ist negativ geladen.



Mit **Phosphor** dotiertes Silizium:

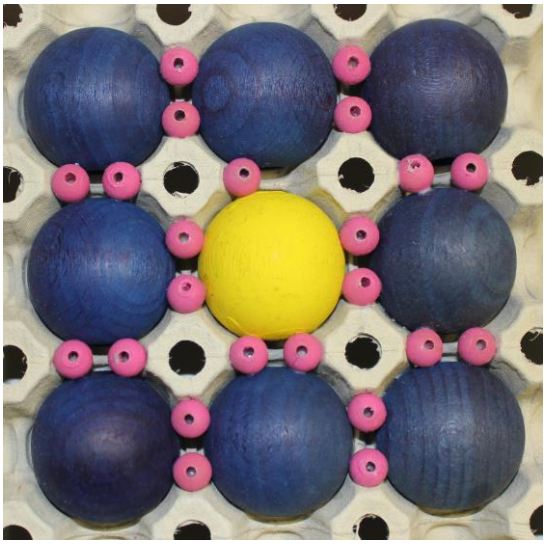
Rote Kugel:
Phosphor-Atom

Rosa Kugel mit Griff:
Zusätzliches Valenzelektron



Zeichnung: Ingo Mennerich

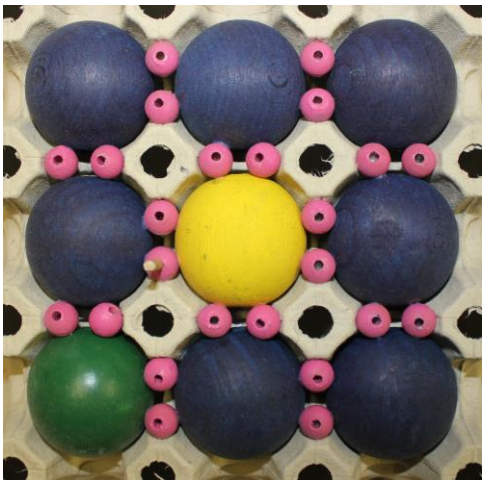
Das p-dotierte Silizium enthält wenige Atome Bor. Bor (B) besitzt nur 3 Valenzelektronen und ergänzt diesen "Mangel" dadurch, dass es ein Valenzelektron eines benachbarten Siliziumatoms hinüberzieht. Dadurch entsteht dort ein "Mangel" der dadurch behoben wird, dass einem weiteren Siliziumatom ein Elektron entzogen wird usw.. Einfach ausgedrückt: Ein "Loch" wird dadurch geflickt, indem andernorts ein Stück herausgeschnitten wird, wodurch ein neues Loch entsteht, das auf die gleiche Weise in Stand gesetzt wird. Das "Loch" wandert und zwar entgegengesetzt zur Wanderung der Elektronen. Im p-dotierten Kristallverband gibt es insgesamt einen Elektronenmangel. Das heißt, er ist positiv geladen.



Mit **Bor** dotiertes Silizium:

Gelbe Kugel:
Bor-Atom

Rosa Kugeln:
Valenzelektronen
(Das Bor-Atom entzieht der Bindung ein Valenzelektron)



Mit **Bor** dotiertes Silizium und "Loch"

Gelbe Kugel:
Bor-Atom

Rosa Kugeln:
Valenzelektronen
(Das fehlende Valenzelektron wird durch ein Elektron eines Silizium-Atoms ersetzt, das dadurch zum "Loch" wird.

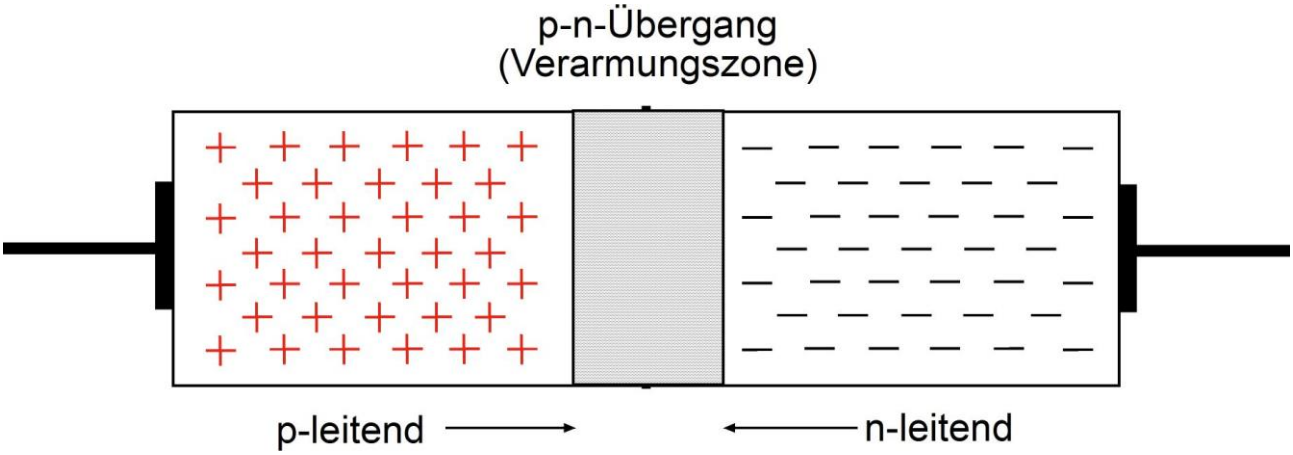
Grüne Kugel:
"Loch" (Elektronen-Mangel, daher postiv)

Eine Diode setzt sich aus einer mit Phosphor und einer mit Bor dotierten Schicht zusammen.

Sie besteht also aus einer Seite mit Elektronenüberschuss (n-Silizium) und einer Seite mit Elektronenmangel (p-Silizium). Die Grenze nennt man p-n-Übergang.

Im Umfeld des p-n-Übergangs herrscht "Neutralität". Das hat damit zu tun, dass sich freie Elektronen oberhalb des absoluten Nullpunks auf "Wanderschaft" befinden, was man D*iffusion* nennt.

Die grenznahen "Löcher" im p-Bereich werden durch aus dem grenznahen n-Bereich hinein diffundierende Elektronen aufgefüllt. Auf der n-Seite verschwinden dadurch alle "überzähligen" Elektronen.



Zeichnung: Ingo Mennerich

(Etwas korrekter formuliert: Im n-dotierten Silizium bewegen sich Elektronen im energetisch höher liegenden so genannten "Leitungsband" und fallen auf der p-dotierten Seite ins energetisch tiefer liegende "Valenzband". Die Energiedifferenz zwischen Leitungs- und dem Valenzband wird "Bandlücke" genannt.)

Warum springen die Elektronen nicht sofort vom n- zum p-Silizium?

Im Bereich des p-n-Übergangs wandern Elektronen von "n" nach "p" und "Löcher" von "p" nach "n". Diese Zone wird elektrisch "neutral" und trennt die n- und p-Seite wie eine "Pufferzone".

Durch diesen Puffer bedingt "fallen" die Elektronen also nicht spontan von der n- zur p-Seite.

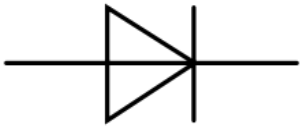
pn-Übergang im "Eierpaletten-Modell":

Rechts:
Phorsphor-dotiert, negativer Ladungsüberschuss, überzählige ("freie") Elektronen
Links:
Bor-dotiert, positiver Ladungsüberschuss, fehlende Elektronen ("Löcher")

Kann man an einer Diode eine Spannung zwischen n- und p-Anschluss nachweisen?

LEDs erzeugen eine geringe Spannung, allerdings nur, wenn man sie mit Licht bestrahlt. Dann kann man sie experimentell (in sehr begrenztem Umfang) als "Solarzellen" benutzen. Solarzellen bestehen auch aus p- und n-dotiertem Halbleitermaterial (Silizium). Bei ihnen hebt Licht (Photonen, Energie!) Elektronen aus dem Valenz- in das Leitungsband.

Dioden als "elektrische Einbahnstraßen"



Die Diode lässt den Strom, wie das Schaltsymbol erkennen zeigt, nur in eine Richtung durch.

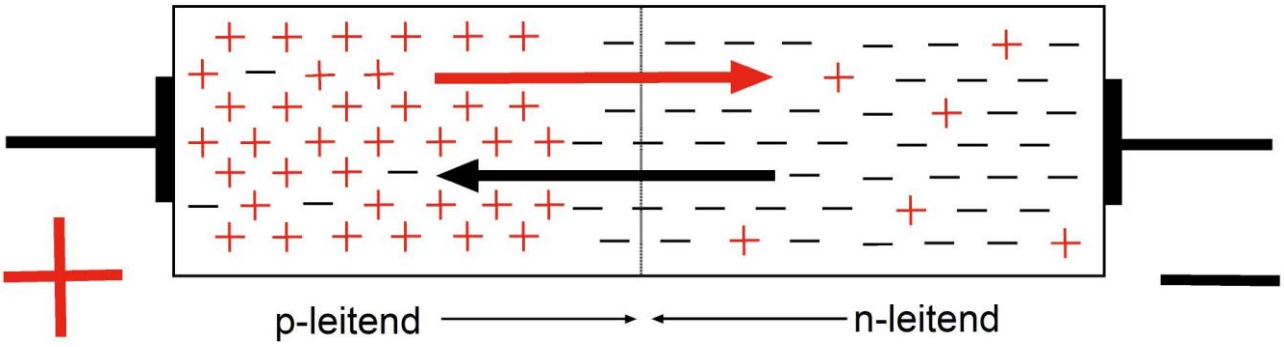
Achtung:
Das Symbol bezieht sich auf die "technische Stromrichtung" (von Plus nach Minus), also nicht auf die Richtung des tatsächlichen Elektronenstroms (von Minus nach Plus)!

In **Durchlassrichtung** geschaltete Diode:

Wird eine Diode mit der Anode (p-Schicht) an den Pluspol und mit der Kathode (n-Schicht) an den Minuspol geschlossen, bewirkt die angelegte Spannung, dass die "neutrale Zone" um den p-n-Übergang von den Elektronen der n-Schicht übersprungen wird. Sie vereinigen sich mit den "Löchern" der p-Schicht.

Da die Elektronen zum Pluspol wandern bewegen sich die "Löcher" in entgegengesetzter Richtung zum p-n-Übergang und nehmen neue Elektronen auf. So lange die Spannung angelegt bleibt, fließen dauernd Elektronen vom Minuspol über die Kathode und die n-Schicht zur p-Schicht, der Anode und zum Pluspol.

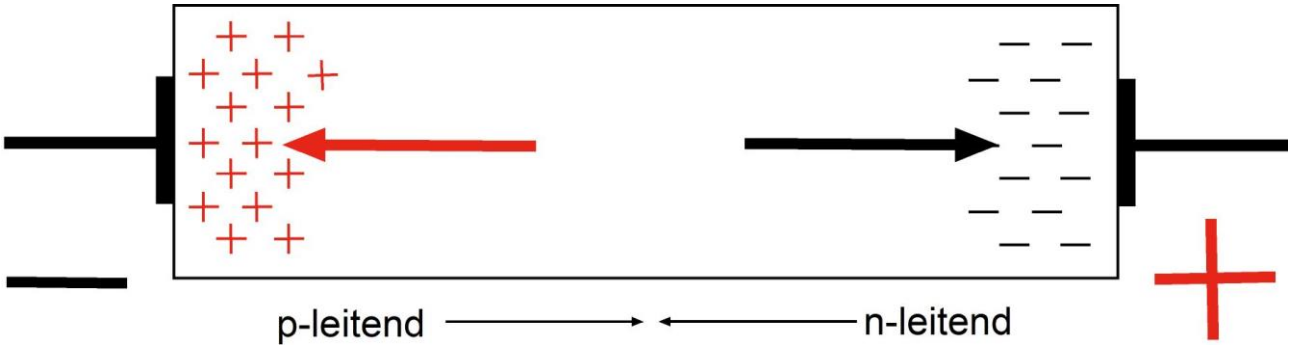
Einfacher formuliert kann man sagen: Bei einer in Durchlassrichtung betriebenen Diode werden die Löcher vom Pluspol abgestoßen und zum Minuspol gezogen, während die Elektronen vom Minuspol abgestoßen und vom Pluspol angezogen werden.



Zeichnung: Ingo Mennerich

In **Sperrrichtung** geschaltete Diode:

Legt man die Diode mit der Anode (p-Schicht) an den Minuspol und die Kathode (n-Schicht) an den Pluspol, werden die "Löcher" vom Minuspol und die Elektronen vom Pluspol angezogen. Dadurch entsteht eine breite neutrale Pufferzone, die jeden Elektronenfluss unterbindet.



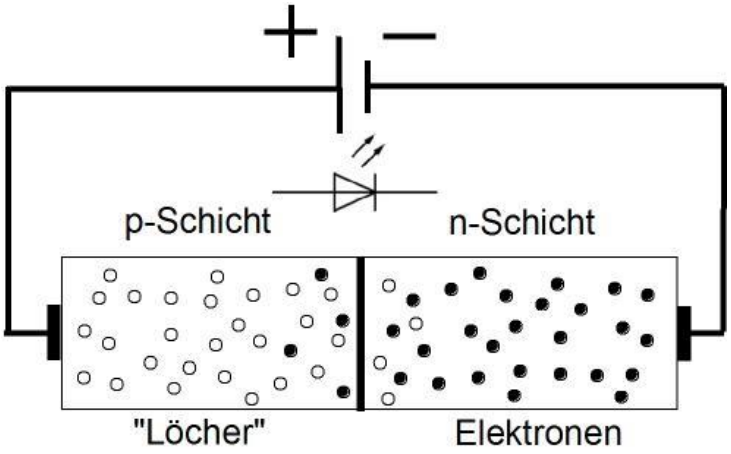
Zeichnung: Ingo Mennerich

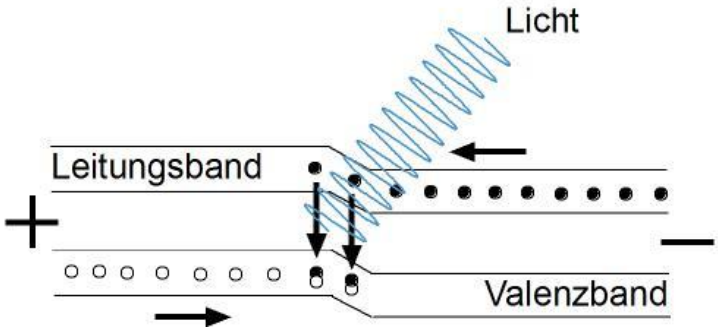
Was unterscheidet eine LED von einer herkömmlichen Diode?

Dioden bestehen aus 2 Schichten: aus mit n-leitendem Phosphor bzw. p-leitenden Bor dotiertem Silizium. Bei LEDs kommen Galliumverbindungen zum Einsatz, z.B. das hochgiftige und krebserregende Galliumarsenid.

Warum muss man bei Leuchtdioden das ungiftige Silizium durch Galliumverbindungen ersetzen?

Sobald aber eine Gleichspannung an eine Diode gelegt wird werden die zusätzlichen auf der Minusseite der Stromquelle bereitgestellten Elektronen über den p-n-Übergang "geschoben" und fallen in die "Löcher" auf der p-Seite hinein. Negative und positive Ladungen vereinigen sich, das nennt man "Rekombination". Dabei entsteht elektromagnetische Strahlung. Ihre Wellenlänge ist abhängig von der "Fallhöhe": Je höher die Energiedifferenz ("Bandlücke" genannt), desto kurzwelliger die Strahlung.





Zeichnung: Ingo Mennerich nach Vorlage: Wikipedia, PnJunction-LED-E.svg

Die Farbe des bei der Rekombination ausgesandten Lichts entspricht - einfach formuliert - der "Fallhöhe" des ins "Loch" plumpsenden Elektrons. "Fallhöhe" müsste man korrekt mit dem Energieniveau, oder der "Energielücke" zwischen dem "freien" und dem (im Loch) gebundenen Elektron übersetzen. Je geringer die Energielücke, desto langwelliger (roter) die Strahlung, je größer desto kurzwelliger (blauer).

Legt man eine passende Spannung an eine "normale" Diode, entsteht Licht. Allerdings sehen wir es nicht, weil unsere Augen, angepasst an das spektrale Maximum des Sonnenlichts nur Wellenlängen zwischen 380 nm (violett) und 780 nm (dunkelrot) als Licht wahrnehmen.

Die Bandlücke des Siliziums ist mit 1,1 eV zu klein, um sichtbares Licht zu erzeugen. Die freiwerdende Strahlung liegt im für uns unsichtbaren Infrarot bei 1100 nm. Da eine herkömmliche Diode nicht als Infrarotstrahler gedacht ist, bleibt diese Strahlung natürlich im Gehäuse verborgen.

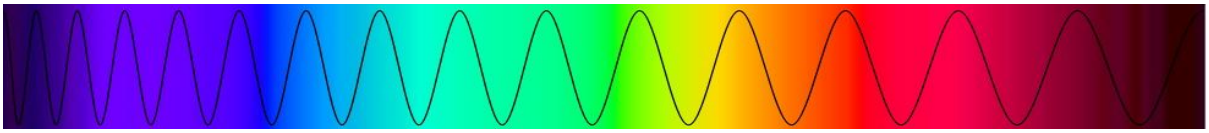
Infrarotdioden basieren auf z.B. auf Aluminium-Galliumarsenid (Bandlücke, Wellenlänge 940 nm). Sie werden als Sender in TV-Fernbedienungen eingesetzt.

Die ersten aus Galliumarsenid bestehenden LEDs mit relativ geringer Bandlücke führten zu langwelliger infraroter und daher für unsere Augen unsichtbarer Strahlung. Galliumarsenid, ein Kristallgitter aus Gallium und Arsen, hat eine Bandlücke von 1,4 Elektronenvolt (eV), was bei der Rekombination von Elektron und "Loch" zur Aussendung einer Strahlung mit der Wellenlänge 885 Nanometer (nm) führt. Auch diese Wellenlänge liegt im Infrarotbereich. Die Zugabe von Phosphor vergrößert die Energielücke, verkürzt die Wellenlänge und führt zu roter oder gelber Strahlung.

Im Laufe der Zeit sind mit neuen Halbleitermaterialien (z.B. Indiumverbindungen), die größere Bandlücken aufweisen und damit Strahlung kürzer Wellenlängen aussenden, auch grüne, blaue und schließlich (durch Kombination von rot, grün und blau) auch weiße LEDs dazu gekommen. Heute gibt es sogar UV-LEDs, die auf den hohen Bandlücken von Diamant basieren.

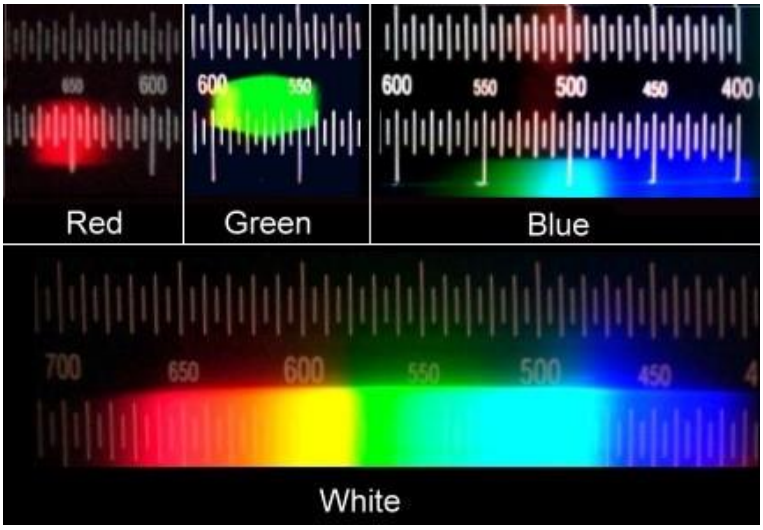
Farbige LEDs

Zwischen der Farbe der LED und der Bandlücke ("Sprunghöhe") gibt es einen Zusammenhang:
Je größer die Bandlücke, desto kurzwelliger und energiereicher ist das ausgesandte Licht.



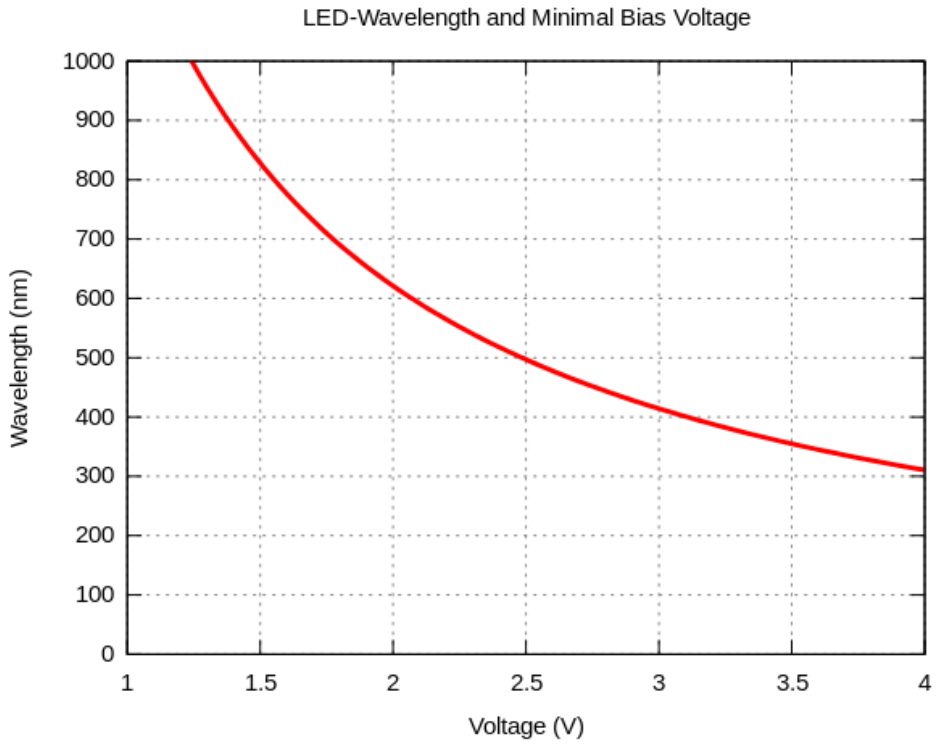
An blaue LEDs muss daher eine höhere Spannung angelegt werden als an rote LEDs.

Das bedeutet allerdings auch, dass eine rote LED leicht "durchbrennt" wenn man sie an Spannungen schließt die für blaue LEDs typisch sind. LEDs sollten daher nicht direkt an eine Spannungsquelle angeschlossen sondern mit einem passenden Vorwiderstand betrieben werden.



Spektren roter, grüner, blauer und weißer LEDs

Quelle: Wikipedia



Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode#mediaviewer/File:Ledvoltcol.svg

Mit steigender Spannung steigt der Strom plötzlich (!) und sehr stark an

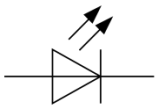
Schließt man eine LED an eine regelbare Gleichspannungsquelle, ein Voltmeter und ein Milliampere-Meter und erhöht - ausgehend von Null Volt - die Spannung ganz vorsichtig ist zu beobachten:

- Erst von einer bestimmten "Schwellspannung" aufwärts beginnt die LED, zunächst noch schwach, zu leuchten
- Mit nur wenig steigender Spannung wird sie rasch heller
- Der gemessene Strom steigt rapide an
- Oberhalb einer bestimmten Spannung wird sie trotz steigendem Strom nicht mehr viel heller
- Oberhalb einer bestimmten höheren Spannung brennt die LED durch.

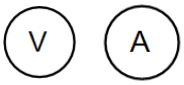
Diese Zusammenhänge lassen sich für verschiedenfarbige LEDs systematisch als "Kennlinien" aufnehmen. Dabei entstehen immer Wertepaare aus Spannung und Strom.

Um das Durchbrennen zu vermeiden muss sehr vorsichtig und in kleinen Schritten vorgegangen werden, z.B. in Abständen von 0,1 Volt.

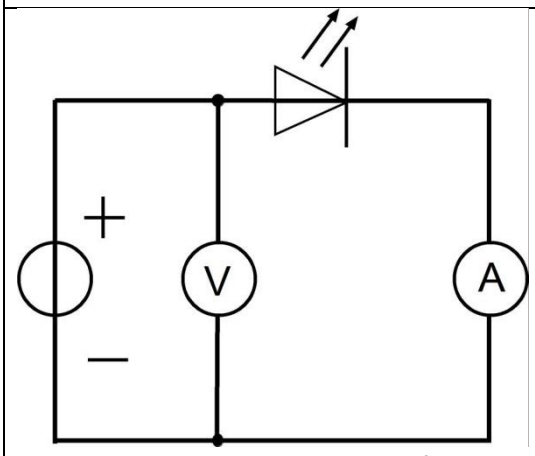
SPANNUNGSQUELLE



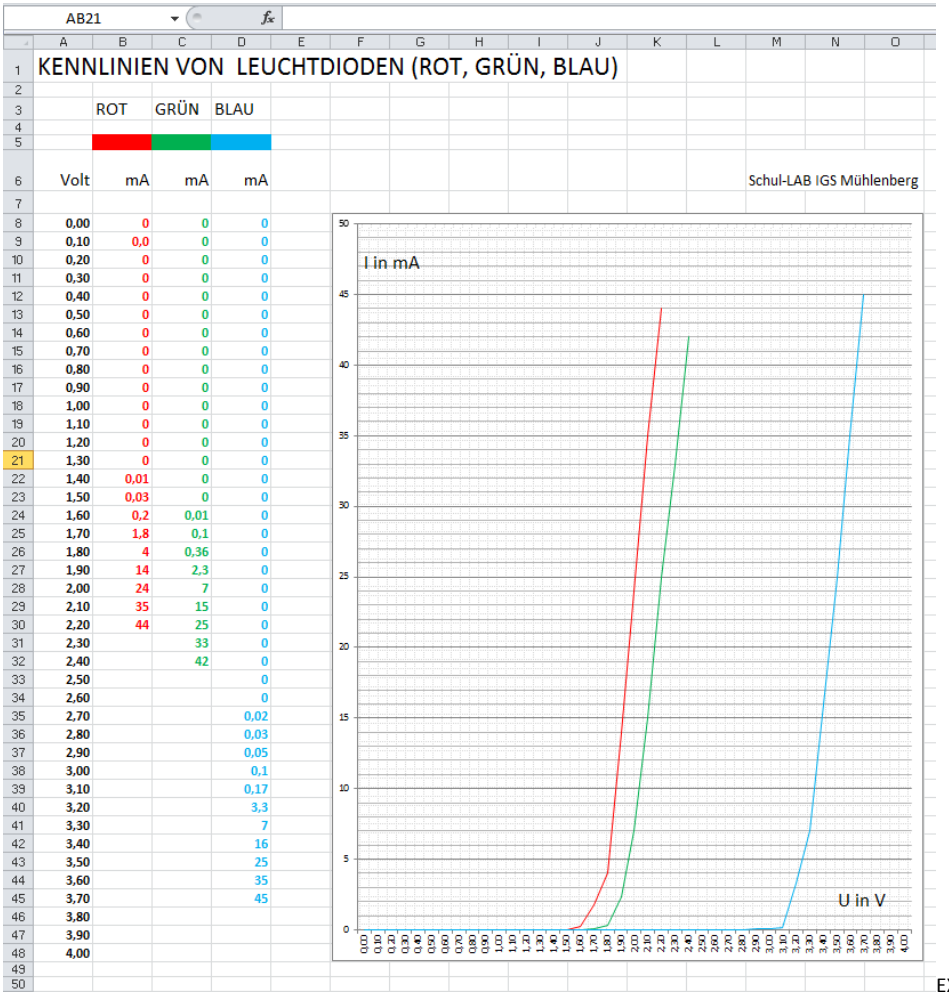
LED



SPANNUNGSMESSGERÄT (Multimeter)

Schaltskizze Spannungsmessung an der LED	V	mA
 Grafik: Ingo Mennerich	1,00	0
	1,10	0
	1,20	0
	1,30	0
	1,40	0,01
	1,50	0,03
	1,60	0,2
	1,70	1,8
	1,80	4
	1,90	14
	2,00	24
	2,10	35
	2,20	44

Die Wertepaare der drei LEDs werden in eine Tabelle eingetragen und als Kennlinien gezeichnet. Dies kann z.B. mit Hilfe einer EXCEL-Tabelle geschehen.



KENNLINIEN VON LEUCHTDIODEN (ROT, GRÜN, BLAU)

Schul-LAB IGS Mühlenberg

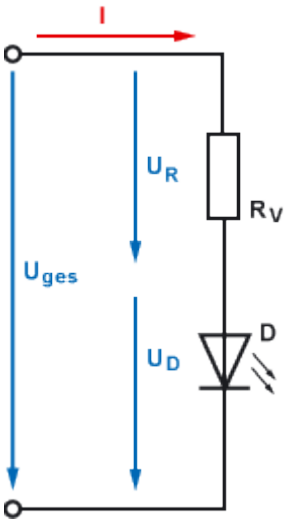
Volt	ROT mA	GRÜN mA	BLAU mA
0,00	0	0	0
0,10	0,0	0	0
0,20	0	0	0
0,30	0	0	0
0,40	0	0	0
0,50	0	0	0
0,60	0	0	0
0,70	0	0	0
0,80	0	0	0
0,90	0	0	0
1,00	0	0	0
1,10	0	0	0
1,20	0	0	0
1,30	0	0	0
1,40	0,01	0	0
1,50	0,03	0	0
1,60	0,2	0,01	0
1,70	1,8	0,1	0
1,80	4	0,36	0
1,90	14	2,3	0
2,00	24	7	0
2,10	35	15	0
2,20	44	25	0
2,30		33	0
2,40		42	0
2,50			0
2,60			0
2,70			0,02
2,80			0,03
2,90			0,05
3,00			0,1
3,10			0,17
3,20			3,3
3,30			7
3,40			16
3,50			25
3,60			35
3,70			45
3,80			
3,90			
4,00			

EXCEL: Ingo Mennerich

Damit die LED nicht durchbrennt: Der passende Vorwiderstand

Für LEDs gilt - wie für Glühlampen auch - dass ihre Helligkeit vom Stromfluss abhängt und dieser wiederum von der angelegten Spannung. Wird die LED an eine zu hohe Spannung angeschlossen fließt ein zu hoher Strom. Die LED brennt durch.

Typisch für LEDs sind Betriebsströme von 20 Milliampere (0,02A = 20mA). Ein vor die LED geschalteter Widerstand sorgt dafür, dass dieser Strom nicht überschritten wird. Dazu muss ein Teil der für die LED zu hohen Betriebsspannung (z.B. der Batterie) am Widerstand "abfallen".



Beispiel 1:

- Durch eine rote LED soll laut Datenblatt bei einer Spannung von U_D = 2,1Volt ein Strom I_D = 20 Milliampere fließen.
- Die LED soll an eine Spannungsquelle von U_{ges} = 4,5 Volt angeschlossen werden

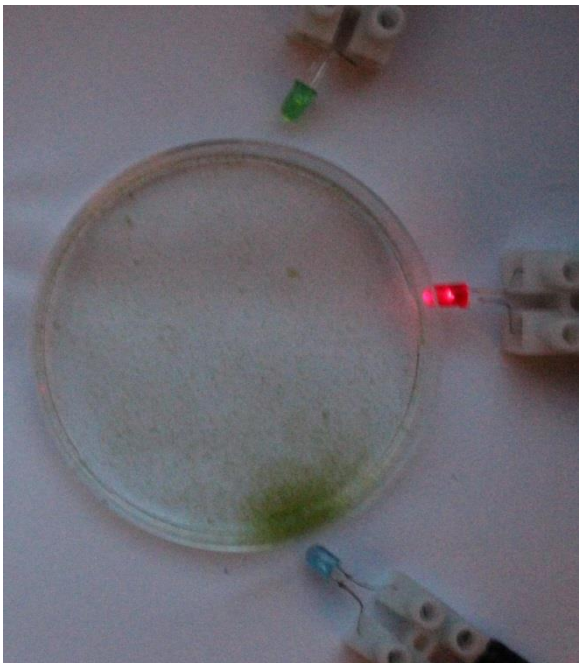
Von U_{ges} = 4,5 Volt müssen U_R= 4,5 - 2,1 = 2,4 Volt am Widerstand R abfallen. Der Strom I_D ist mit dem durch den Widerstand fließenden Strom I_R identisch und soll 20mA betragen.

$$R(\Omega) = \frac{U_R(\mathrm{V})}{I_{\frac{R}{D}}(\mathrm{A})}$$

$$R(\Omega) = \frac{2{,}4V}{0{,}02\mathrm{A}} = = 120 \text{ Ohm}$$

Oder gleich zusammengefasst: $R(\Omega) = \frac{U_{Ges}(\mathrm{V})\text{-}U_D(\mathrm{V})}{I_{\frac{R}{D}}(\mathrm{A})} \rightarrow R(\Omega) = \frac{4{,}5V-2{,}1V}{0{,}02\mathrm{A}} = 120 \text{ Ohm}$

Beispiel 2:



In einem Versuch, bei dem das Farbsehvermögen einer Alge* getestet wurde kamen drei LEDs zum Einsatz die an einer gemeinsamen Spannungsquelle (U_{ges} = 2 V) angeschlossen waren. Während die rote LED hell leuchtet glimmt die grüne deutlich schwächer. Die blaue leuchtet fast gar nicht.

Wie könnte eine Schaltung aussehen, bei der alle drei Dioden gleich hell leuchten?

$LED_{(rot)}$: 2,1V / 20mA

$LED_{(grün)}$: 2,4V / 20mA

$LED_{(blau)}$: 3,4V / 20mA

Spannungsquelle U_{ges} = 4,5V

*) Arbeitshilfe "Volvox, Licht und Farbe"

Vorwiderstände:

LED$_{(rot)}$:

$$R(\Omega) = \frac{4{,}5V - 2{,}1V}{0{,}02\text{A}} = 120\Omega$$

LED$_{(grün)}$:

$$R(\Omega) = \frac{4{,}5V - 2{,}4V}{0{,}02\text{A}} = 105\Omega$$

LED$_{(blau)}$:

$$R(\Omega) = \frac{4{,}5V - 3{,}4V}{0{,}02\text{A}} = 55\Omega$$

Wenn man die LEDs dimmen möchte müssen die Widerstände regelbar sein (Potentiometer) und so dimensioniert sein, dass die im Datenblatt der LEDs aufgeführten zulässigen Maximalspannungen/-ströme nicht überschritten werden.

Der "Dimmer" besteht aus einem den Strom nach oben begrenzenden Festwiderstand und einem ihn bis zum Minimalwert herabregelnden Potentiometer. Die beiden liegen in Serie vor der LED.

Die typischen Durchlass-Spannungsbereiche betragen

rot	1,6...2,2V
gelb, grün	1,9...2,5V
blau, weiß	3,0...4,0V

LED$_{(rot)}$:

min

$$R(\Omega) = \frac{4{,}5V - 2{,}2V}{0{,}02\text{A}} = 115\Omega$$

max

$$R(\Omega) = \frac{4{,}5V - 1{,}6V}{0{,}02\text{A}} = 145\Omega$$

Festwiderstand: 115 Ω
Potentiometer: 0…30 Ω

LED$_{(grün)}$:

min

$$R(\Omega) = \frac{4{,}5V - 2{,}5V}{0{,}02\text{A}} = 100\Omega$$

max

$$R(\Omega) = \frac{4{,}5V - 1{,}9V}{0{,}02\text{A}} = 130\Omega$$

Festwiderstand: 100 Ω
Potentiometer: 0…30 Ω

LED$_{(blau)}$:

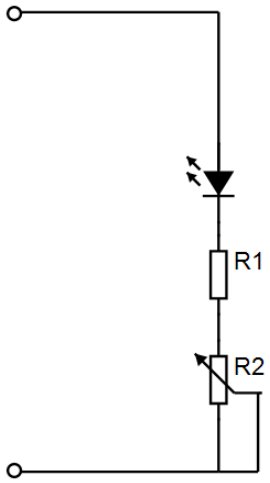
min

$$R(\Omega) = \frac{4{,}5V - 4{,}0V}{0{,}02\text{A}} = 25\Omega$$

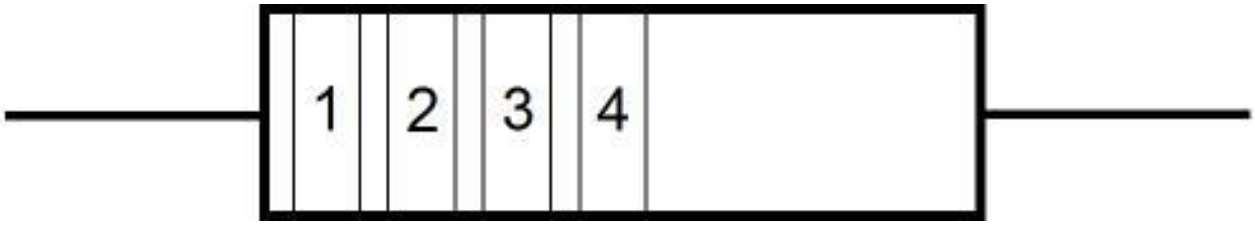
max

$$R(\Omega) = \frac{4{,}5V - 30V}{0{,}02\text{A}} = 75\Omega$$

Festwiderstand: 25 Ω
Potentiometer: 0…50 Ω



Widerstandscode



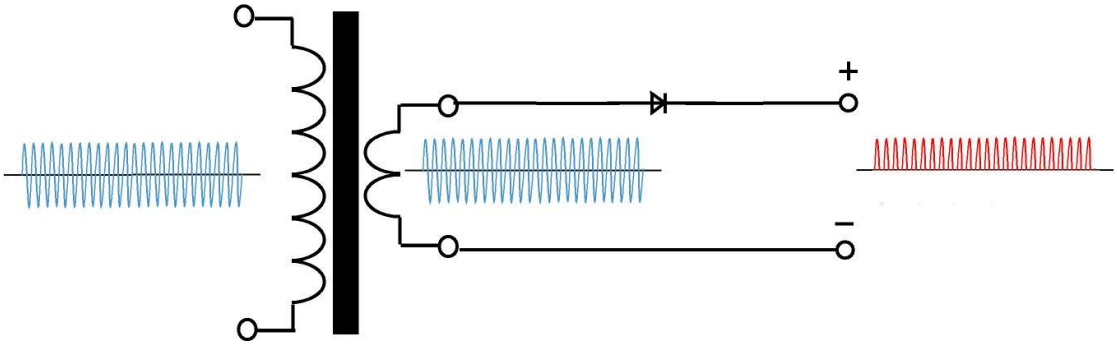
			1. Ring	2. Ring	3. Ring	4. Ring
			1. Ziffer	2. Ziffer	Multiplikator	Toleranz
0		Schwarz			$10^0 = 1$	
1		Braun			$10^1 = 10$	
2		Rot			$10^2 = 100$	
3		Orange			$10^3 = 1000$	
4		Gelb			$10^4 = 10000$	
5		Grün			$10^5 = 100000$	
6		Blau			$10^6 = 1000000$	
7		Violett			$10^7 = 10000000$	
8		Grau			$10^8 = 100000000$	
9		Weiß			$10^9 = 1000000000$	
		Gold				5%
		Silber				10%
		Keiner				20%

Betrieb mit Wechselstrom

Selbstbau eines Gleichrichters (für Klein-Wechselspannungen!)

Ein ganz einfacher Gleichrichter benötigt nur eine Diode. Die vom Transformator bereitgestellte Klein-Wechselspannung schwingt sinusförmig um den Nulllinie herum hat also eine positive und

eine negative Halbwelle. Für die positive Halbwelle liegt die Diode in Durchflussrichtung, für die negative in Sperrrichtung.

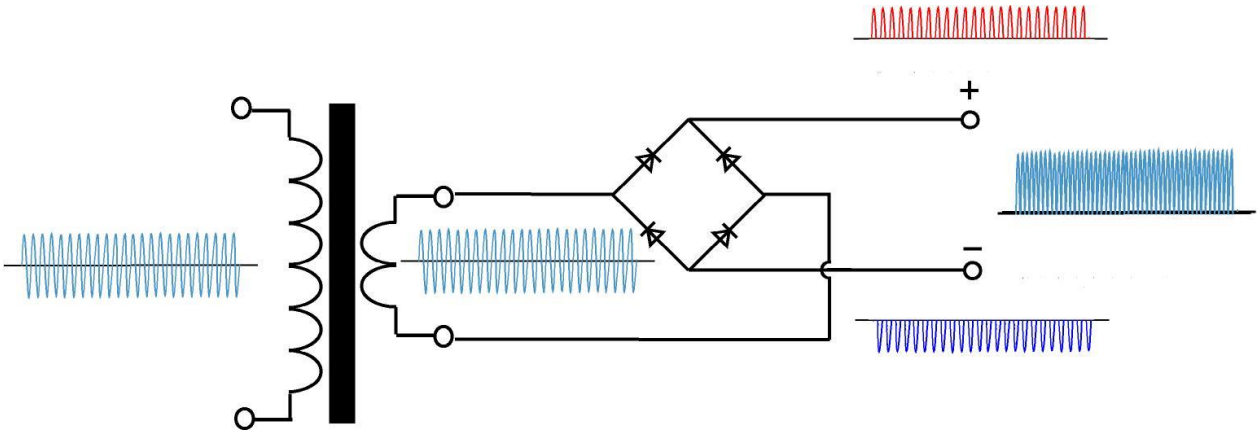


Grafik: Ingo Mennerich

Am Ausgang des Gleichrichters erscheint eine rhythmisch schwankende Gleichspannung mit "Aussetzern": Die negative Halbwelle wird vollständig "abgeschnitten" und dann ist die Spannung am Ausgang Null.

Bei dieser Schaltung bleibt die Hälfte der Energie ungenutzt.

Der Brückengleichrichter besteht aus 4 Dioden und nutzt beide Halbwellen:

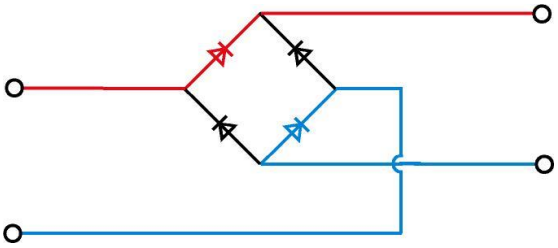


Grafik: Ingo Mennerich

Jeweils 2 Dioden lassen jeweils die eine Halbwelle, 2 Dioden die andere Halbwelle hindurch.

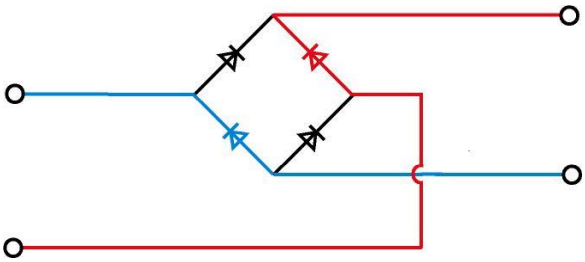
Aufgabe:

Zeichne den Stromfluss während der positiven und während der negativen Halbwelle



Stromfluß bei

postiver Halbwelle



Stromfluß bei

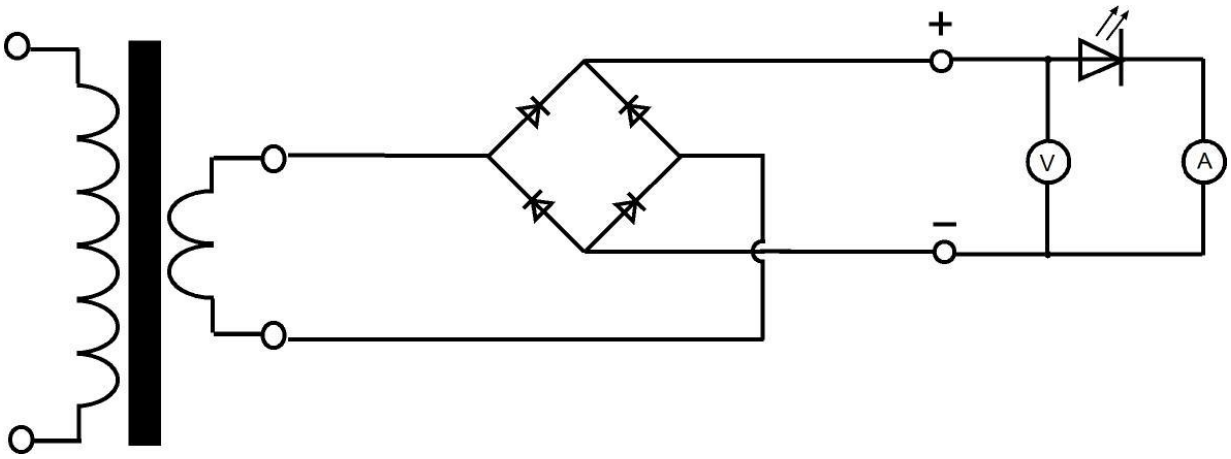
negativer Halbwelle

Baue einen Brückengleichrichter

Untersuche die Spannungsverläufe am Eingang und am Ausgang des Gleichrichters mit einem **Oszilloskop**.

Baue eine Schaltung mit Trafo und Netzgerät auf bei der 12 V Wechselspannung (Netzgerät) in eine für die LED passende Spannung verwandelt wird.

Schalte mehrere LEDs parallel zu einer LED-Leuchte zusammen!



Grafik: Ingo Mennerich

Photonenenergie und Wellenlänge

Photonen ("Lichtteilchen") transportieren Energie in Form von "Energiepaketen" deren Größe definiert und nicht mehr weiter teilbar ist. Man sagt, die Energie tritt in Quanten auf, sie ist "gequantelt". Der Energiegehalt eines Quants ist ungeheuer gering:

$$6{,}626 \times 10^{-34}\ \mathrm{Js}$$

(Planck´sches Wirkungsquantum, *h*)

Der Energieinhalt eines Photons ist immer ein Vielfaches dieses Wirkungsquantums und ist mit der Frequenz bzw. seiner Wellenlänge dieses Photons verknüpft. Im Bereich des sichtbaren Lichts kann man es so ausdrücken: Die Farbe des Lichts ist eine Funktion seiner Frequenz bzw. Wellenlänge Die Anzahl der vom Photon transportierten "Energiepakete" (Quanten) ist abhängig von der Frequenz bzw. Wellenlänge. Diese manifestieren sich in einer bestimmten von unseren Augen wahrgenommenen Farbe.

Die Frequenz f (Hz) und die Wellenlänge λ (m) sind über die Lichtgeschwindigkeit c ($3*10^8$) miteinander verknüpft:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

Der Energiegehalt des Photons ist

$$E = h * f \text{ oder } E = h * \frac{c}{\lambda}$$

Beispiel: Die Energie eines Photons mit der Wellenlänge 600nm ("rot") beträgt

$$E = 6{,}626 * 10^{-34}\mathrm{J} \cdot \mathrm{s} * \frac{3*10^{8}\mathrm{m/s}}{6*10^{-7}\mathrm{m}} = 3{,}313*10^{-19}\mathrm{J}$$

Die Photonenenergie wird im Allgemeinen in Elektronenvolt (eV) angegeben. Ein Elektronenvolt ist die Energie, die ein Elektron aufnimmt, wenn es eine Spannung von 1 Volt durchläuft. Der Umrechnungsfaktor Joule → Elektronenvolt ist 1 eV = $1{,}602*10^{-19}$ J.

Ein "rotes" Photon mit λ = 600nm enthält alsog

$$3{,}313*10^{-19}\mathrm{J} / 1{,}602^{-19}\mathrm{J} = 2{,}7\mathrm{eV}\ \text{Energie}$$

Ist die "Bandlücke" des in der Leuchtdiode verwendeten Halbleitermaterials bekannt, lässt sich daraus die Wellenlänge des von ihr ausgesandten Lichts errechnen:

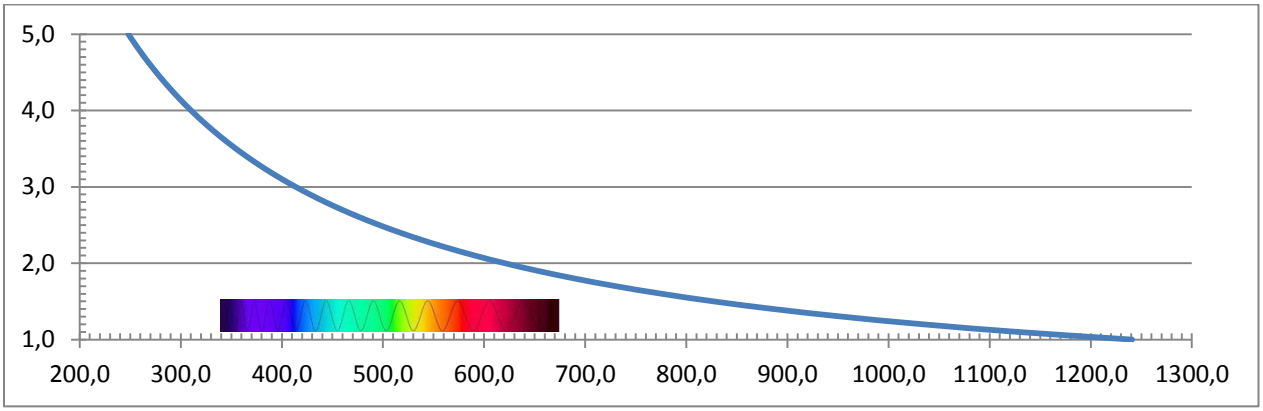
$$\lambda = \frac{h * c}{E}$$

Beträgt die Bandlücke 2,7eV ist die Wellenlänge

$$\lambda = \frac{(6{,}626*10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}) * (3 *10^{8})}{2{,}7\text{eV} * (1{,}602 * 10^{-19}\text{J})}$$

= $4{,}5*10^{-7}$m = 450nm

Wellenlänge (Nanometer, nm) und "Sprunghöhe" in Elektronenvolt (eV)

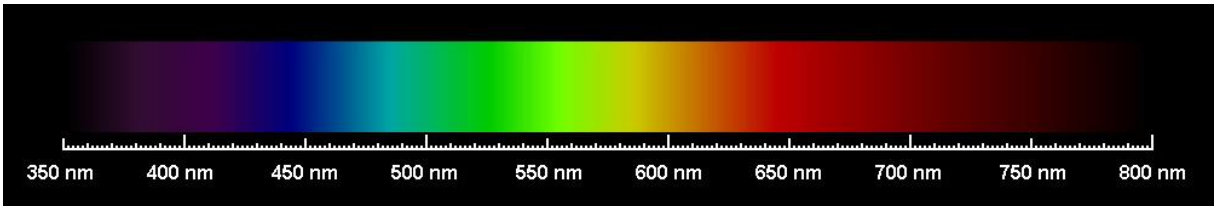


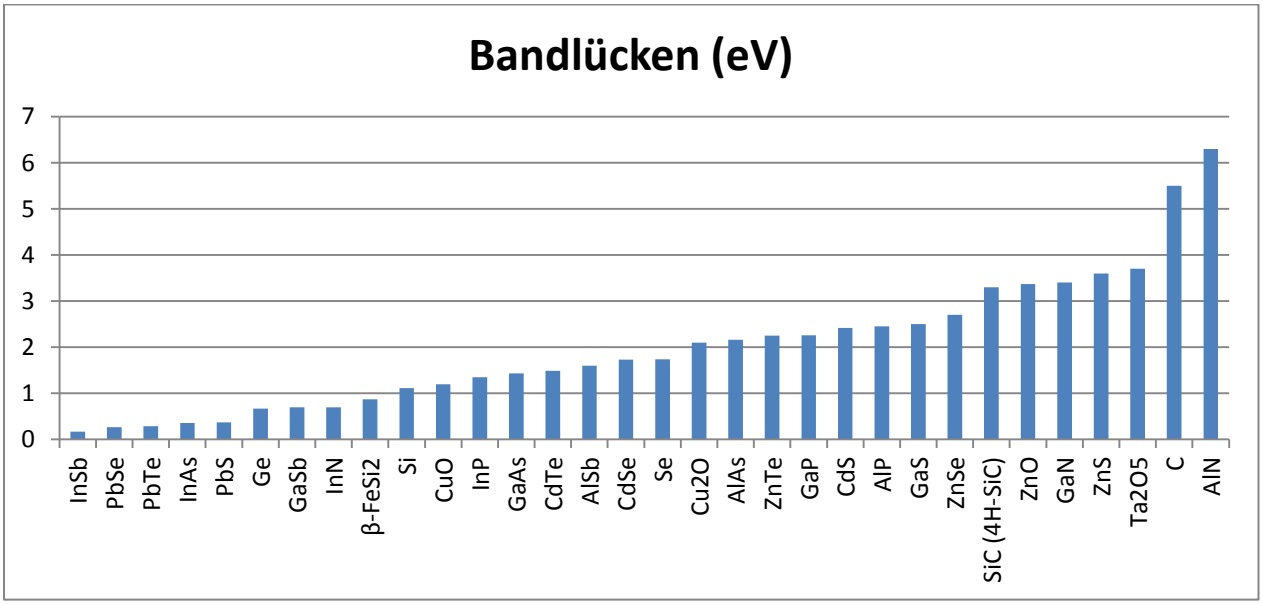
Grafik: Ingo Mennerich, EXCEL

Zum Dotieren des Siliziums verwendete Halbleitermaterialien und ihre Bandlücken (eV)

Verbindung		**eV**	**nm**
Indiumantimonid	InSb	0,17	7293
Blei(II) selenid	PbSe	0,27	4592
Blei(II) tellurid	PbTe	0,29	4275
Indium(III) arsenid	InAs	0,36	3444
Blei(II) sulfid	PbS	0,37	3351
Germanium	Ge	0,67	1851
Galliumantimonid	GaSb	0,7	1771
Indium(III) nitrid	InN	0,7	1771
Eisendilicid	β-$FeSi_2$	0,87	1425
Silizium	Si	1,11	1117
Kupfer(II) oxid	CuO	1,2	1033
Indium(III) phosphid	InP	1,35	918

Gallium(III) arsenid	GaAs	1,43	867
Caldmiumtellurid	CdTe	1,49	832
Aluminiumantimonid	AlSb	1,6	775
Caldmiumselenid	CdSe	1,73	717
Selen	Se	1,74	713
Kupfer(I) oxid	Cu_2O	2,1	590
Aluminiumarsenid	AlAs	2,16	574
Zinktellurid	ZnTe	2,25	551
Gallium(III) phosphid	GaP	2,26	549
Caldmiumsulfid	CdS	2,42	512
Aluminiumphosphid	AlP	2,45	506
Gallium(II) sulfid	GaS	2,5	496
Zinkselenid	ZnSe	2,7	459
Siliziumcarbid	SiC (4H-SiC)	3,3	376
Zinkoxid	ZnO	3,37	368
Gallium(III) nitrid	GaN	3,4	365
Zinksulfid	ZnS	3,6	344
Tantalpentaoxid	Ta_2O_5	3,7	335
Diamant	C	5,5	225
Aluminiumnitrid	AlN	6,3	197





Quelle: Wikipedia Semiconductors, Band Gaps (verändert, EXCEL)

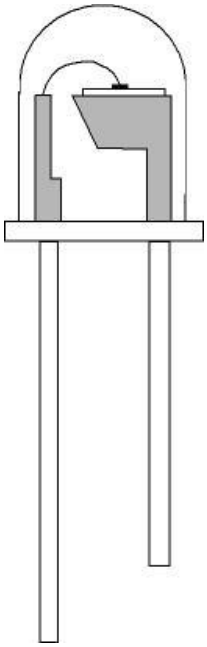
Experimente mit LEDs

LEDs sind "leuchtende elektrische Einbahnstraßen"
und kleine Wunder der Quantenphysik

LEDs UNTER DER LUPE

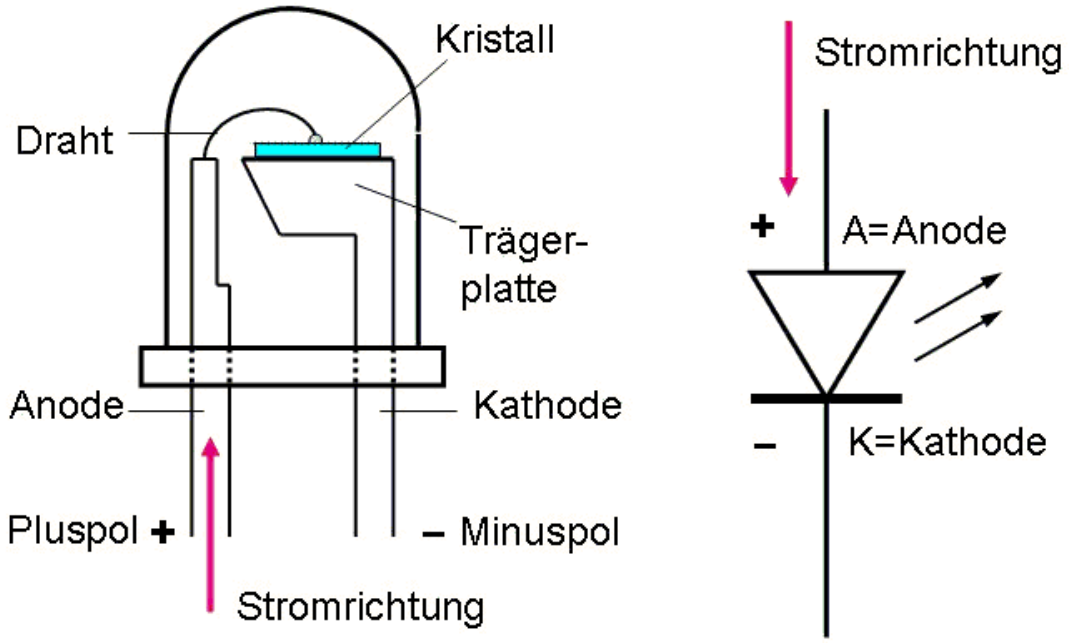
Schaue dir eine weiße LED unter der Lupe an (Binokular)

Foto: Wikipedia


Grafik: Ingo Mennerich

Was siehst du?

- ◯ Zwei elektrische Anschlüsse, einer länger (Kathode), der andere kürzer (Anode)
- ◯ Zwei elektrische Anschlüsse, beide gleich lang
- ◯ Eine ringförmige Grundplatte die ganz rund ist
- ◯ Eine ringförmige Grundlatte die an einer Seite abgeflacht ist
- ◯ Eine farbiges Kunststoffgehäuse (sie erzeugt die Farbe der LED)
- ◯ Eine farbloses Kunststoffgehäuse (die Farbe der LED hat darauf keinen Einfluss)
- ◯ Eine Haltevorrichtung mit einem Glühfaden
- ◯ Eine Haltevorrichtung mit einem feinen Draht und einen winzigen Kristall
- ◯ Eine durchsichtige, kugelförmige und hohle Hülle aus dünnem Glas
- ◯ Eine durchsichtige und kuppelförmige Hülle aus Kunststoff



Grafik: Ingo Mennerich

GRUNDVERSUCHE

Schließe die LED an eine **Gleichspannungsquelle** von **höchstens 4 Volt**.
►Gleichspannung bzw. Gleichstrom heißt: Die Elektronen fließen von "-" nach "+")
Achte auf die richtige Polung (Rot ist "+" und Schwarz bzw. Blau ist "-")

Was geschieht?

◯ Die LED leuchtet
◯ Die LED leuchtet nicht

Tausche die Anschlüsse! Was geschieht?

◯ Die LED leuchtet
◯ Die LED leuchtet nicht
◯ Die LED leuchtet schwächer
◯ Die LED leuchtet heller

Schließe die LED an eine **Wechselspannungsquelle** von **höchstens 4 Volt**.
►Wechselspannung bzw. Wechselstrom heißt: Die Elektronen fließen abwechselnd in die eine und die andere Richtung, "+" und "-" wechseln also ständig ab.

Achtung: Sperrspannung maximal 5 Volt!

Was geschieht?

- ◯ Die LED leuchtet normal
- ◯ Die LED leuchtet, geht aber im schnellen Takt an und aus
- ◯ Die LED leuchtet nicht

Tausche die Anschlüsse! Was geschieht?

- ◯ Die LED leuchtet normal
- ◯ Die LED leuchtet, geht aber im schnellen Takt an und aus
- ◯ Die LED leuchtet nicht

Warum ist das so?

- ◯ Bei Wechselstrom fließen die Elektronen gleichzeitig in beide Richtungen
- ◯ Bei Wechselstrom fließen die Elektronen abwechselnd in beide Richtungen
- ◯ Bei Wechselstrom fließen die Elektronen mit kurzen Unterbrechungen

SPANNUNG UND STROM

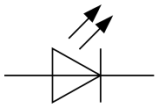
SPANNUNG

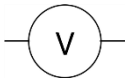
Schließe die LED an eine **Gleichspannungsquelle** von **höchstens 4 Volt**.
►Gleichspannung bzw. Gleichstrom heißt: Die Elektronen fließen von "-" nach "+")
Achte auf die richtige Polung (Rot ist "+" und Schwarz bzw. Blau ist "-")

Schließe ein Multimeter zur Messung der Spannung an.

Zeichne eine Schaltskizze. Benutze dazu die beiden Symbole.

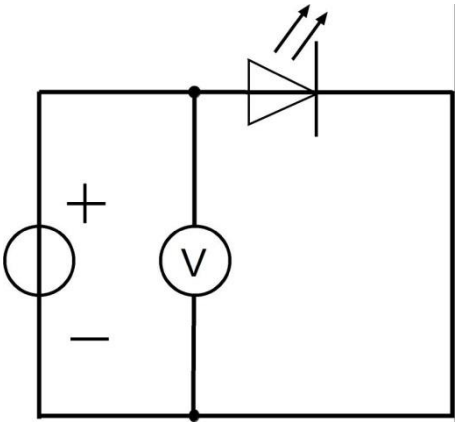
SPANNUNGSQUELLE


LED



SPANNUNGSMESSGERÄT (Multimeter)

Schaltskizze Spannungsmessung an der LED



Grafik: Ingo Mennerich

Stelle die Spannungsquelle auf 0 Volt ein und erhöhe die Spannung ganz langsam (!).
►Die Spannung darf 4 Volt nicht überschreiten!
Notiere bei welcher Spannung die LED zu leuchten beginnt. Das ist die **Schwellenspannung**.
Notiere bei welcher Spannung die LED am hellsten leuchtet. Das ist die **Flussspannung**.

Vergleiche LEDs mit den Farben Rot, Grün und Blau

Farbe	Schwellenspannung	Flussspannung
ROT		
GRÜN		
BLAU		

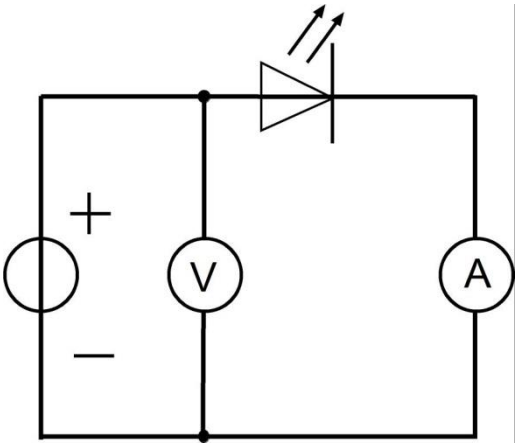
INFO:
Blaues Licht enthält mehr Energie als rotes Licht. Um blaues Licht zu erzeugen eine höhere Spannung gebraucht als zur Erzeugung von rotem Licht.

STROM

Schließe die LED an eine **Gleichspannungsquelle** von **höchstens 4 Volt**.
►Gleichspannung bzw. Gleichstrom heißt: Die Elektronen fließen von "-" nach "+")
Achte auf die richtige Polung (Rot ist "+" und Schwarz bzw. Blau ist "-")

Schließe zwei Multimeter zur Messung der Spannung und des Stroms an.

Stelle die Spannungsquelle auf 0 Volt ein und erhöhe die Spannung ganz langsam (!).
►Die Spannung darf 4 Volt nicht überschreiten!



Grafik: Ingo Mennerich

Notiere die Spannung und den Strom!

Berechne die elektrische Leistung der LED

Spannung (Volt) x Strom (Ampere) = _____ Leistung (Watt)

Vergleiche die Leistung einer LED mit einer Glühlampe und einer Energiesparleuchte!

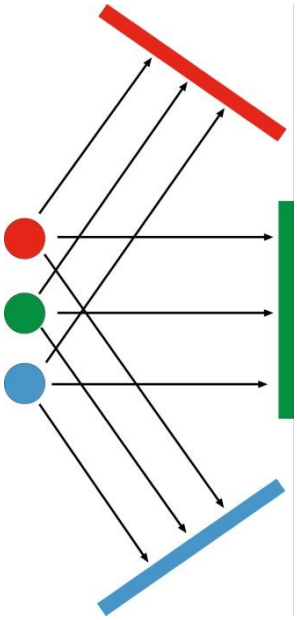
Setze dich dafür auf das "Muskelkraftwerk" (Energie-Fahrrad).

Vergleiche auch die Helligkeit der Leuchten!

FARBIGE LEDs

Schließe eine rote, eine grüne und eine blaue Leuchtdiode an drei Gleichstromquellen mit **höchstens 4 Volt**.

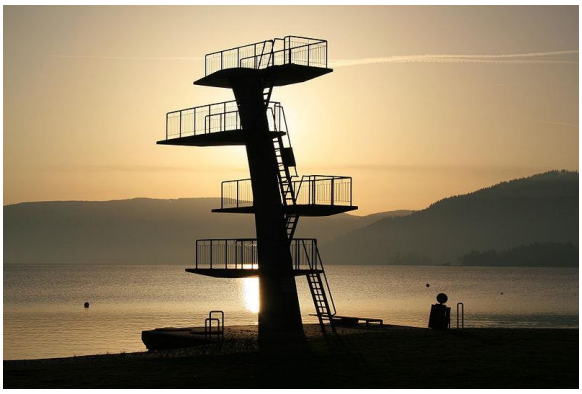
Betrachte sie durch rote, grüne und blaue Farbfilter



Was stellst du fest?

- ◯ Die rote LED ist nur durch den roten Filter zu sehen
- ◯ Die grüne LED ist nur durch den grünen Filter zu sehen
- ◯ Die blaue LED ist nur durch den blauen Filter zu sehen
- ◯ Wenn man alle Filter aufeinanderlegt sind alle drei LEDs zu sehen
- ◯ Wenn man alle Filter aufeinanderlegt ist keine LED zu sehen

TURMSPRINGEN: EINER, DREIER ODER ZEHNER?



Traust du dich vom Ein-Meter-Brett ins Wasser zu springen? Oder vom Dreier? Oder vom Zehner?
Je höher der Turm desto kräftiger ist der Aufschlag ins Wasser.

Aber zunächst muss man auf das Brett hinaufklettern. Beim Einer ist die Leiter kurz, beim Dreier schon erheblich länger und die Treppe des Zehners ist schon etwas für Schwindelfreie.

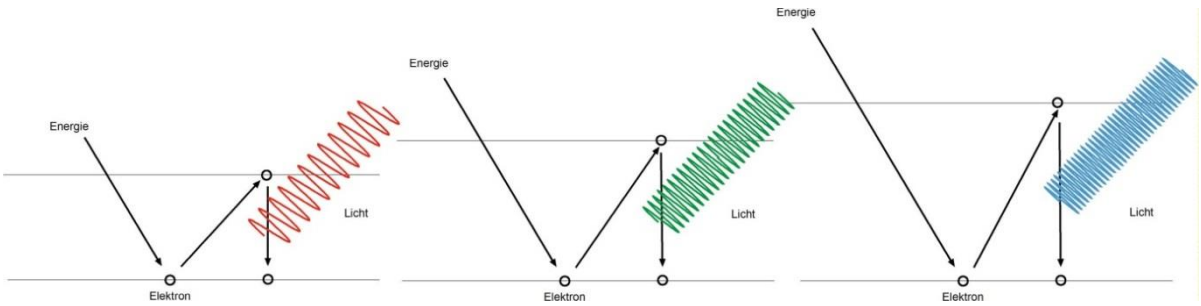
Je höher man hinauf steigt, desto mehr Energie braucht man.
Je höher man abspringt desto größer die Energie mit der man ins Wasser taucht.
Je höher der Sprungturm, desto tiefer muss das Becken sein.

In einer Leuchtdiode "springen" sehr viele winzige Elektronen von "oben" nach "unten".
Oben ist hier "Minus", unten "Plus".
Die Elektronen "springen" nicht freiwillig sondern werden von der elektrischen Spannung über "die Kante" geschubst". Beim "Fall" geben sie Energie in Form von Licht ab.

Je größer der "Höhenunterschied" zwischen "oben" und "unten" desto energiereicher ist das Licht.
Ist der "Höhenunterschied" klein entsteht rotes Licht, ist er etwas größer entsteht grünes Licht. Das blaue Licht entsteht bei sehr großem "Höhenunterschied".
Rotes Licht enthält deshalb weniger Energie als grünes und grünes Licht weniger Energie als blaues.

Man kann nicht vom Zehner springen wenn es im Schwimmbad nur einen Einer gibt.
Bei Leuchtdioden ist das genauso: Eine rote LED wird nie blau leuchten.
Rote, grüne und blaue LEDs enthalten unterschiedliche Materialien.
Und sie brauchen unterschiedlich hohe Spannungen, die roten weniger, die grünen mehr und die blauen noch mehr.
Eine Leuchtdiode zu erklären ist schwierig. Man kann nicht sehen, wie das Licht entsteht.
Noch schwieriger ist es zu erklären, wie die verschiedenen Farben der LEDs entstehen.

Aber man kann sich merken:
Eine rote LED entspricht dem "Einer", die grüne LED dem "Dreier" und die blaue dem "Zehner"…

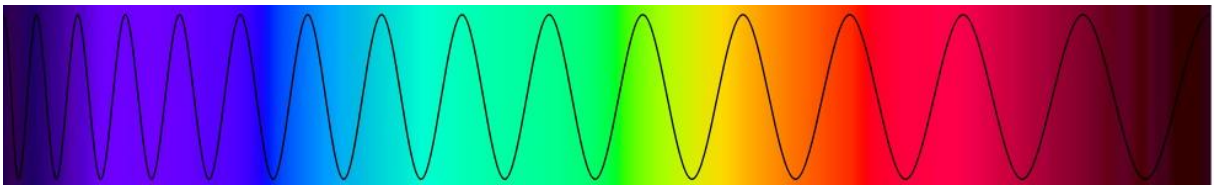


"SPRUNGHÖHE"* DER ELEKTRONEN UND LED-FARBE

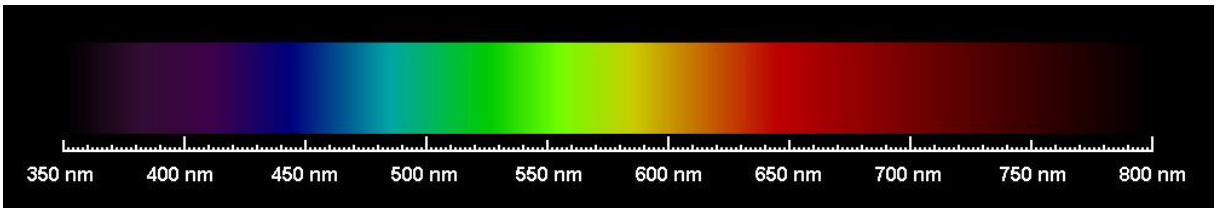
*) Die "Sprunghöhe" heißt physikalisch richtig "Bandlücke". Sie wird in eV (Elektronenvolt) gemessen.

INFO
1 eV ist etwa 1,6 * 10^{-19} J = 0,000.000.000.000.000.000.016 Joule
Das ist die Energie, die ein Elektron mit der Elementarladung 1,6 * 10^{-19} Coulomb (C) aufnimmt, wenn es durch eine Spannung von 1 Volt beschleunigt wird. (1 V = 1 J / C).
1 Coulomb (C) entspricht einem Stromfluss von 1 Ampere pro Sekunde (1 C = 1 A * 1 s)

Zwischen der Farbe der LED und der Bandlücke ("Sprunghöhe") gibt es einen Zusammenhang:
Je größer die Bandlücke, desto kurzwelliger und energiereicher ist das ausgesandte Licht.



Miss die Wellenlänge des Lichts bei diesen LEDs.
Benutze dazu das Spektroskop und die folgende Abbildung!

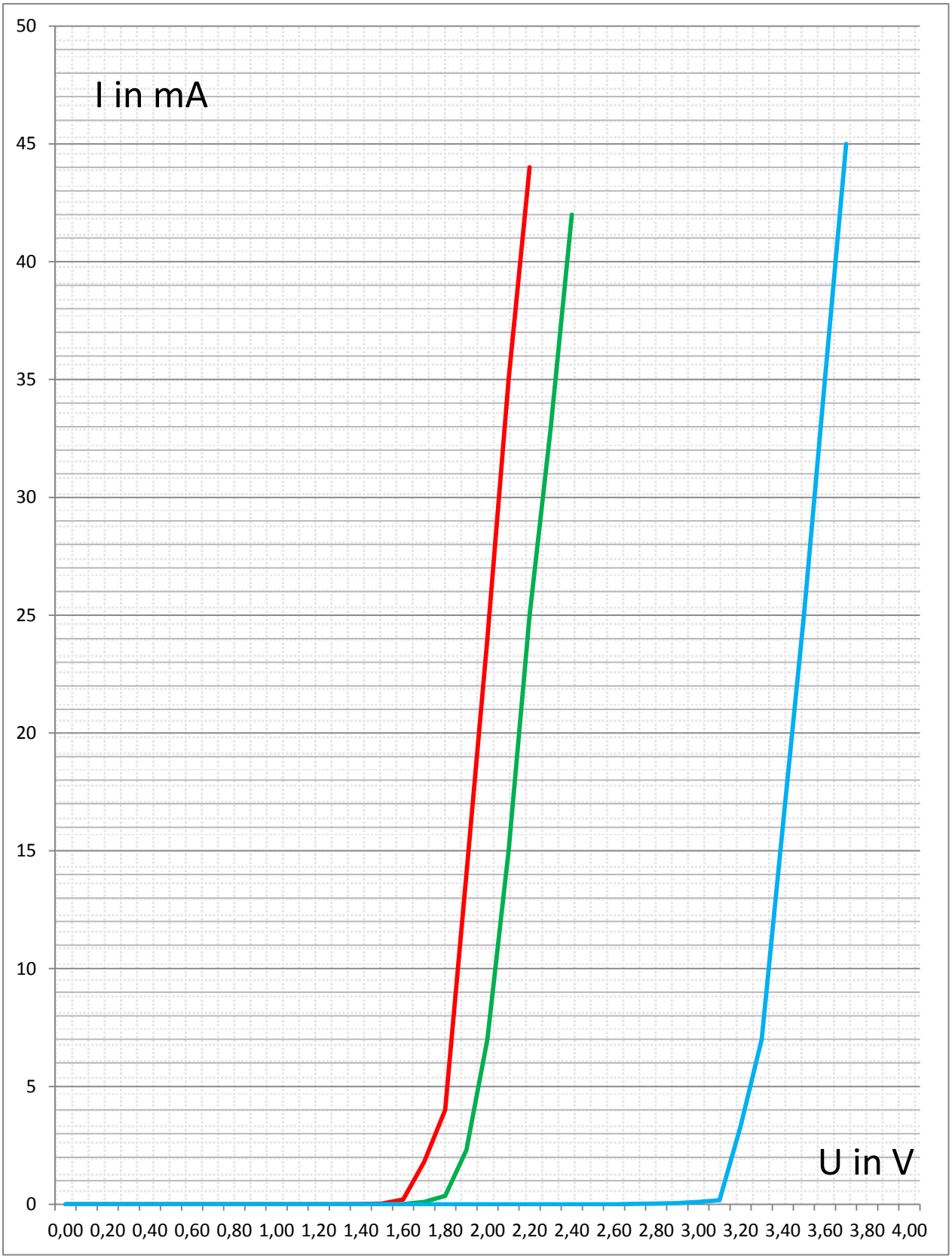


LED	Wellenlänge λ in Nanometern (nm)	Bandlücke ("Sprunghöhe") in Elektronenvolt eV = 1240 / λ
ROT	~ 650	~ 1,91
ORANGE	~ 610	~ 2,03
GELB	~ 585	~ 2,12
GRÜN	~ 565	~ 2,19
BLAU	~ 470	~ 2,64

KENNLINIEN SPANNUNG UND STROM

Wiederhole das Experiment mit der grünen und der blauen LED.

ROTE LED		GRÜNE LED		BLAUE LED	
SPANNUNG	STROM	SPANNUNG	STROM	SPANNUNG	STROM
0,0 V	mA	0,0 V	mA	0,0 V	mA
0,2 V	mA	0,2 V	mA	0,2 V	mA
0,4 V	mA	0,4 V	mA	0,4 V	mA
0,6 V	mA	0,6 V	mA	0,6 V	mA
0,8 V	mA	0,8 V	mA	0,8 V	mA
1,0 V	mA	1,0 V	mA	1,0 V	mA
1,2 V	mA	1,2 V	mA	1,2 V	mA
1,4 V	mA	1,4 V	mA	1,4 V	mA
1,6 V	mA	1,6 V	mA	1,6 V	mA
1,8 V	mA	1,8 V	mA	1,8 V	mA
2,0 V	mA	2,0 V	mA	2,0 V	mA
2,2 V	mA	2,2 V	mA	2,2 V	mA
2,4 V	mA	2,4 V	mA	2,4 V	mA
2,6 V	mA	2,6 V	mA	2,6 V	mA
2,8 V	mA	2,8 V	mA	2,8 V	mA
3,0 V	mA	3,0 V	mA	3,0 V	mA
3,2 V	mA	3,2 V	mA	3,2 V	mA
3,4 V	mA	3,4 V	mA	3,4 V	mA
3,6 V	mA	3,6 V	mA	3,6 V	mA
3,8 V	mA	3,8 V	mA	3,8 V	mA



Grafik: EXCEL, Ingo Mennerich

VORWIDERSTAND

Schließe die LED an eine **Gleichspannungsquelle**.
►Gleichspannung bzw. Gleichstrom heißt: Die Elektronen fließen von "-" nach "+")
Achte auf die richtige Polung (Rot ist "+" und Schwarz bzw. Blau ist "-")

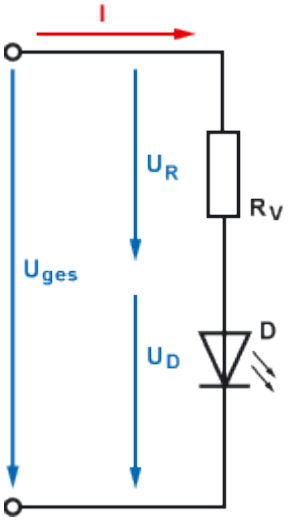
Erhöhe die Spannung, ausgehend von 0 V langsam und notiere die Schwellenspannung und die Flussspannung

Fühle mit den Fingern ob die LED warm wird.

Erhöhe die Spannung über die Flussspannung hinaus und beobachte dabei die LED.

Notiere die Spannung bei der die LED "durchbrennt".

Schließe die LED an eine **Gleichspannungsquelle**.
Schütze die LED mit einem Vorwiderstand von 100 Ω (Ohm)



Grafik: Ingo Mennerich

Der Vorwiderstand und LED sind in Reihe geschaltet. Die Spannung U wird dadurch geteilt ($U_R + U_D$)
Dadurch wird die LED vor zu hohen Spannungen geschützt.

Beobachte was geschieht, wenn du die Spannung der Stromquelle erhöhst!

FARBENMIX

Schließe eine rote, eine grüne und eine blaue Leuchtdiode an frei regelbare Gleichstromquellen.

Lasse die drei LEDs unterschiedlich hell leuchten und versuche die Farben zu mischen.

Dabei entstehen Komplementärfarben: Gelb, Magenta und Cyan

Rot und Grün ergibt _____

Rot und Blau ergibt _____

Grün und Blau ergibt _____

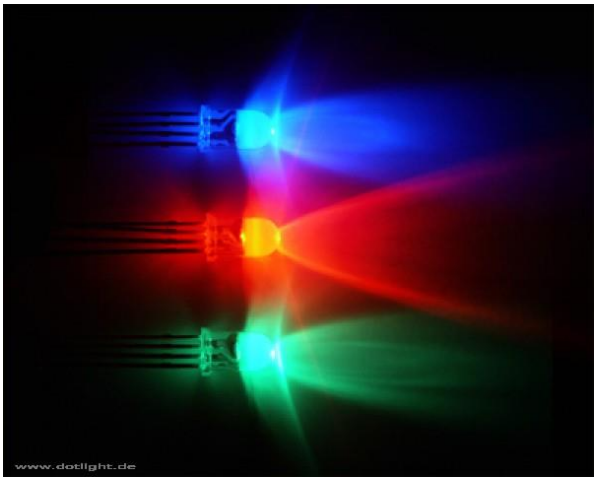
Lassen sich LEDs überhaupt dimmen?

Was kann man tun, um LEDs unterschiedlich hell leuchten zu lassen? (Filter)

Parallel dazu aufgebaut:
Versuch "Licht und Farbe" (additive Farbmischung)

WEISSES LICHT

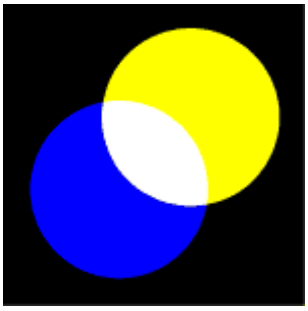
Schließe eine rote, eine grüne und eine blaue Leuchtdiode an frei regelbare Gleichstromquellen.



Versuche, mit den drei LEDs weißes Licht zu erzeugen!

Parallel dazu aufgebaut:
Versuch "Licht und Farbe" (additive Farbmischung)

Versuche mit anderen farbigen LEDs weißes Licht zu erzeugen!



UV-LEDs (Ultraviolett)

Schließe die UV-LED an eine **Gleichspannungsquelle** von **höchstens 4 Volt**.
Achte auf die richtige Polung (Rot ist "+" und Schwarz bzw. Blau ist "-")

Was geschieht?

◯ Die LED leuchtet nicht
◯ Die LED ist defekt
◯ Die LED leuchtet, ihr Licht ist für unsere Augen aber unsichtbar

Schreibe mit einem Textmarker deinen Namen.
Richte die LED auf den Text! Was geschieht?

◯ Es keine besondere Reaktion zu beobachten
◯ Der Text leuchtet hell, der Texthintergrund ist dunkel
◯ Der Text ist dunkel, der Texthintergrund leuchtet hell

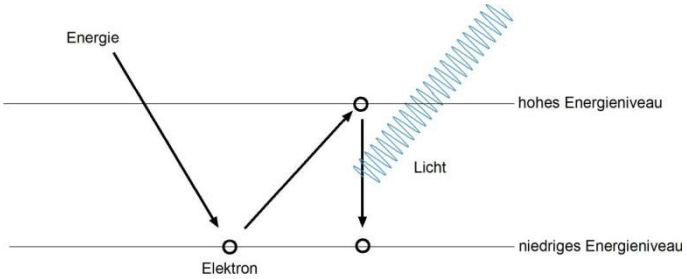
Richte die LED auf das mit braunroter Fluorescin-Lösung gefüllte Glas.
Was geschieht?

◯ Die Fluorescin-Lösung leuchtet hell rot auf
◯ Es keine besondere Reaktion zu beobachten
◯ Die Fluorescin-Lösung leuchtet hell grün auf

Richte die LED auf das mit grüner Chlorophyll-Lösung gefüllte Glas.
Was geschieht?

◯ Es keine besondere Reaktion zu beobachten
◯ Die Chlorophyll-Lösung leuchtet rot auf
◯ Die Chlorophyll-Lösung leuchtet grün auf

INFO:
Bei beiden Versuchen geht es um "Fluoreszenz". Beide Stoffe enthalten Elektronen die durch die im Licht enthaltene Energie "angeregt" werden können. "Anregung" heißt: Die von der unsichtbaren, aber energiereiche UV-Strahlung getroffenen Elektronen werden auf ein höheres Energieniveau gehoben und fallen sofort zurück auf ihr ursprüngliches Niveau. Beim "Herunterfallen" geben sie die Energiedifferenz in Form von Licht ab.



Grafik: Ingo Mennerich

IR-LEDs (Infrarot)

Schließe die Infrarot-LED an eine **Gleichspannungsquelle** von **höchstens 1Volt**.
Achte auf die richtige Polung (Rot ist "+" und Schwarz bzw. Blau ist "-")

Was geschieht?

◯ Die LED leuchtet nicht
◯ Die LED ist defekt
◯ Die LED leuchtet, ihr Licht ist für unsere Augen aber unsichtbar

Schreibe mit einem Textmarker deinen Namen.
Richte die LED auf den Text! Was geschieht?

◯ Es keine besondere Reaktion zu beobachten
◯ Der Text leuchtet hell, der Texthintergrund ist dunkel
◯ Der Text ist dunkel, der Texthintergrund leuchtet hell

Halte ein Thermometer vor die LED
Richte die LED auf den Text! Was geschieht?

◯ Es keine besondere Reaktion zu beobachten
◯ Die Temperatur sinkt
◯ Die Temperatur steigt