

Fachdidaktik Physik: 2.1.6. Elektronik in 9

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Gliederung	2
2	Homogene Halbleiter	5
3	Dotierte Halbleiter	9
4	Anwendungen von Transistoren	13
5	Aufgaben	27
6	Zusammenfassung	27

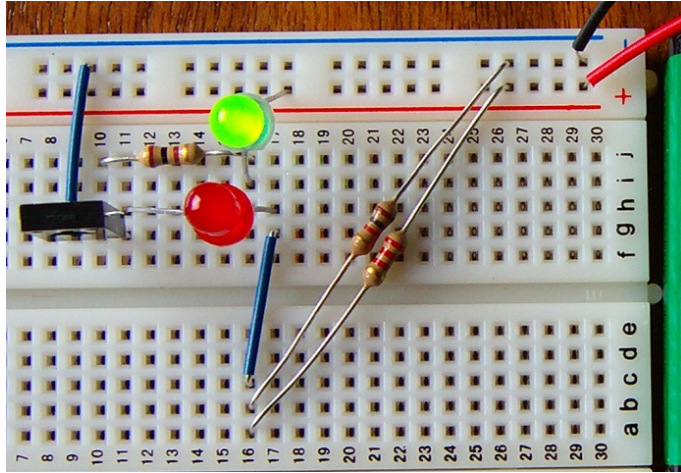


Abbildung 1: Diese einfache kleine Low-Cost-Schaltung symbolisiert die digitale Revolution: Der Transistor wird durch einen kleinen Strom durch die rote LED eingeschaltet und schaltet damit einen großen Strom durch die grüne LED. In einem modernen PC können sich Milliarden solcher kleiner Schalter befinden, die sich entsprechend der Software gegenseitig betätigen. Die SuS können diese Schaltung im Schülerexperiment aufbauen sowie erkunden und so die Grundlage der digitalen Revolution experimentell entdecken.

1 Einleitung

Der Halbleiter hat die digitale Revolution ausgelöst, die bis heute anhält und somit für die SuS sehr bedeutsam ist. Daher gibt es in diesem Gebiet besonders viele lebensweltliche Anwendungen. Ferner bietet dieses Thema viele Gelegenheiten für Low-Cost-Schülerexperimente mit einigen überraschenden Entdeckungen (Carmesin u. a. (2015)).

1.1 Gliederung

Das Curriculum kommt bei dieser Unterrichtseinheit mit relativ wenig Text aus. Aber die geforderten Kompetenzen erfordern dennoch relativ viele Unterrichtsstunden, da die Inhalte für die SuS großenteils sehr neuartig sind und weil aufwändige Modelle entwickelt werden müssen.

Die Thematik legt *drei Unterrichtssequenzen* nahe: In einer grundlegenden Sequenz werden homogene Halbleiter eingeführt und mit dem Modell zweier getrennter Energiebereiche gedeutet. In einer darauf aufbauenden Sequenz werden dotierte Halbleiter behandelt. Damit die SuS die wesentlichen Bedeutungen für die Technik benennen können, befassen sie sich in der abschließenden Sequenz auch mit dem Transistor. Denn dieser ist die Grundlage der digitalen Revolution.

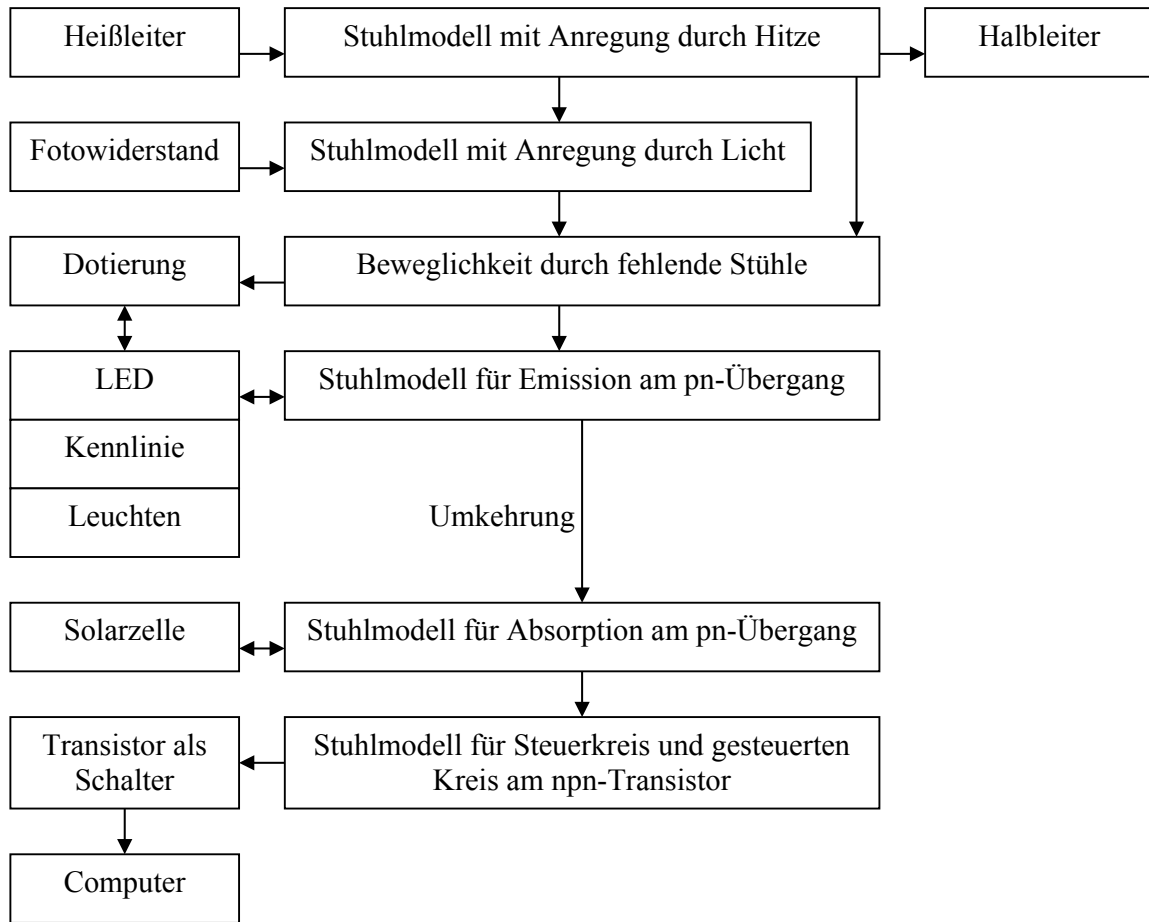
Die drei Sequenzen stellen eine deutliche Progression dar. Diese wird durch verschiedene aussagekräftige Versuche und ein fortlaufend weiterentwickeltes vorhersagekräftiges einheitliches Modell vorangetrieben. Das Modell wird für die SuS durch Stühle konkretisiert sowie handhabbar gemacht und daher *Stuhlmodell* genannt. Die Einführung und Weiterentwicklung

des Modells ist in den Kurzentwürfe zur Deutung des Heißleiters, zur Entdeckung der Dotierung, zur Deutung der LED, zur Entdeckung der Spannungserzeugung mit einer LED sowie zur Einführung des Transistors dargestellt.

Sequenz	Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
Homogene Halbleiter	... beschreiben das unterschiedliche Leitungsverhalten von Leitern und Halbleitern mit geeigneten Modellen.	... führen Experimente zur Leitfähigkeit von dotierten Leitern durch (LDR: light dependent resistor, Fotowiderstand; NTC: negative temperature coefficient, Heißleiter). Bezüge zu Chemie
Dotierte Halbleiter	... beschreiben die Vorgänge am pn-Übergang mit Hilfe geeigneter energetischer Betrachtungen. ... erläutern die Vorgänge in Leuchtdioden und Solarzellen energetisch.	... nehmen die Kennlinie einer Leuchtdiode auf. ... beschreiben den Aufbau und die Wirkungsweise von Leuchtdiode und Solarzelle.
Anwendungen von Transistoren		... benennen die Bedeutung der Halbleiter für moderne Technik.

Tabelle 1: Curriculum zur Unterrichtssequenz Halbleiter (s. Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015)).

Lernstruktur zur UE Halbleiter



2 Homogene Halbleiter

An dem gemäß dem Kerncurriculum zu behandelnden Heißleiter können die SuS gut den Halbleiter entdecken. Dabei bietet sich der Thermoschalter an, weil er in der Lebenswelt der SuS vielfältig vorkommt und von den SuS selbstständig experimentell untersucht werden kann. Die im Kerncurriculum vorgesehene Modellierung des Halbleiters kann auch am Beispiel Heißleiter entwickelt werden. Das Experiment zeigt, dass Hitze die Elektronen beweglich macht. Das wird besonders einfach so gedeutet, dass die Elektronen zwei Zustände haben, beweglich und festsetzend. Das Festsitzen wird als ein Festsitzen am Atom gedeutet. Das Ablösen erfolgt durch die innere Energie der Hitze. So wird der Heißleiter bereits energetisch modelliert. Das bereitet die im Kerncurriculum geforderte energetische Modellierung dotierter Halbleiter vor.

In analoger Weise wird anschließend der im KC vorgesehene Fotowiderstand behandelt. Das ist sinnvoll, damit die SuS eine Untergeneralisierung vermeiden und das neue Konzept nachhaltig festigen. Zur Einführung homogener Halbleiter schlage ich die in der Tabelle dargestellte Stundensequenz vor.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Entdeckung des Heißleiters am Beispiel eines Thermoschalters	Die SuS sollen Heißleiter experimentell nachweisen können.
2	Deutung des Heißleiters durch festsetzende und bewegliche Elektronen	Die SuS sollen den Heißleiter mit Hilfe von energiereichen beweglichen und energiearmen festsetzenden Elektronen deuten können.
3	Entdecken des Fotowiderstands am Beispiel Dämmerungsschalter	Die SuS sollen Fotowiderstände experimentell nachweisen können.
4	Deutung des Fotowiderstands durch Halbleiter	Die SuS sollen den Fotowiderstand mit Hilfe des Halbleiters deuten können.

Tabelle 2: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz homogene Halbleiter.

Für die beiden grundlegenden Stunden präsentiere ich Kurzentwürfe. Diese können analog auf die entsprechenden Stunden zum Fotowiderstand übertragen werden.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH9f2

Thema der Unterrichtssequenz: Homogene Halbleiter

Entdeckung des Heißleiters am Beispiel eines Thermoschalters

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen Heißleiter experimentell nachweisen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Ohmsches Gesetz	Erläutern, Anwenden
LV: Widerstand wächst mit Temperatur	Nennen, Erläutern
LV: Relais	Erläutern, Anwenden
TLZ: Schaltskizze	Untersuchen
TLZ: Temperaturabhängigkeit	Messen
TLZ: Heißleiter	Erläutern

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
4	<u>Einstieg:</u> Einstiegsfolie	Beschreiben	LSG
6	<u>Problemstellung:</u> s. TA	Leitfrage entwickeln	LSG
9	<u>Analyse 1:</u> Ideen	Vermuten	MuG
12	<u>Analyse 2:</u> Versuch, Schaltskizze (OHP)	Beschreiben, DE	LSG
15	<u>Analyse 3:</u> kognitiver Konflikt	Folgern	SSG
35	<u>Lösung:</u> R sinkt mit Temperatur	SE	GA
45	<u>Sicherung:</u> Heißleiter	Ergebnisformulierung, Reflexion, Rückkopplung	SV

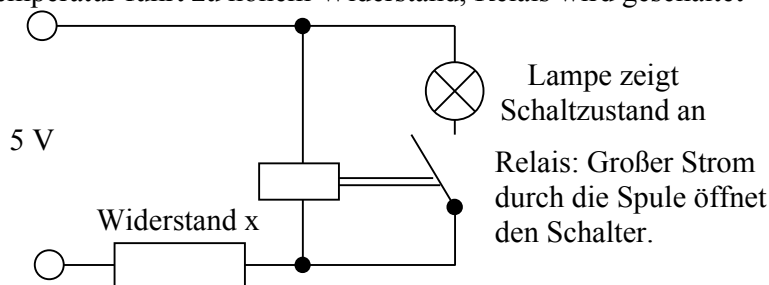


Bei hoher Temperatur wird der Strom abgeschaltet.

Geplanter TA

Wie könnte der Steckerthermoschalter funktionieren?

Ideen: Hohe Temperatur führt zu hohem Widerstand, Relais wird geschaltet



Beobachtung: Beim Erhitzen wird der Schalter geöffnet.

Problem: Bei hoher Temperatur wäre R groß, I klein und der Schalter geschlossen.

Vermutung: Dieser Widerstand nimmt bei steigender Temperatur ab.

Kontrollversuch: Widerstandsmessungen

Ergebnis: Dieser Widerstand nimmt mit steigender Temperatur ab.

Infos: Materialien, bei denen der Widerstand mit steigender Temperatur abnimmt, nennt man Heißleiter. Beispiele sind Graphit, Silizium und Germanium

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH9f2

Thema der Unterrichtssequenz: Homogene Halbleiter

Entdeckung des Halbleiters am Beispiel eines Thermoschalters

Deutung des Halbleiters durch festsitzende und bewegliche Elektronen

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen den Halbleiter mit Hilfe von energiereichen beweglichen und energiearmen festsitzenden Elektronen deuten können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Elektron	Erläutern
LV: Halbleiter, Leiter, Nichtleiter	Erläutern
LV: Bewegliche Elektronen führen zu Leitfähigkeit	Erläutern
LV: Bei heißen Körpern ist innere Energie vorhanden.	Erläutern
TLZ: Festsitzende Elektronen führen nicht zu Leitfähigkeit	Erläutern
TLZ: Energie kann festsitzende Elektronen beweglich machen	Erläutern
TLZ: Halbleiter	Deuten

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Aufgebend erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
4	<u>Einstieg:</u> Wiederholung Halbleiter	Erläutern	LSG
9	<u>Stundenfrage:</u> s. TA	Leitfrage entwickeln, Ideen	LSG
30	<u>Erarbeitung:</u> Deutung	AB 1 bearbeiten	PA
40	<u>Sicherung:</u> s. TA	Ergebnis, Reflexion	SV
45	<u>Konsolidierung:</u> AB 2	Bearbeiten, evtl. HA	EA

Geplanter TA

Warum leitet der Halbleiter bei Hitze besonders gut?

Ideen: Elektronen bewegen sich gut, wenn es heiß ist.

Deutung:

Im Material haben manche Elektronen wenig Energie und sitzen am Atom fest, während andere Elektronen viel Energie haben und beweglich sind.

- Im Leiter sind viele Elektronen energiereich und beweglich.
- Im Nichtleiter sind kaum Elektronen energiereich und beweglich.
- Im Halbleiter sind bei niedriger Temperatur wenig Elektronen energiereich und beweglich, während bei hoher Temperatur viele energiereich und beweglich sind. Daher leitet der Halbleiter bei hoher Temperatur gut.

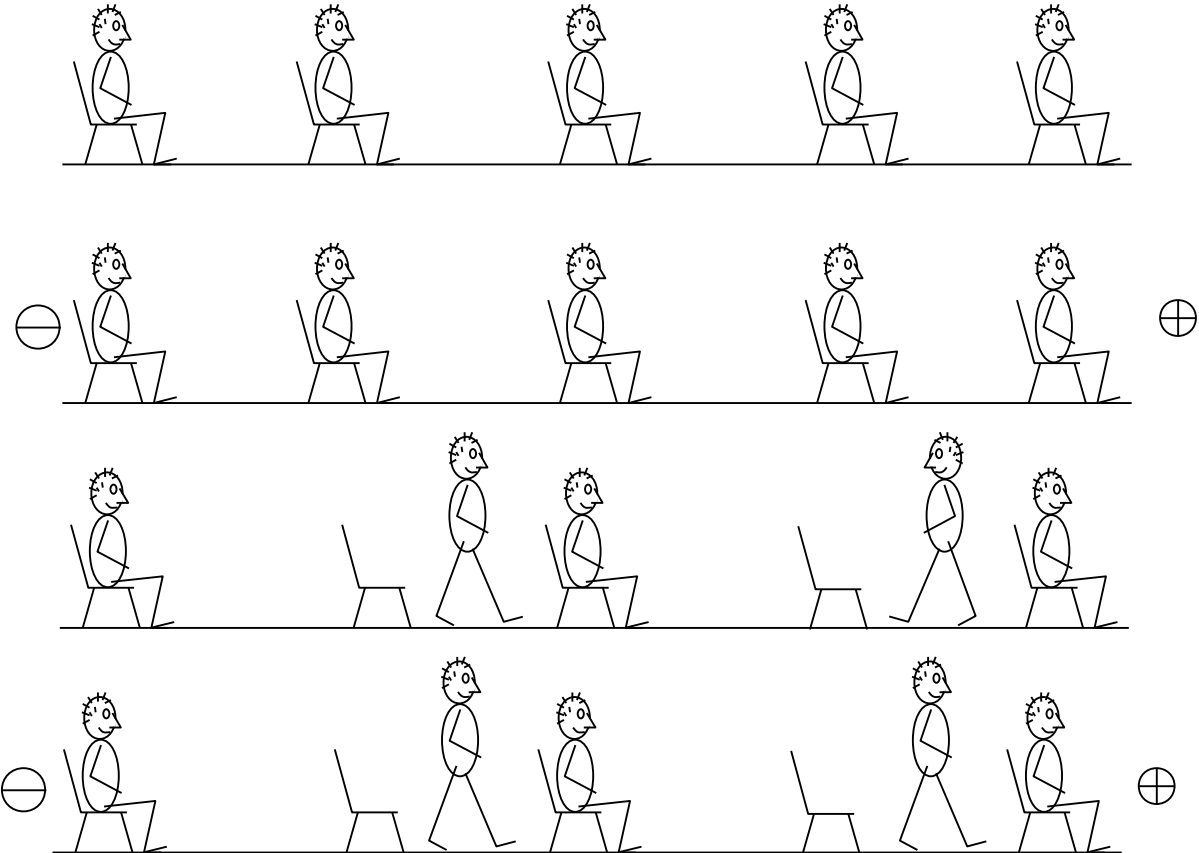
Bezeichnungen:

- Solche Halbleiter nennt man auch Halbleiter.
- Man sagt, festsitzende Elektronen sind im Valenzband und bewegliche sind im Leitungsband.

Deutung des Heißeleiters

1) Ordne jedem Bild einen der vier Sätze zu!

Im warmen Heißeleiter sitzen einige Elektronen nicht fest, sondern sind beweglich.
 Selbst wenn man eine Spannung an einen kalten Heißeleiter anlegt, sitzen die Elektronen fest.
 Liegt eine Spannung am warmen Heißeleiter, so bewegen sich die Elektronen gemeinsam.
 In einem kalten Heißeleiter sitzen die Elektronen an Atomen fest wie Menschen auf Stühlen.



2) Ordne die sechs Wörter den Lücken zu!

Festsitzende, wenig, gemacht, viel, bewegliche, Hitze

Festsitzende Elektronen haben Energie. Bewegliche Elektronen haben Energie. Im Leiter gibt es viele Elektronen. Im Nichtleiter gibt es praktisch nur Elektronen. Bei Heißeleitern können festsitzende Elektronen durch Energie erhalten und so beweglich werden.

3) Deute den Heißeleiter mit dem Modell der festsitzenden oder beweglichen Elektronen.

3 Dotierte Halbleiter

Prinzip der Dotierung: In dem oben dargestellten Stuhlmodell bewegen sich die Elektronen, die nicht auf einem Stuhl sitzen. Beim Halbleiter gewinnt man nicht feststehende Elektronen durch Energie. Einfacher ist es, einige Stühle wegzunehmen. Auf diese Idee können die SuS selbst kommen. Das ist die Idee der Dotierung. So können die SuS relativ selbstständig Vermutungen zur Dotierung entwickeln. Diese werden mit Hilfe von Versuchsergebnissen überprüft.

Prinzip der Emission am pn-Übergang: Auch bei der Deutung der Vorgänge am pn-Übergang sind die SuS durch das Stuhlmodell sehr kompetent und eigenständig.

Prinzip der Absorption am pn-Übergang: Die Absorption am pn-Übergang können die SuS als Umkehrung der LED entwickeln. Insgesamt schlage ich die in der Tabelle dargestellte Stundenfolge vor und präsentiere für die drei grundlegenden Stunden Kurzentwürfe.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Entdeckung der Leitfähigkeit in dotierten Halbleitern	Die SuS sollen die Leitfähigkeit durch Dotierung erklären können.
2	Entdeckung der Kennlinie einer LED am Beispiel der Taschenlampe	Die SuS sollen die Kennlinie der LED experimentell bestimmen können.
3	Deutung der LED durch einen pn-Übergang	Die SuS sollen die LED mit Hilfe des pn-Übergangs deuten können.
4	Entdeckung der Spannungserzeugung mit einer LED	Die SuS sollen mit einer LED eine Spannung erzeugen können.
5	Anwendungen der Solarzelle	Die SuS sollen Anwendungen der Solarzelle energetisch quantitativ analysieren können.

Tabelle 3: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz dotierte Halbleiter.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH9f2

Thema der Unterrichtssequenz: Dotierte Halbleiter**Entdeckung der Leitfähigkeit durch Dotierung****Didaktik:** SLZ: Die SuS sollen die Leitfähigkeit durch Dotierung erklären können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Heißeleiter, Leiter, Nichtleiter	Erläutern, Deuten
TLZ: Zu wenig oder zu viele Plätze zum Festsitzen	Erläutern
TLZ: Löcherleitung und Elektronenleitung	Erläutern, Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
8	<u>Einstieg:</u> Wiederholung Heißeleiter	Erläutern, Deuten	LSG
10	<u>Problemstellung:</u> s. TA	Leitfrage entwickeln	LSG
20	<u>Analyse:</u> Ideen, Info1	Entwickeln	MuG
35	<u>Lösung:</u> Daten, Stuhlmodell, Info2	Vermuten, Modellieren, dann Info2 anwenden und folgern	GA
40	<u>Sicherung:</u> s. TA	Ergebnis, Reflexion	SV
45	<u>Konsolidierung:</u> AB	Bearbeiten, evtl. HA	EA

Geplanter TA

Wie kann man Halbleiter ohne Hitze leitfähig machen?Ideen: Festsitzende Elektronen vermeiden. Stühle wegnehmen, Stühle ergänzenInfo1: Im Siliziumkristall hat jedes Atom außen Platz für vier Elektronen.

Ein Siliziumatom hat außen vier Elektronen, ein Boratom drei und ein Phosphoratom fünf.

Kontrollversuche:

- Schülermodell zu viel Stühlen
- Schülermodell zu wenig Stühlen
- Siliziumkristall mit Phosphorbeimischung
- Siliziumkristall mit Borbeimischung

Vermutung: Ein Phosphoratom im Siliziumkristall hat ein Elektron zu viel. Dieses hat im Kristall keinen Platz und ist daher beweglich. Wird einem Siliziumkristall Phosphor beigemischt, so sollte der Widerstand sinken.Ergebnis: Wird einem Siliziumkristall Phosphor beigemischt, so sinkt der Widerstand.Bezeichnungen: Diese Leitfähigkeit heißt Elektronenleitung. Dieser Halbleiter heißt n-dotiert.Vermutung: Ein Boratom im Siliziumkristall hat ein Elektron zu wenig. Die Elektronen haben im Kristall freie Plätze und sind daher beweglich. Wird einem Siliziumkristall Bor beigemischt, so sollte der Widerstand sinken.Ergebnis: Wird einem Siliziumkristall Bor beigemischt, so sinkt der Widerstand.Bezeichnungen: Diese Leitfähigkeit heißt Löcherleitung. Dieser Halbleiter heißt p-dotiert.Info2: Dem Halbleiter Silizium wurden in einem Versuch Phosphoratombeimischungen beigemischt. Der spezifische Widerstand ρ in Ωcm wurde in Abhängigkeit von der Konzentration x in Anzahl der Atome pro cm^3 untersucht:

x in $1/\text{cm}^3$	10^{12}	10^{14}	10^{16}	10^{18}
ρ in Ωcm	150000	120	1,1	0,04

In einem weiteren Versuch wurden dem Silizium Boratome beigemischt. Der spezifische Widerstand wurde ebenso untersucht:

x in $1/\text{cm}^3$	10^{12}	10^{14}	10^{16}	10^{18}
ρ in Ωcm	6000	60	0,6	0,02

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH9f2

Thema der Unterrichtssequenz: Dotierte Halbleiter

Entdeckung der Leitfähigkeit durch Dotierung

Entdeckung der Kennlinie einer LED am Beispiel der Taschenlampe

Deutung der LED durch einen pn-Übergang

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die LED mit Hilfe des pn-Übergangs deuten können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Löcherleitung und Elektronenleitung	Erläutern
LV: Kennlinie und Leuchten der LED	Erläutern
TLZ: Spannung über Schwellenspannung → Elektron fließt in Durchlassrichtung → Elektron gibt am pn-Übergang Energie an Licht → Leuchten	Deuten
TLZ: Spannung gegen Durchlassrichtung → Elektronen sitzen fest → Stromfluss kaum möglich → ohne Stromfluss kein Leuchten	Deuten

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
10	<u>Einstieg:</u> Wiederholung Kennlinie, pn-Übergang	Erläutern	LSG
12	<u>Problemstellung:</u> s. TA	Leitfrage entwickeln	LSG
14	<u>Analyse:</u> Ideen	Entwickeln	MuG
35	<u>Lösung:</u> s. TA	Deuten, Stuhlmodell modellieren	GA
40	<u>Sicherung:</u> s. TA	Ergebnis, Reflexion	SV
45	<u>Konsolidierung:</u> AB	Bearbeiten, evtl. HA	EA

Geplanter TA

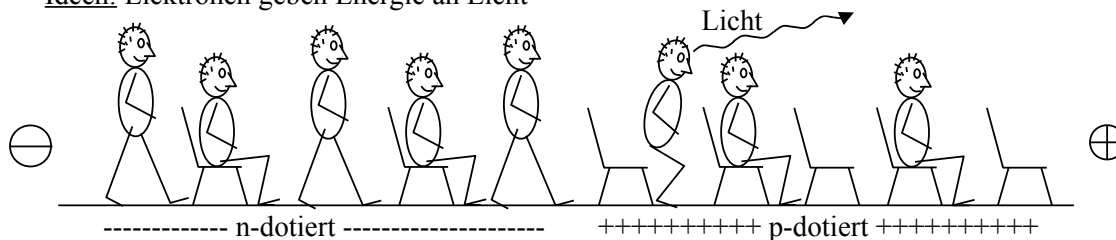
Verhalten der LED am pn-Übergang:

Ab einer Schwellenspannung fließt der Strom in Durchlassrichtung und die LED leuchtet.

Kein Strom fließt gegen die Durchlassrichtung.

Wie erzeugt der pn-Übergang das Verhalten der LED?

Ideen: Elektronen geben Energie an Licht



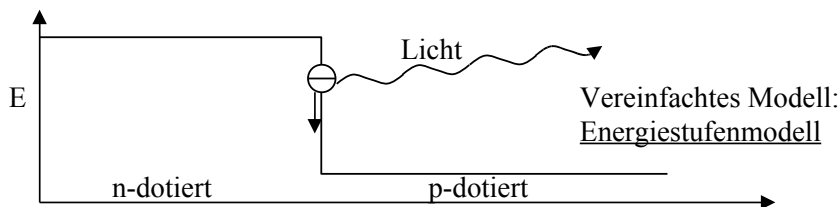
Deutung: In Durchlassrichtung fließen die Elektronen ab der Schwellenspannung.

Am pn-Übergang geben die Elektronen ihre Energie an das Licht ab, so leuchtet es.

Unterhalb der Schwellenspannung können die Elektronen nicht fließen, weil ihnen die Energie für das Licht fehlt.

Gegen die Durchlassrichtung fließen keine Elektronen, weil sie am pn-Übergang festsitzen.

Ohne Stromfluss wird keine Energie transportiert und die LED leuchtet nicht.



Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH9f2

Thema der Unterrichtssequenz: Dotierte Halbleiter

Entdeckung der Leitfähigkeit durch Dotierung

Entdeckung der Kennlinie einer LED am Beispiel der Taschenlampe

Deutung der LED durch einen pn-Übergang

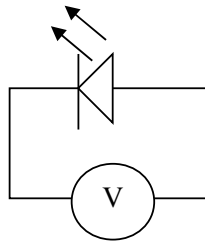
Entdeckung der Spannungserzeugung mit einer LED**Didaktik:** SLZ: Die SuS sollen mit einer LED eine Spannung erzeugen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: LED	Erläutern, Deuten
LV: Solarzelle	Erläutern
TLZ: Spannung an der beleuchteten LED	Nachweisen, Deuten
TLZ: Solarzelle	Erklären

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Solarzelle, DE	Beschreiben	LSG
7	<u>Problemstellung:</u> s. TA	Leitfrage entwickeln	LSG
12	<u>Analyse:</u> Ideen, Kontrollversuch	Entwickeln, Planen	MuG
35	<u>Lösung:</u> Kontrollversuch	SE	GA
40	<u>Sicherung:</u> s. TA	Ergebnis, Reflexion, Rückkopplung	SV
45	<u>Konsolidierung:</u> AB	Bearbeiten, evtl. HA	EA

Geplanter TA

Wie wandelt die Solarzelle Lichtenergie in elektrische Energie?Ideen: Der Vorgang an der LED wird umgekehrt.Vermutung: An der beleuchteten LED tritt eine elektrische Spannung auf.Kontrollversuch:Ergebnis: Zwischen den Enden der beleuchteten LED tritt eine elektrische Spannung auf.Deutung: Die Vorgänge am pn-Übergang sind umkehrbar.Anwendung: Die Solarzelle ist im Prinzip eine großflächige Leuchtdiode.

4 Anwendungen von Transistoren

Das Kerncurriculum sieht vor, dass die SuS die wesentliche Bedeutung der Halbleiter verstehen. Hierzu müssen sie zunächst verstehen, dass Computer Milliarden von Schaltern beinhalten. Dann müssen sie erkennen, dass man mit einem Transistor schalten kann. Ferner sollten sie erläutern können, wie der Transistor aufgebaut ist und mit dem bekannten Stuhlmodell gedeutet wird. Hierfür schlage ich eine Doppelstunde mit themendifferenzierender und binnendifferenzierender Gruppenarbeit vor. Denn hier sind drei anspruchsvolle Ziele zu erreichen und das geht besonders effektiv durch die simultane Bearbeitung durch verschiedene Gruppen. Für diese grundlegende Stunde stelle ich einen Kurzentwurf vor. Eine weitere Stunde kann sich mit einer Anwendung befassen, welche die Lerngruppe besonders interessiert.

Bei besonders interessierten Lerngruppen bietet sich eine zusätzliche Unterrichtssequenz an, bei der die Schülerinnen und Schüler selbstständig experimentieren. Hierfür kann ein Klassensatz mit Experimentiermaterial für ungefähr 10 Euro pro Schüler besorgt werden. Passende fachlich fundierte (s. [Tietze u. Schenk \(1978\)](#)) didaktisch aufgearbeitete und im Unterricht erprobte Arbeitsblätter sind unten dargestellt.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Ersetzung des Relais durch eine Transistorschaltung	Die SuS sollen die Anwendung des Transistors als Schalter beschreiben können.
2	Untersuchung von Anwendungen des Transistors	Die SuS sollen Anwendungen des Transistors in der Technik nennen können.

Tabelle 4: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Anwendungen des Transistors.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH9f2

Thema der Unterrichtssequenz: Anwendungen von Transistoren

Einführung des Transistors als Schalter

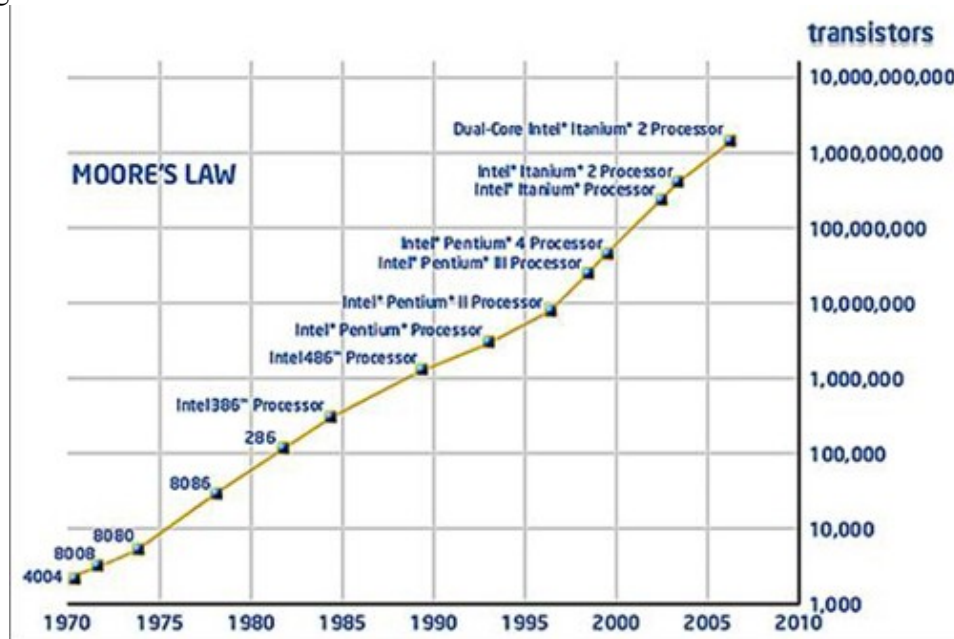
Didaktik: SLZ: Die SuS sollen den Transistor als Schalter erläutern können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Elektron	Erläutern
LV: Halbleiter, Leiter, Nichtleiter	Erläutern
LV: Bewegliche Elektronen führen zu Leitfähigkeit	Erläutern
LV: Bei heißen Körpern ist innere Energie vorhanden.	Erläutern
TLZ: Festsitzende Elektronen führen nicht zu Leitfähigkeit	Erläutern
TLZ: Energie kann festsitzende Elektronen beweglich machen	Erläutern
TLZ: Halbleiter	Deuten

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Aufgebend erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
6	<u>Einstieg:</u> OHP-Folie, DE	Beschreiben	LSG
15	<u>Stundenfrage:</u> s. TA	Leitfrage entwickeln, Ideen	LSG
50	<u>Erarbeitung:</u> Deutung	AB 1 bearbeiten, binnendifferenzierend	PA
70	<u>Sicherung:</u> s. TA	Ergebnis, Reflexion	SV
90	<u>Konsolidierung:</u> AB 2	Bearbeiten, evtl. HA	EA

Einstiegsfolie



Geplanter TA

Warum sind im Computer so viele Transistoren?

Ideen: Speicher, 2 GHz, Schaltereignisse

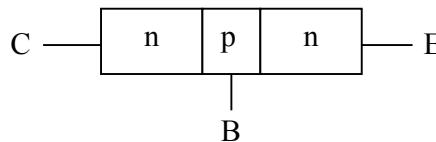
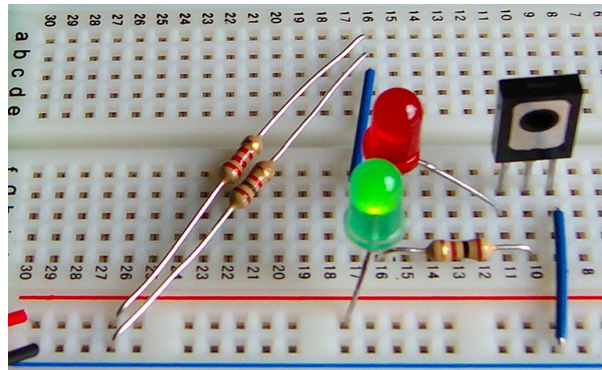
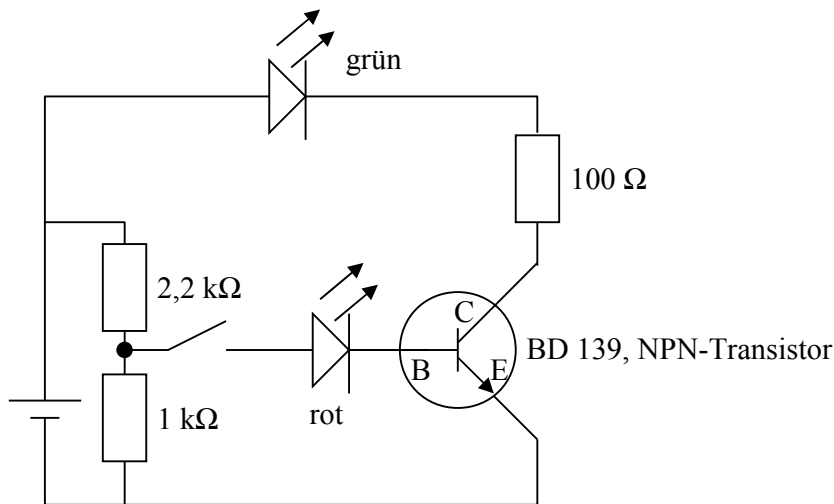
Ergebnisse:

Fließt Strom durch den Steuerkreis, so fließt auch Strom durch den gesteuerten Kreis.

Fließt kein Strom durch den Steuerkreis, so fließt kein Strom durch den gesteuerten Kreis.

Daher kann ein Transistor schalten wie ein Relais. Der Computer muss zur Datenverarbeitung oft schalten. Deshalb hat er viele Transistoren.

Transistor



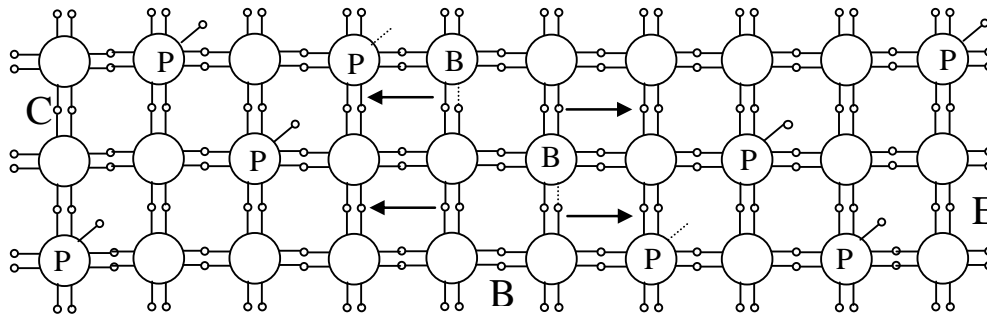
- 1) Der Transistor ist eine Folge eines n-dotierten Bereichs (C), eines mittleren p-dotierten Bereichs (B) und eines n-dotierten Bereichs (E). Bei geschlossenem Schalter fließt ein Strom von einem Pol der Batterie durch B und E zum anderen Pol der Batterie. Zeichne diesen Stromkreis in die Schaltskizze ein.
- 2) Bei geschlossenem Schalter fließt ein Strom von einem Pol der Batterie durch C und E zum anderen Pol der Batterie. Zeichne diesen Stromkreis in die Schaltskizze ein.
- 3) Probiere mit dem Schalter aus und beschreibe, wie der erste Stromkreis (Steuerkreis) den zweiten Stromkreis (gesteuerter Kreis) steuert.
- 4) Erklärung des Transistors: Im p-dotierten Bereich sind freie Plätze. Einige Elektronen der anderen Bereiche besetzen diese. Dadurch wirkt der p-dotierte Bereich abstoßend auf Elektronen und blockiert den Stromfluss. Wenn der Strom im Steuerkreis fließt, dann fließen die blockierenden Elektronen ab und der Strom kann im gesteuerten Kreis fließen. Modelliere das mit dem Stuhlmodell.
- 5) Beschreibe die Analogie zum Relais.

Arbeitsblätter zur Elektronik und den Grundlagen des Computers

Die Pfeile stellen Kräfte auf Elektronen dar.

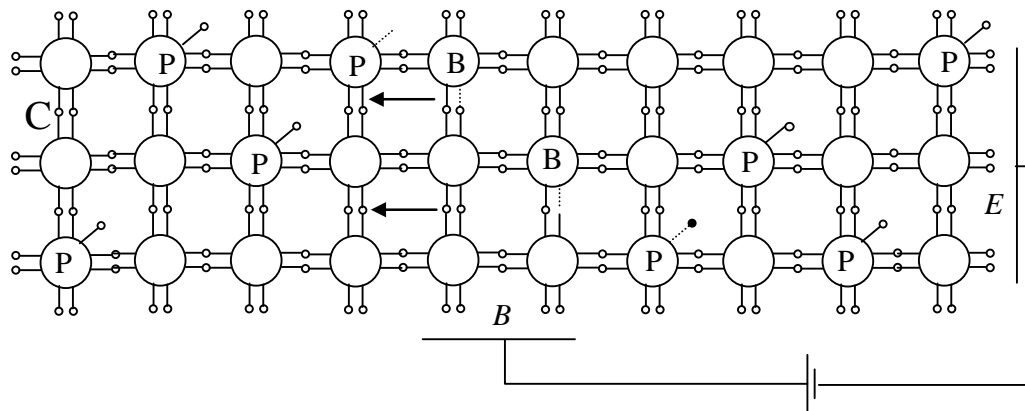
1) NPN Transistor

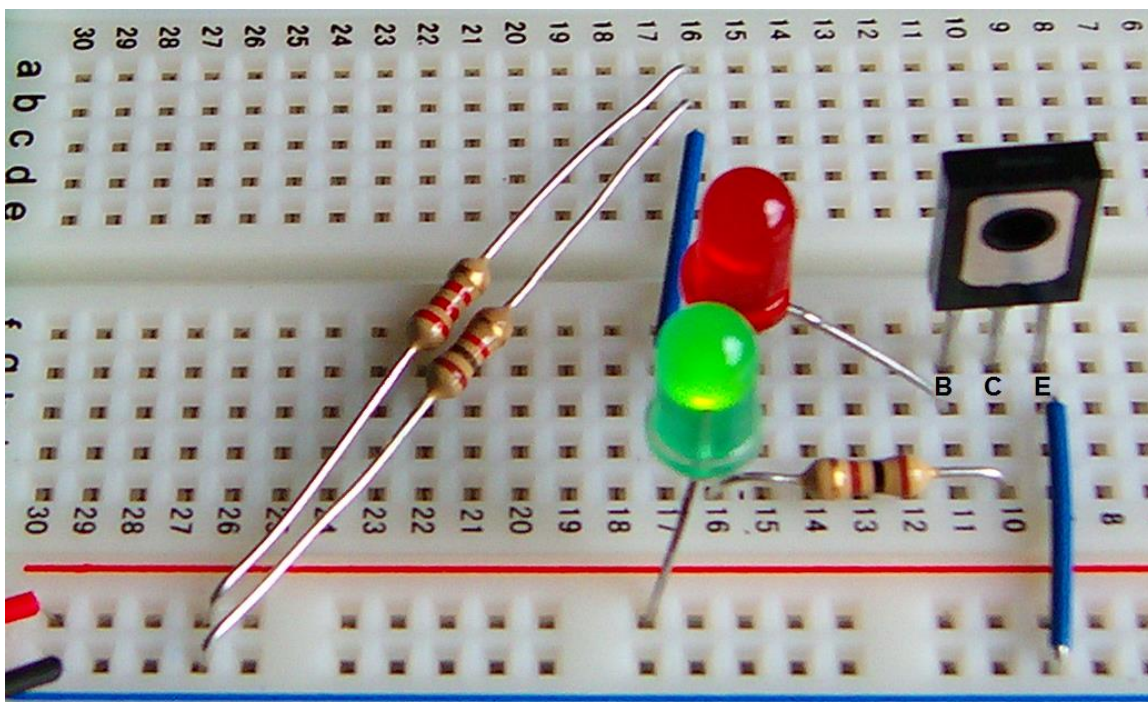
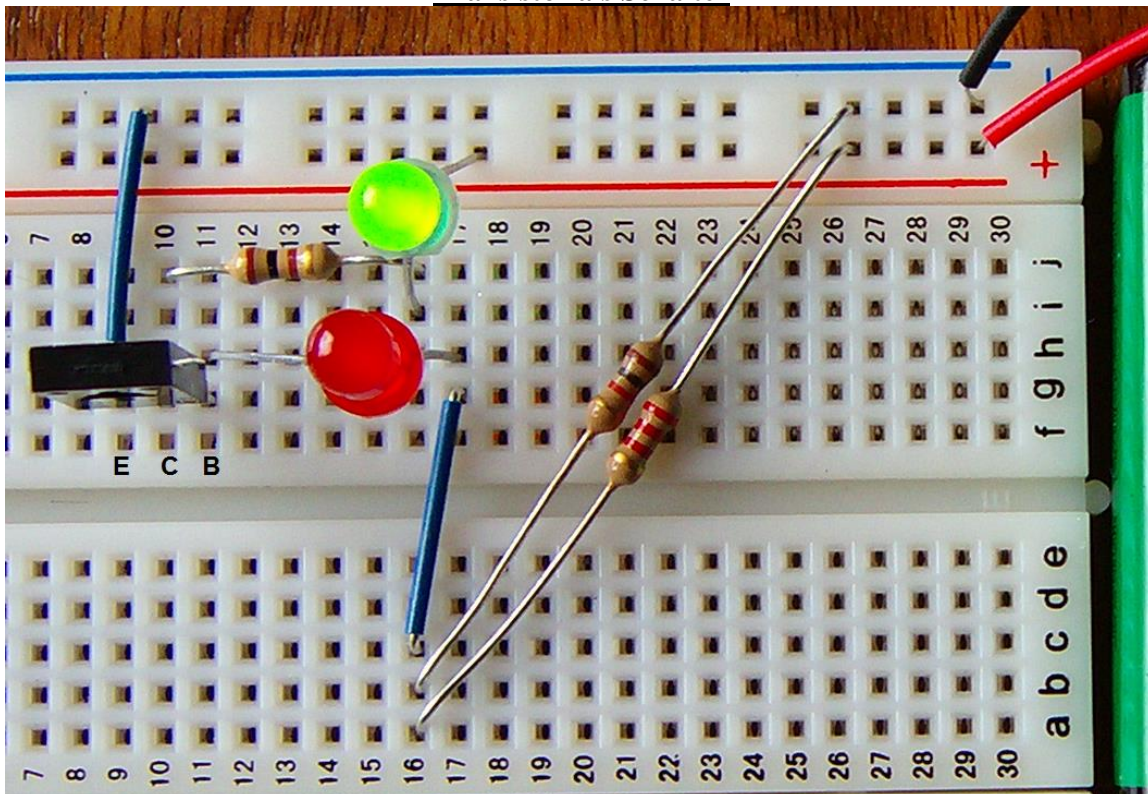
- a) Erkläre den Aufbau des Transistors!
- b) Erkläre das Zustandekommen der Kräfte!
- c) Erkläre mit den Kräften, ob Elektronen von *C* zu *E* oder umgekehrt fließen können!



2) NPN Transistor mit *BE* - Stromkreis

- a) Beschreibe die Änderung der Kräfte!
- b) Erkläre die Änderung der Kräfte!
- c) Können Elektronen vom Kollektor *C* zu *E* fließen?
- d) Können Elektronen von *E* zu *C* fließen?



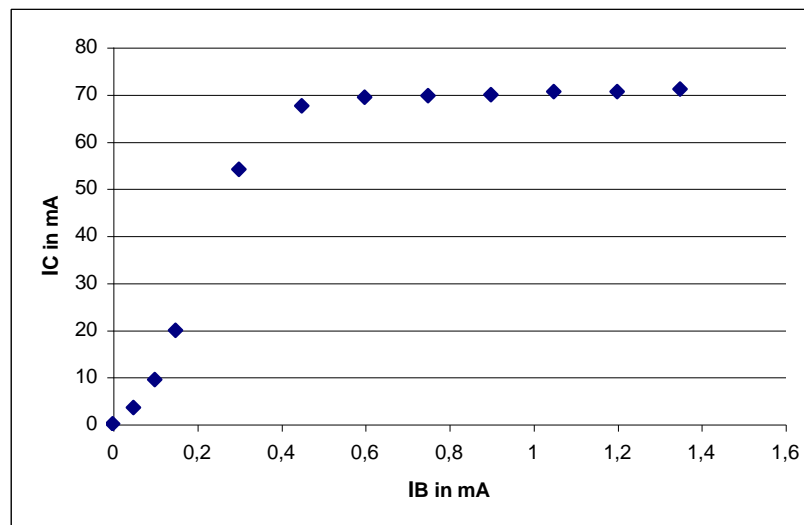
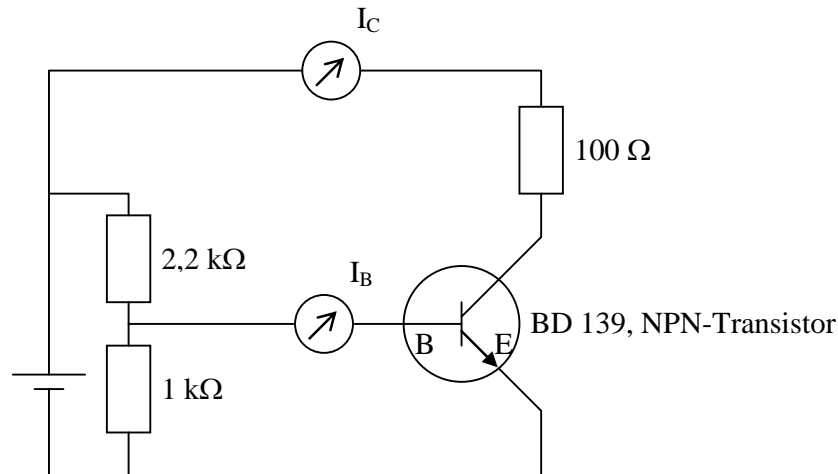
Transistor als Schalter

- 1) Zeige, dass die rote LED für das Leuchten der grünen LED nötig ist, aber nicht umgekehrt!
- 2) Erkläre, wie die helle LED von der leuchtschwachen kontrolliert wird!
- 3) Baue diese Schaltung selber und teste sie!

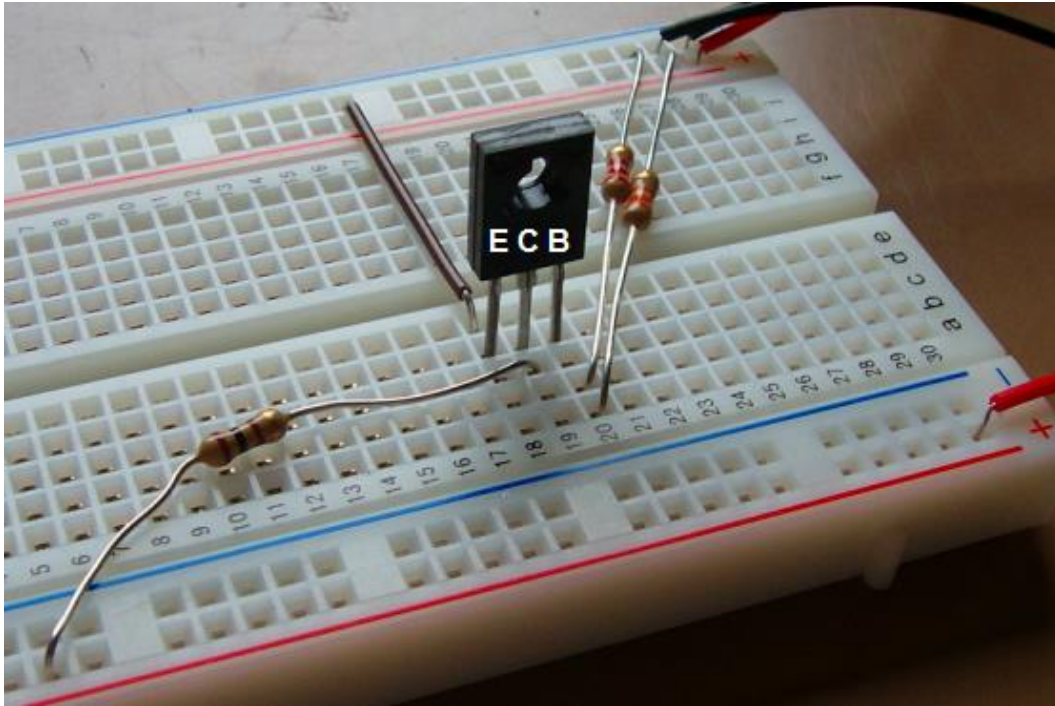
Transistor als Stromverstärker

Hier wurden die LEDs durch Strommessgeräte ersetzt.

- Zeichne die beiden Stromkreise ein!
- Untersuche, um welchen Faktor der Strom hier verstärkt wird!
- Erkläre die Aufgabe der Widerstände!
- Erkläre die Funktionsweise der Schaltung!



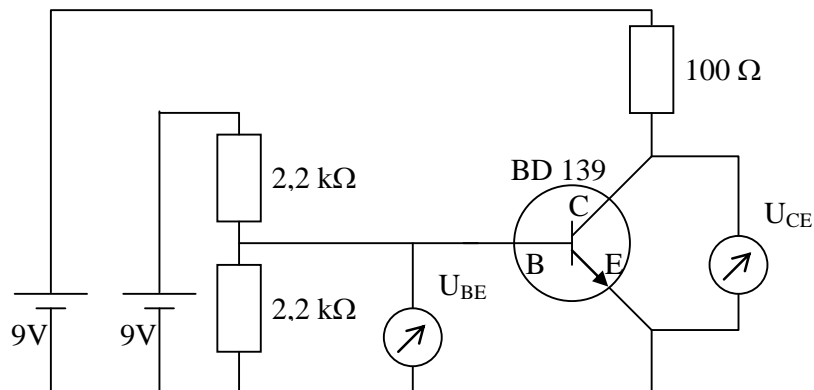
Transistor als Spannungsverstärker



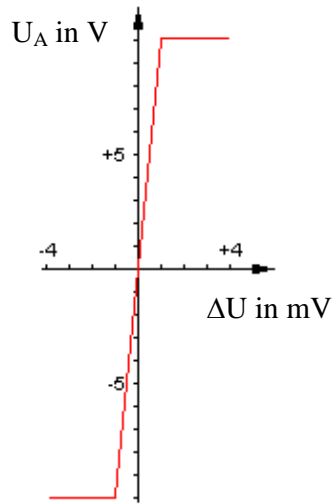
- 1) Erkläre die Funktionsweise!
- 2) Bestimme die Ausgangsspannung U_{CE} für verschiedene Eingangsspannungen U_{BE} und zeichne den zugehörigen Graphen!

Hinweise:

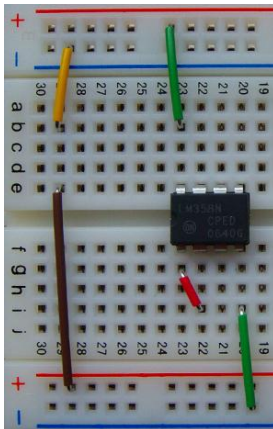
- a) Zeichne die beiden wesentlichen Stromkreise ein!
- b) Entscheide, durch welche Widerstände der Transistor vor Überhitzung geschützt wird!
- c) Entscheide, welches Widerstandspaar einen Spannungsteiler darstellt!
- d) Entscheide, welcher Widerstand zusammen mit dem Transistor einen Spannungsteiler darstellt!



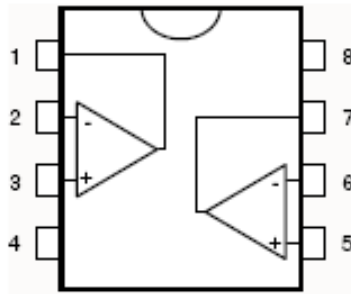
Operationsverstärker



Beim Operationsverstärker ist die Spannung U_A am Ausgang proportional zur Differenzspannung $\Delta U = U_+ - U_-$, zumindest gilt das bis zu einer Sättigungsspannung. Das ist der Vorteil gegenüber dem Transistor mit der nichtlinearen Kennlinie.



Operationsverstärkerschaltung mit Rückkopplung von U_A zu U_- beim LM358. An der oberen und unteren \pm Doppelleisten wird je eine 9V-Batterie angeschlossen.

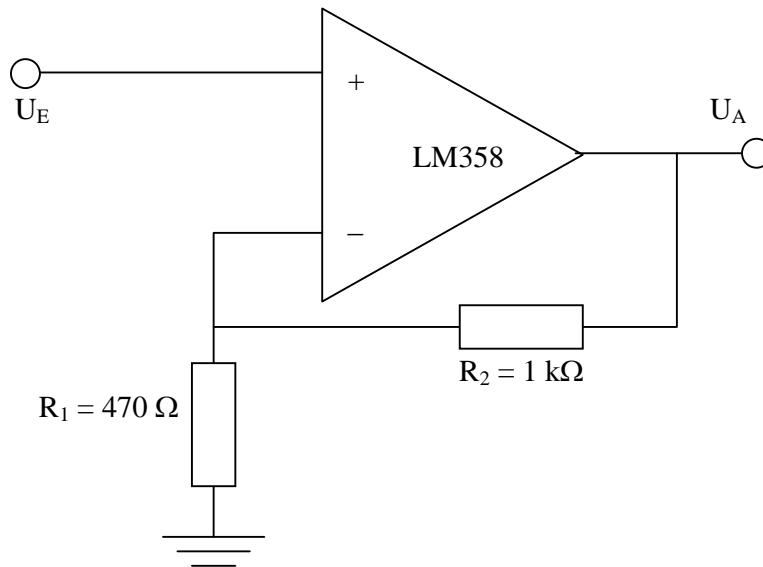


- 1 - Output 1
- 2 - Inverting input
- 3 - Non-inverting input
- 4 - V_{CC}^-
- 5 - Non-inverting input 2
- 6 - Inverting input 2
- 7 - Output 2
- 8 - V_{CC}^+

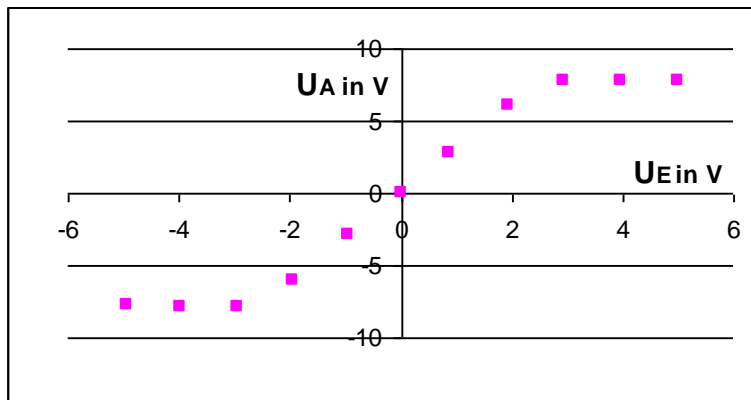
Anschlüsse beim LM358

Aufgabe: Erstellen Sie eine Schaltskizze für die fotografierte Schaltung!

Operationsverstärkerschaltung

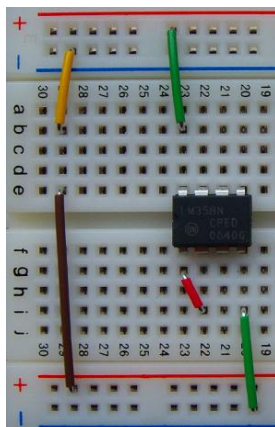


1) Bestimmen Sie die Kennlinie des rückgekoppelten Operationsverstärkers!



2) Bestimmen Sie für den linearen Bereich den Verstärkungsfaktor $A = U_A/U_E$!

3) Bestimmen Sie den Verstärkungsfaktor der fotografierten Schaltung!



Info: Herleitung von A

$$U_A = k \cdot (U_E - U_-) \quad | \text{ Spannungsteilerregel}$$

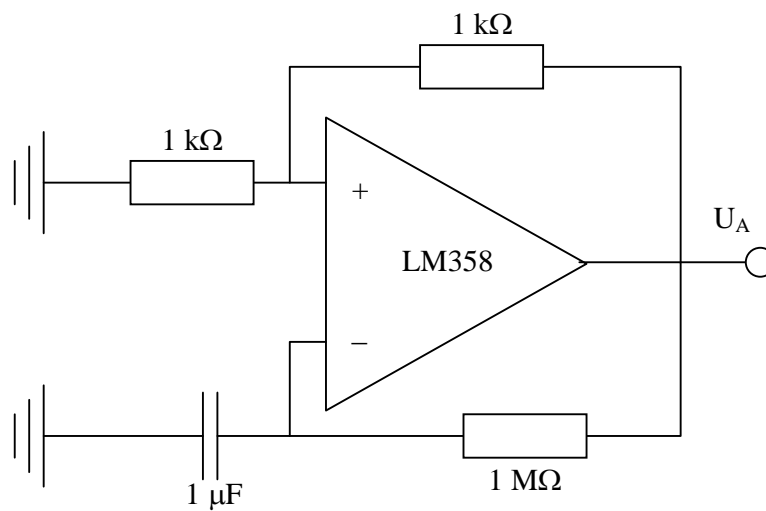
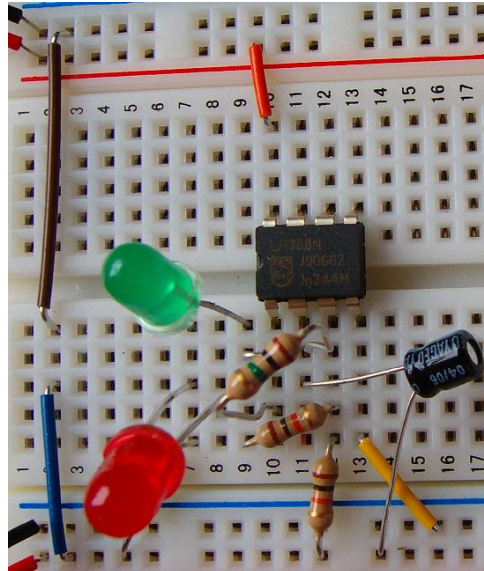
$$U_A = k \cdot \left(U_E - \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_A \right) \quad | : U_A$$

$$1 = k \cdot \left(U_E / U_A - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad | : k$$

$$1/k = U_E / U_A - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad | 1/k \approx 0 \quad | \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad | \text{ Kehrwert}$$

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Blinkschaltung



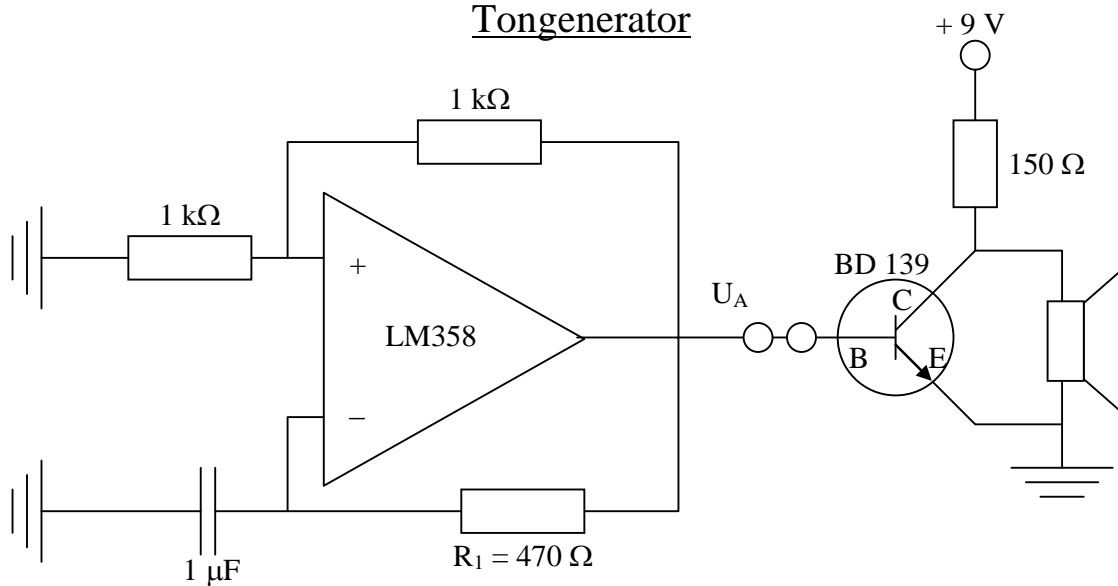
- 1) Stelle die Blinkschaltung her und teste sie!
- 2) Erkläre die Schaltung!

Hinweise:

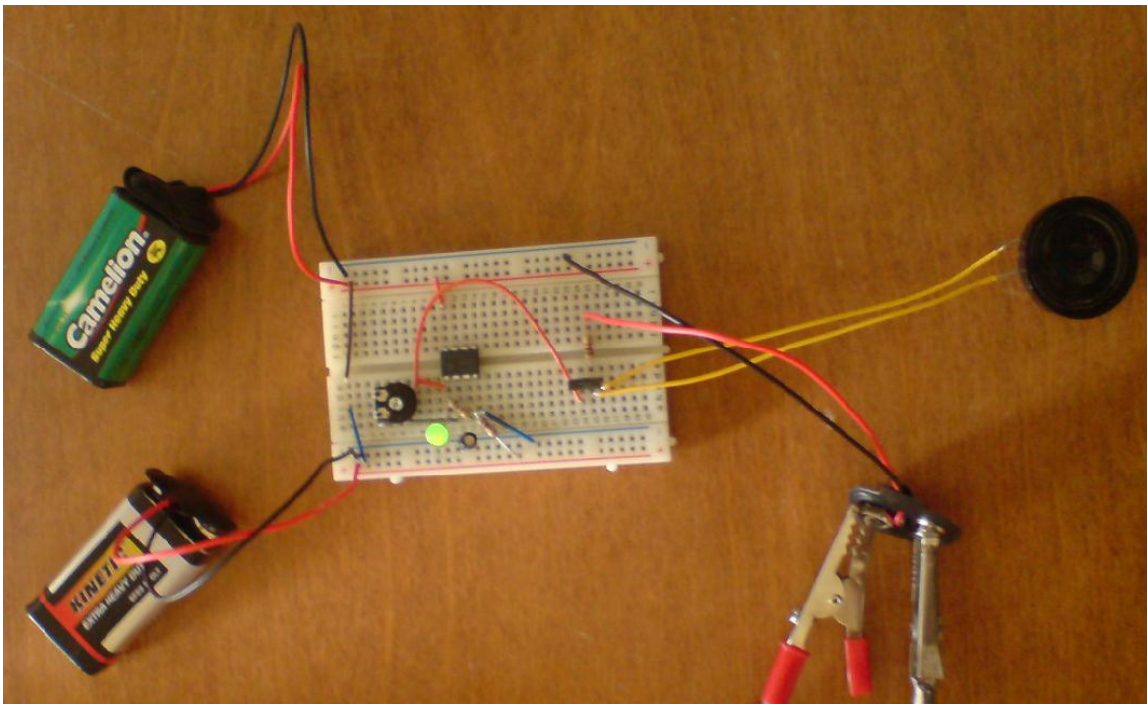
Der Kondensator kann Ladungen speichern. Ist er entladen, so ist die Spannung zwischen seinen Enden 0 V. Ist er positiv geladen, so ist diese Spannung maximal, also + 9 V. Ist er negativ geladen, so ist diese Spannung minimal, also – 9 V. Die Spannung hängt linear von der Ladung ab.

Überlege, wie sich die Spannungen an den beiden Eingängen mit der Zeit ändern und wie der Operationsverstärker darauf reagiert!

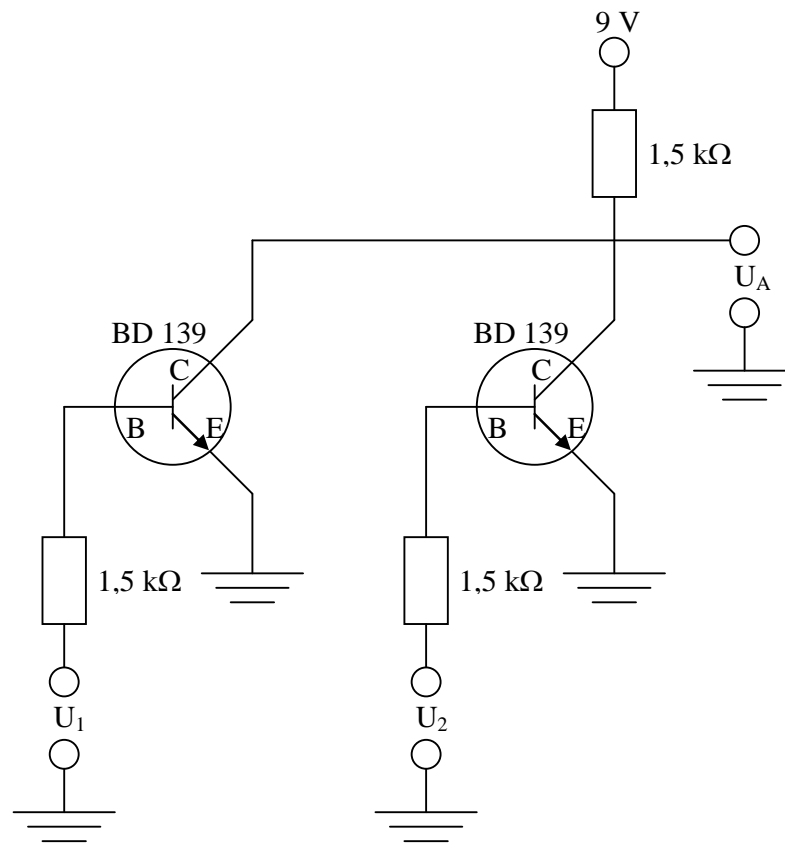
Tongenerator



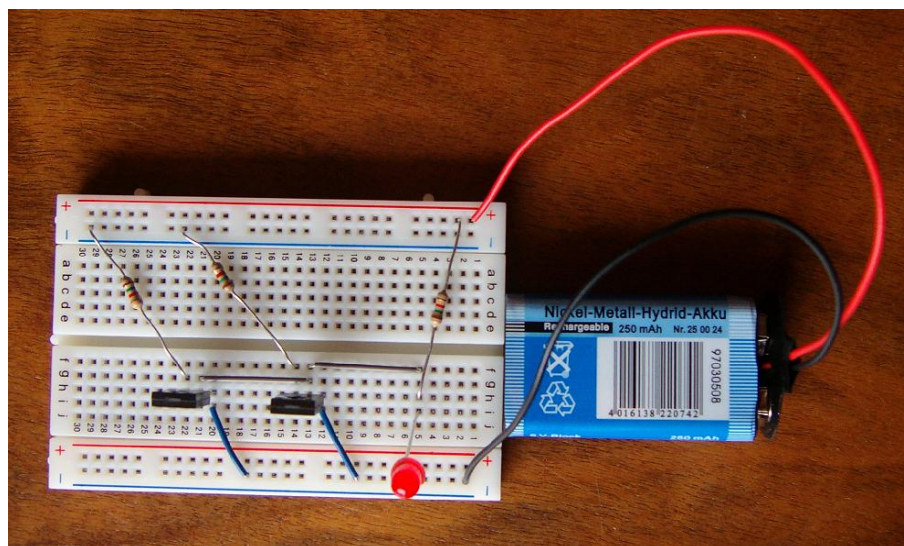
- 1) Erkläre die Schaltung!
- 2) Baue und teste den Tongenerator!
- 3) Probiere aus, wie sich der Ton ändert, wenn du R_1 veränderst!
- 4) Erkläre deine Beobachtung!
- 5) Baue eine zweite Verstärkerstufe mit einem Schutzwiderstand von 15Ω und mit dem npn-Transistor BD 675 A!



Logische Schaltung: NOR - Gatter



- 1) Stelle die logische Schaltung her und teste sie!
- 2) Erkläre die Schaltung!



Ausblick zum NOR-Gatter

Mit Kombinationen dieser Schaltung können alle Funktionen der Aussagenlogik sowie Flip-Flops realisiert werden. Damit sind Rechenwerk sowie Speicher und somit die Grundbausteine des Computers herstellbar.

Aussagenlogik

Die Verneinung wird realisiert durch die obige Schaltung mit nur einem Transistor.

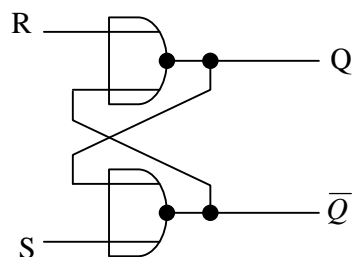
$$\bar{1} U_1 = \text{NOR} (U_1)$$

$$U_1 \vee U_2 = \bar{1} [\text{NOR} (U_1; U_2)]$$

$$U_1 \wedge U_2 = [\text{NOR} (\bar{1} U_1; \bar{1} U_2)]$$

Damit sind alle Abbildungen der Aussagenlogik darstellbar.

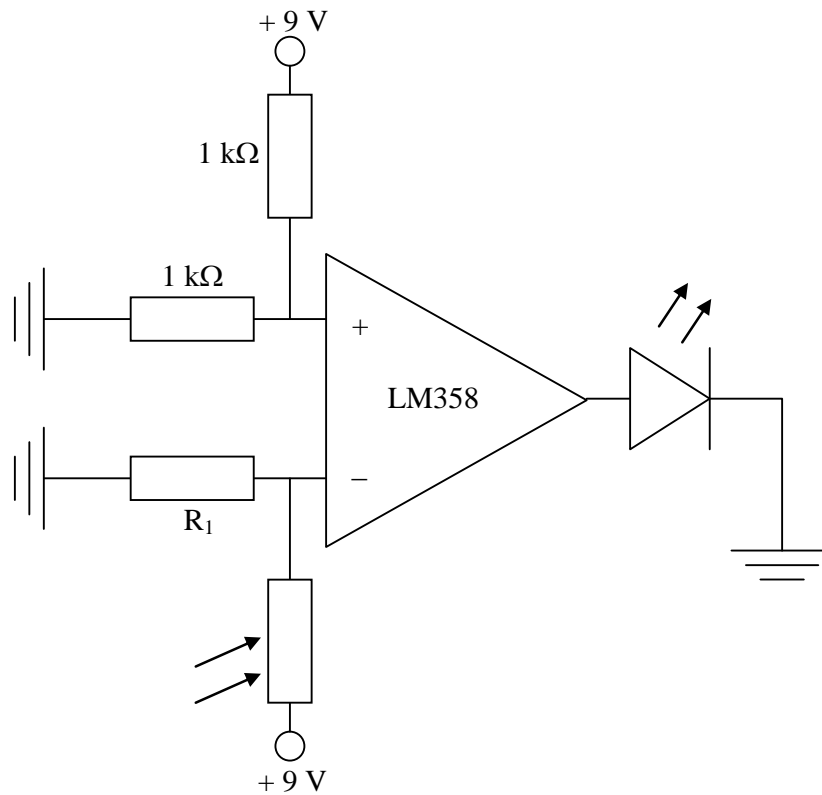
RS-Flip-Flop aus 2 NOR-Gattern: Speicher



- 1) Geben Sie die Werte für Q und \bar{Q} abhängig von denen für R und S an!
- 2) Bauen Sie ein RS-Flip-Flop!

Als Modell für einen Computer dient die sogenannte Turing-Maschine. Diese besteht aus einem Speicher und einer Verarbeitungseinheit, welche Abbildungen der Aussagenlogik realisiert. Somit sind die Logik-Gatter und Flip-Flops die Grundbausteine des Computers. Wie aus diesen ein Computer aufgebaut werden kann ist bei Tietze und Schenk beschrieben (U. Tietze und Ch. Schenk: Halbleiterschaltungstechnik, Springer, Heidelberg 1978, S. 163-179).

Dämmerungsschaltung



- 1) Erkläre die Schaltung!
- 2) Baue die Dämmerungsschaltung!
- 3) Wähle den Widerstand R_1 so aus, dass die Leuchtdiode im Dunkeln leuchtet und im Hellen ausgeschaltet wird!

5 Aufgaben

1. Erörtern Sie das Potenzial der UE für die Entwicklung von Kompetenzerlebnissen der SuS.
2. Analysieren Sie die Funktion der grundlegenden Versuche der UE.
3. Analysieren Sie die Funktion des Stuhlmodells in der UE.
4. Analysieren Sie die Progression des Stuhlmodells in der UE.
5. Vergleichen Sie das Energiestufenmodell mit dem Stuhlmodell.
6. Erörtern Sie die Funktion des Halbleiters für die digitale Revolution und vergleichen Sie mit Einsatz optischer Technologien in der Informationstechnik.

6 Zusammenfassung

Viele Unterrichtseinheiten sind grundlegend für das Verständnis weiterführender Zweige der Physik oder anderer Naturwissenschaften. Diese UE ist grundlegend für das Verständnis der digitalen Revolution und der heutigen Technologie. Das können die SuS verstehen und es interessiert sie besonders wegen der Auswirkungen auf die Arbeitswelt, die Freizeit sowie die umweltfreundliche Energiegewinnung durch Solarzellen.

Die vielfältigen Low-Cost-Versuche ermöglichen den SuS zahlreiche Kompetenzerlebnisse. Die raffinierten Modelle geben den SuS Einblicke in die Welt des Mikrokosmos und bereiten die Erkundung von Quantenobjekten in der Kursstufe vor.

Ich wünsche Ihnen, dass Sie mit Ihren SuS die Bedeutung des elektronischen Mikrokosmos für unsere Lebenswelt und unsere Zukunft entdecken.

Literatur

[Beime u. a. 2012] BEIME, Christa ; HOPPE, Petra ; HUMMES, Klaus-Peter ; VÖPEL, Karl-Heinz ; VOSS, Christine ; ZEMANN, Winfried: *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2012

[Brüning u. a. 2010] BRÜNING, Thomas ; DÖTZER, Susanne ; ELSASSER, Wolfgang ; HEIKE, Christina ; JÜTTNER, Horst ; MICHALSKI, Regina ; MOORKAMP, Michael ; SUTTMAYER, Beate: *Rahmenrichtlinien für das Fach Naturwissenschaft in der Klasse 12 der Fachoberschule, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2010

[Carmesin u. a. 2015] CARMESIN, Hans-Otto ; KAHLE, Jens ; KONRAD, Ulf ; PRÖHL, Inka ; TRUMME, Torsten ; WITTE, Lutz ; HAGEDORN, Andreas: *Universum Physik 9/10*. Berlin : Cornelsen, 2015

-
- [Frenzel 2017] FRENZEL, Michael u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg, Physik, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2017
- [Gehmann 2015] GEHMANN, Kurt u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2015
- [Tietze u. Schenk 1978] TIETZE, Ulrich ; SCHENK, Christoph: *Halbleiterschaltungstechnik*. 4. Heidelberg : Springer, 1978