

Albert-Schweitzer-Gymnasium
Erfurt

Spezialschulteil Mathematik,
Naturwissenschaften und Informatik

<http://www.asgspez.de>

Technische Informatik - Klasse 9

Johannes Süpke

Dieses Dokument wurde mit \LaTeX gesetzt.

© Johannes Süpke

Erfurt, 6. November 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Grundlagen	5
1.1	Gesetze im Gleichstromkreis	6
1.2	Logikgatter	11
2	Halbleitertechnik	14
2.1	Grundbegriffe der Halbleitertechnik	14
2.2	Typische Halbleitersensoren	18
2.3	Die Halbleiterdiode	19
2.4	Der Bipolartransistor	22
2.5	Der Schwellenwertschalter (Zusatzwissen)	28
3	Kombinatorische Schaltungen	31
3.1	Logikgatter aus Transistoren	31
3.2	Kombinationen der Gatter	33
4	Anhang	34
4.1	Lösungen zu Kapitel 1	34
4.2	Lösungen zu Kapitel 2	34
4.3	Lösungen zu Kapitel 3	39

Legende

Blaue Boxen symbolisieren Aufgaben. Hier sollst du aktiv werden und die Aufgaben selbstständig oder mit einem Partner lösen. Die meisten Aufgaben haben eine Lösung, die du im Anhang einsehen kannst. Aufgaben haben eine Checkbox. Wenn du die Aufgabe bearbeitet hast, kannst du diese abhaken (per klick). Speicherst du das Dokument ab, dann weißt du das nächste mal wieder, welche Aufgaben du bereits gelöst hast.

Aufgabe

Dies ist eine Aufgabe!

Eine grüne Box symbolisiert eine Sicherung. Diese Informationen solltest du dir in dein Heft übernehmen.

Sicherung

Dies ist eine Sicherung!

Eine rote Box symbolisiert Zusatzwissen. Zusatzwissen ist nicht prüfungsrelevant, aber sehr interessant. Zusatzwissen solltest du nur bearbeiten, wenn du gut in der Zeit liegst.

Zusatzwissen

Dies ist sehr interessantes Zusatzwissen!

Wenn du einen guten PDF-Viewer benutzt, werden Verlinkungen innerhalb des Dokumentes angezeigt. So kannst du durch Klick auf einen Link zu den Aufgaben und Lösungen springen, oder vom Inhaltsverzeichnis zu einem Kapitel.

Empfohlen wird der PDF-Viewer SUMATRAPDF.

1

Kapitel Eins

Physikalische Grundlagen

1837 veröffentlichte der britische Mathematikprofessor CHARLES BABBAGES (1791-1871) den Entwurf einer Rechenmaschine namens *Analytical Engine* (zu deutsch: Analytische Maschine).

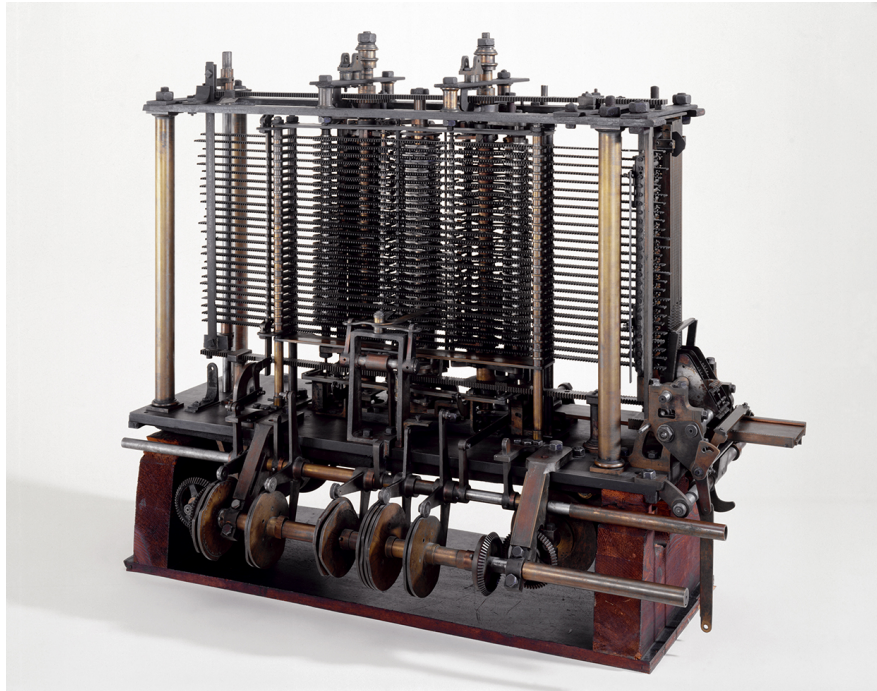


Abbildung 1.1: Nachbau der *Analytical Engine* (Quelle: wikipedia.org)

Dieser Entwurf gilt als wichtiger Schritt in der Geschichte der Entwicklung des Computers, denn hätte diese Maschine gebaut werden können, hätte man bereits einen frei programmierbaren Rechner gehabt, wie er erst ca. 100 Jahre später von dem deutschen Ingenieur KONRAD ZUSE erfunden wurde.

Diese Rechenmaschine arbeitete jedoch rein mechanisch. Bei heutigen Computern kommt man an elektrischen Bauteilen und Halbleitern nicht vorbei. Ohne Strom rechnet heute keine Maschine. Doch was ist elektrischer Strom eigentlich?

Ziele

In diesem Kapitel lernst du:

- Was ein Gleichstromkreis ist und welche wichtigen Größen dabei verwendet werden,
- wie man das Programm YENKA benutzt, um Stromkreise zu simulieren,
- welche wichtigen Gesetzmäßigkeiten in komplexeren Stromkreisen auftreten (die KIRCHHOFFschen Gesetze)

- Welche wichtigen Stromkreise in einem Prozessor vorkommen (Logikgatter) und wie diese prinzipiell aufgebaut werden können.

1.1 Gesetze im Gleichstromkreis

Aufgabe 1.1

Überlege dir, wie man *elektrischen Strom* physikalisch definieren kann. Welche Rolle spielen dabei die Begriffe *elektrischer Stromkreis* und *Spannungsquelle*?

Lösung 1 (zu Aufgabe 1.1)

Einige Lösungen findest du im Anhang zur Selbstkontrolle. Wichtig ist, dass du dir die Lösungen erst ansiehst, nachdem du die Aufgabe bearbeitest hast, um einen Lernerfolg zu erzielen.

Die Lösung findest du in Lösung 3.

Das Programm YENKA simuliert Stromkreise und Logikschaltungen am Computer.

Aufgabe 1.2

Befolge zunächst die folgenden Schritte:

- Öffne YENKA (zB. auf dem Desktop)!
 - Stelle die Spracheinstellung unten in der Mitte auf Englisch!
 - Wähle den Reiter *Technologies* und in der Mitte links die Kategorie *Electronics*!
 - Öffne eine neue Datei im Programm (links oben \Rightarrow New)!
- (a) Implementiere einen elektrischen Stromkreis, bestehend aus einer Batterie (Battery) und einer Lampe (Signal Lamp) (Electronic Components \Rightarrow Basic Components \Rightarrow Symbolic) und ändere den Spannungswert, indem du darauf klickst.
- (b) Übernimm den Stromkreis als Zeichnung in dein Heft!
- (ZA) Ergänze den Stromkreis durch einen Schalter (SPST) und vergleiche die Funktionsweise mit dem Stromkreis zuvor!

Aufgabe 1.3

- (a) Benutze den letzten Stromkreis und miss die Stromstärke, indem du ein *Amperemeter* (Lab Equipment \Rightarrow Measurement) in den Stromkreis einfügst!
- (b) Verändere den Spannungswert der Spannungsquelle! Beobachte die Veränderung am Amperemeter!

Du solltest bei der letzten Aufgabe beobachtet haben, dass mit höherer Spannung auch ein größerer Strom fließt (das *Amperemeter* zeigt einen höheren Wert). Bei näherer Betrachtung fällt sogar auf, dass die beiden Größen der Spannung und der Stromstärke proportional voneinander abhängen.

Die Proportionalitätskonstante nennt man den (elektrischen) Widerstand R . Als Zusammenhang gilt demnach: $U = R \cdot I$ (das OHMSche Gesetz). Dabei ist U die Spannung und I die Stromstärke.

Sicherung (OHMSches Gesetz)

$U = R \cdot I$ (U - Spannung, I - Stromstärke, R - elektrischer Widerstand)

Der Wert der Spannung U wird in Volt (1V) angegeben, der Wert der Stromstärke wird in Ampere (1A) angegeben. Der Wert des Widerstandes wird in Ohm (1Ω) angegeben.

Aufgabe 1.4

Füge in den letzten Stromkreis einen Widerstand ein (Electronic Components \Rightarrow Basic Components \Rightarrow Symbolic \Rightarrow Resistor) und beobachte den Zusammenhang des Ohmschen Gesetzes, indem du die Spannungswerte veränderst.

Aufgabe 1.5

- (a) Öffne im TI-Ordner (In die Adresszeile des Explorers (Dateiordner) eingeben: \\faust\TI9) die Datei *Knoten und Maschen.yka*
- (b) Betrachte in der Schaltung oben die Stromstärken an den Amperemetern, während du die Widerstandswerte (durch darauf klicken) änderst! Formuliere eine Beobachtung, wie die Stromstärken voneinander abhängen!
- (c) Betrachte in der Schaltung unten die Spannungswerte an den Voltmetern, während du die Widerstandswerte änderst!

Die Spannungswerte geben an, wie viel Spannung über dem jeweiligen Widerstand "abfällt". Vom Pluspol der Spannungsquelle bis zum Minuspol muss die gesamte Spannung abfallen. Formuliere eine Beobachtung, wie die Spannungswerte voneinander abhängen!

Die beiden Gesetzmäßigkeiten heißen KIRCHHOFFSche Gesetze (benannt nach dem preußisch/deutschen Physiker GUSTAV ROBERT KIRCHHOFF).

Diese können wie folgt formuliert werden:

Sicherung**1. Kirchhoffsches Gesetz (Knotensatz):**

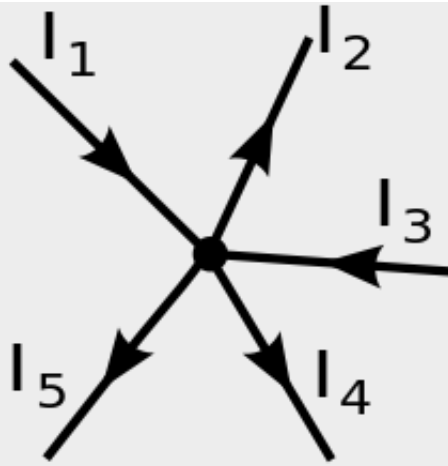


Abbildung 1.2: Darstellung eines Knotens mit $I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$ (Quelle: wikipedia.org)

Für jeden Knotenpunkt eines Netzwerkes gilt, dass die Summe der einfließenden Ströme gleich der Summe der herausfließenden Ströme ist.

Alle Stromstärken addiert, die in einen Knotenpunkt fließen, müssen im gleichen Betrag also auch den Knotenpunkt wieder verlassen. Ähnlich wie bei zwei Flüssen, die zusammen fließen. Für das zweite Kirchhoffsche Gesetz benötigen wir den Begriff der *Masche*:

Sicherung

Eine *Masche* ist ein geschlossener Kreis in einem Netzwerk. Dieser Kreis muss keine Spannungsquelle besitzen.

Sicherung

2. Kirchhoffsches Gesetz (Maschensatz):

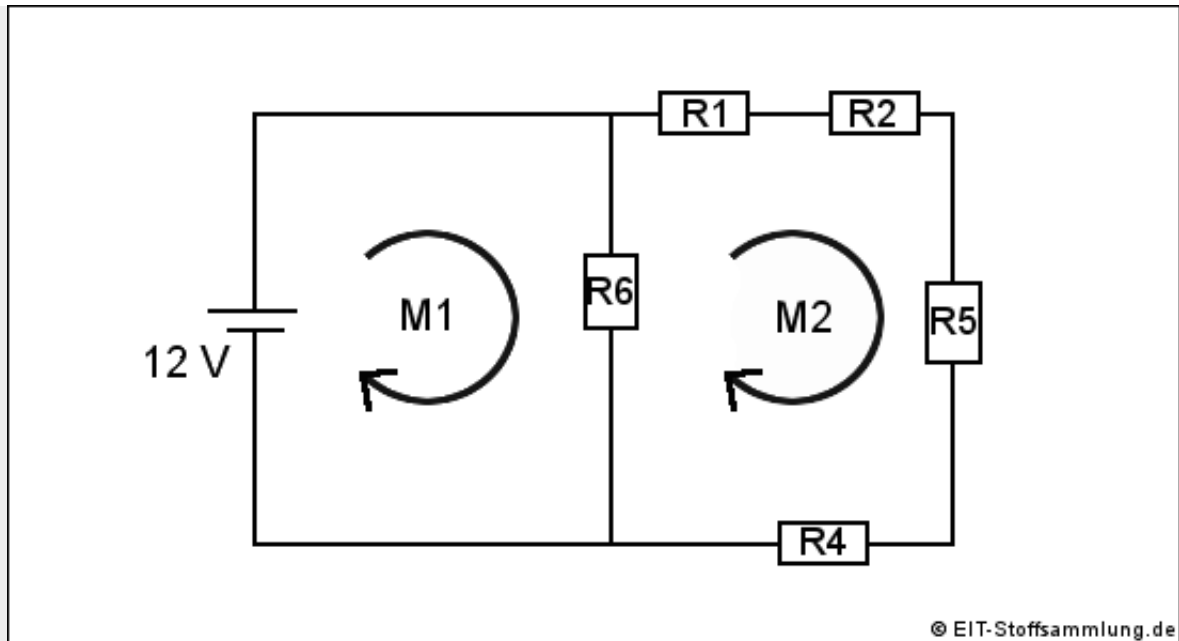


Abbildung 1.3: Darstellung zweier Maschen (Quelle: eit-stoffsammlung.de)

Die Spannungsabfälle über den Widerständen in jeder Masche eines Netzwerkes addieren sich zu null.

Dabei legt man sich in einer Masche eine Drehrichtung fest. Eine Spannung, die mit dieser Drehrichtung abfällt, wird positiv gewertet, eine Spannung, die entgegen dieser Drehrichtung abfällt, wird negativ gewertet. Addiert man so alle Spannungsabfälle, ergibt sich in jeder Masche stets 0. Die Richtung eines Spannungsabfalls wird festgelegt durch den (technischen) Stromfluss (vom Plus- zum Minuspol), der über den Widerstand fließt.

Beispiel

In Abbildung 1.3 ist eine Masche durch $M1$ gegeben. Als Drehrichtung wählen wir den Uhrzeigersinn. Die Masche besteht aus der Spannungsquelle mit $U = 12\text{ V}$ und dem Widerstand R_6 .

Der Spannungsabfall der Spannungsquelle ist 12 V , da der gesamte Spannungswert vom Pluspol (oben) bis zum Minuspol (unten) abfallen muss. Die Richtung des Spannungsabfalls ist somit von oben nach unten, also entgegen der festgelegten Drehrichtung. Wir werten den Spannungsabfall damit negativ, also mit -12 V .

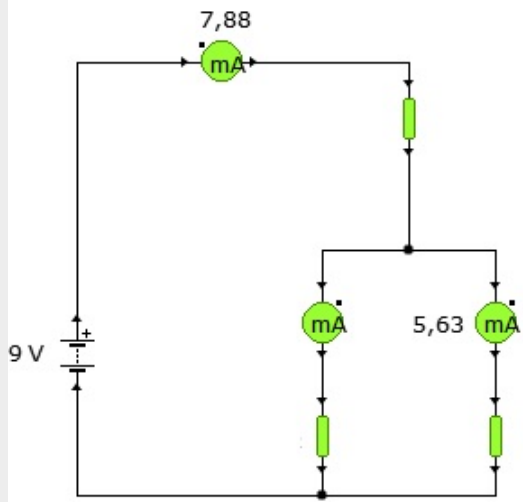
Die Spannung über R_6 fällt mit dem Drehsinn ab (der (technische) Stromfluss geht vom Plus- zum Minuspol der Spannungsquelle und damit von oben nach unten über R_6). Damit werten wir R_6 positiv.

Es ergibt sich: $-12\text{ V} + U_6 = 0$, durch umstellen erhält man, dass der Spannungsabfall über R_6 ist: $U_6 = 12\text{ V}$.

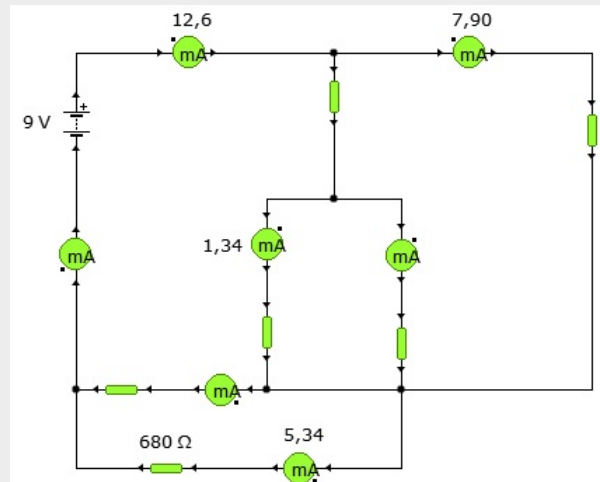
In Masche $M2$ fällt die Spannung über R_6 negativ ab (entgegen der Drehrichtung), während alle weiteren Werte über R_1, R_2, R_5 und R_4 mit dem Drehsinn, also positiv abfallen. Es ergibt sich: $-R_6 + R_1 + R_2 + R_5 + R_4 = 0$ (was ohne weitere Angaben nicht weiter berechnet werden kann).

Aufgabe 1.6

Ergänze die fehlenden Stromstärken, indem du die KIRCHHOFFSchen Gesetze anwendest!



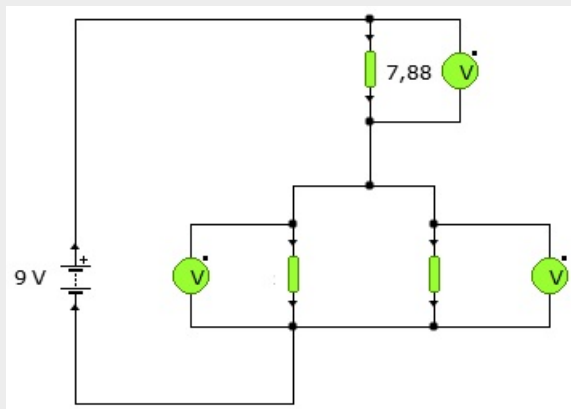
(a)



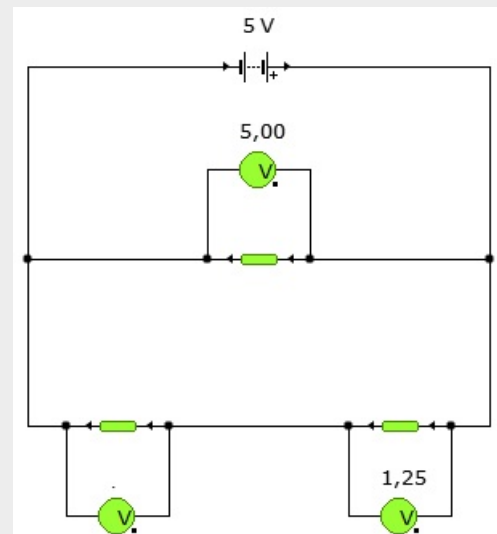
(b)

Aufgabe 1.7

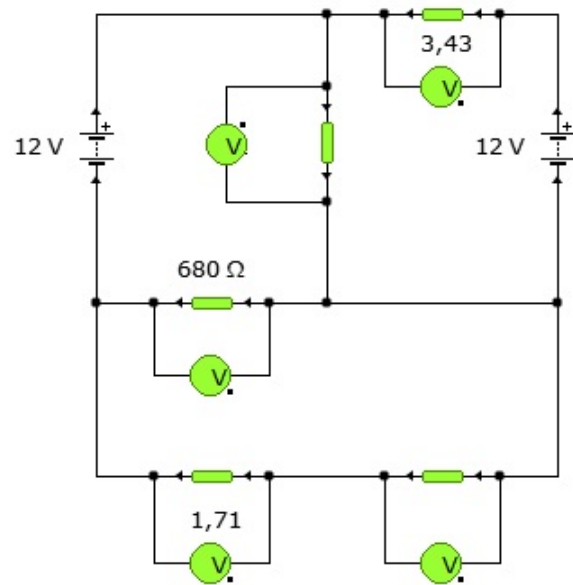
Ergänze die fehlenden Spannungen, indem du die KIRCHHOFFSchen Gesetze anwendest!



(a)



(b)



(c)

1.2 Logikgatter

Im Prozessor (CPU) eines Computers kommen Gleichstromkreise als sogenannte *Logikgatter* oder *Logische Schaltungen* vor. Diese implementieren logische Grundfunktionen aus der Mathematik.

Aufgabe 1.8

Teste die folgenden Logikgatter in YENKA (Electronic Components \Rightarrow Digital Processing \Rightarrow Digital 4000 Series \Rightarrow Logik Gates) implementiere dazu neben den Gattern auch Schalter als Eingänge (Lab Equipment \Rightarrow Logic \Rightarrow Latching Logic Input) und einen Ausgang (Logic Indicator im selben Ordner).

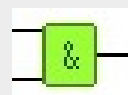
Fülle die Schalttabellen entsprechend aus und übernimm dir das Schaltsymbol und den logischen Term in dein Heft!

AND-Gatter

Schalttable:

a	b	A
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Schaltsymbol:



Logischer Term:

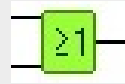
$$A = a \wedge b$$

OR-Gatter

Schalttable:

a	b	A
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Schaltsymbol:



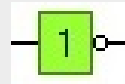
Logischer Term:

$$A = a \vee b$$

NOT-Gatter
Schalttable:

a	A
0	
1	

Schaltsymbol:



Logischer Term:

$$A = \neg a$$

Aufgabe 1.9

Implementiere in YENKA je Logikgatter einen Gleichstromkreis, der das jeweilige Gatter simuliert. Die Eingänge sollen dabei durch Kippschalter realisiert werden. Als Ausgang soll eine Lampe oder LED dienen.

(ZA) Implementiere auf gleiche Weise die Kombinationen $\neg(a \wedge b)$ und $\neg(a \vee b)$!

Im Prozessor kommen Schaltungen natürlich nicht mit mechanischen Schaltern daher. Beim "Schalten" im Prozessor handelt es sich um elektronisch gesteuerte Prozesse, da diese automatisiert werden können.

Wie das elektronische schalten funktioniert, klärt das nächste Kapitel.

Zusammenfassung

In diesem Kapitel hast du gelernt...

- dass für einen Stromfluss ein Stromkreis mit einer Spannungsquelle benötigt wird,
- dass die Größen der Spannung U , der Stromstärke I und des (elektrischen) Widerstands R im Gleichstromkreis wichtig sind und durch das OHMSche Gesetz folgendermaßen in Zusammenhang stehen: $U = R \cdot I$,
- dass der Betrag der Stromstärken, die in einen Knotenpunkt eines Netzwerkes zusammenfließen im selben Betrag aus diesem auch herausfließen (1. KIRCHHOFFSches Gesetz),
- dass sich die Spannungsabfälle über den Widerständen einer Masche stets zu null addieren (2. KIRCHHOFFSches Gesetz) und

- dass in einem Computer die Logikgatter AND, OR und NOT vorkommen und diese mit Hilfe eines Gleichstromkreises und Schaltern simuliert werden können.

2

Kapitel Zwei

Halbleitertechnik

Im Computer findet man Logikgatter natürlich nicht aus Schaltern, da diese zum einen manuell betätigt werden müssten und zum anderen zu viel Platz brauchen. Die Logikgatter sollen elektronisch angesteuert werden, sodass zum Beispiel der Schalter umgelegt wird, wenn man Strom anlegt.

In den Anfangszeiten des Computers wurden dafür Relais benutzt. Diese konnten mit Strom angesteuert werden und agierten dann wie ein Schalter. Aber auch diese waren bald zu langsam und benötigten sehr viel Platz.

Später verwendete man Radioröhren anstatt Relais. Schließlich ging man aber zu Halbleiterelementen über und verwendete Transistoren um elektronisch zu schalten. Bis heute werden diese Transistoren (als Feldeffekttransistoren) im Prozessor verwendet.

Ziele

In diesem Kapitel lernst du ...

- Was Halbleiter sind und was diese mit Leitern und Isolatoren zu tun haben,
- warum sich die Leitfähigkeit von Halbleitern mit zunehmender Energie ändern lässt,
- welche typischen Halbleitersensoren in der Technik eingesetzt werden,
- was eine Halbleiterdiode ist und wozu diese eingesetzt werden kann,
- wie ein Bipolartransistor aufgebaut ist und welche Anwendungen er besitzt und
- wie man einen Transistor im Computer zum Schalten verwendet.

2.1 Grundbegriffe der Halbleitertechnik

Aufgabe 2.1

Lies dir den nachfolgenden Abschnitt durch und mache dir Notizen in dein Heft! Insbesondere die folgenden Fragen sollten beantwortet werden:

1. Was versteht man unter den Begriffen *Valenzelektronen*, *Valenzband*, *Leitungsband* und *freie Ladungsträger*?
2. Wie unterschieden sich *Isolatoren*, *Halbleiter* und *Leiter*? Übernimm eine entsprechende Abbildung ins Heft!
3. Welche Struktur nehmen Siliziumatome ein? Skizziere deren Bindung!
4. Was geschieht in dieser Anordnung, wenn sich Elektronen aus der Bindung lösen und ein elektrisches Feld angelegt wird?
5. Warum verändert sich die Leitfähigkeit der Halbleiter bei Temperaturänderung?

(ZA) Wie könnte eine 3D-Kristallstruktur des Siliziumkristalls aussehen? Wie ist diese zu erklären?

Damit wir uns mit Halbleitern beschäftigen können, müssen wir uns zunächst eine Vorstellung vom Aufbau eines Atoms machen. Das BOHR'sche Atommodell ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

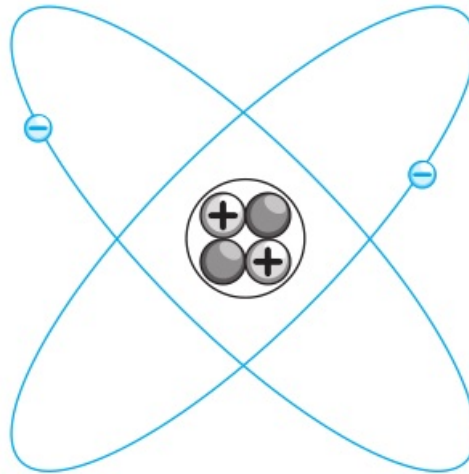


Abbildung 2.1: BOHR'sches Atommodell (Quelle: Hoffmann, Dirk)

Der *Atomkern* besteht dabei aus Protonen (+) und Neutronen (elektrisch neutral). Um den Kern kreisen die Elektronen (-) in der Atomhülle. Die Atomhülle ist in mehrere Schalen unterteilt. Die n -te Schale kann dabei $2n^2$ Elektronen beherbergen.

In der Physik unterscheidet man zwischen Isolatoren, Halbleitern und Leitern. Während Isolatoren nur sehr schlecht elektrischen Strom leiten, sind Leiter (wie das der Name schon sagt), sehr gute Stromleiter. Halbleiter bilden eine Art Zwischenstadium.

Abbildung 2.2 zeigt den Unterschied in den Energieniveaus.

Abgebildet ist dabei das Valenzband (unten). Dies ist das Energieniveau, bei dem sich Elektronen als Valenzelektronen verhalten, d.h. dass sie sich auf der äußeren ungesättigten Schale eines Atoms befinden.

Darüber ist das Leitungsband abgebildet. Dies ist das Energieniveau, bei dem sich Elektronen als freie Ladungsträger verhalten, d.h. dass sie sich frei im Atomverbund bewegen können, da sie sich durch Energieeinwirkung aus der Schale getrennt haben. Diese freien Ladungsträger können den gerichteten Stromfluss bilden, der durch eine Spannungsquelle induziert wird.

Wie abgebildet ist, gibt es zwischen diesen Bändern eine Sperrzone. Diese ist bei Isolatoren sehr groß. Das bedeutet, man muss bei Isolatoren sehr viel Energie aufwenden, um ein Elektron vom Valenzband in das Leitungsband zu befördern, um freie Ladungsträger zu bekommen.

Die Sperrzone bei Leitern ist nur sehr gering, sodass man nur wenig Energie aufbringen muss, um freie Ladungsträger zu bekommen.

Halbleiter haben eine schmalere Sperrzone als Isolatoren. Die Breite der Sperrzone kann in einigen Halbleitern beeinflusst werden.

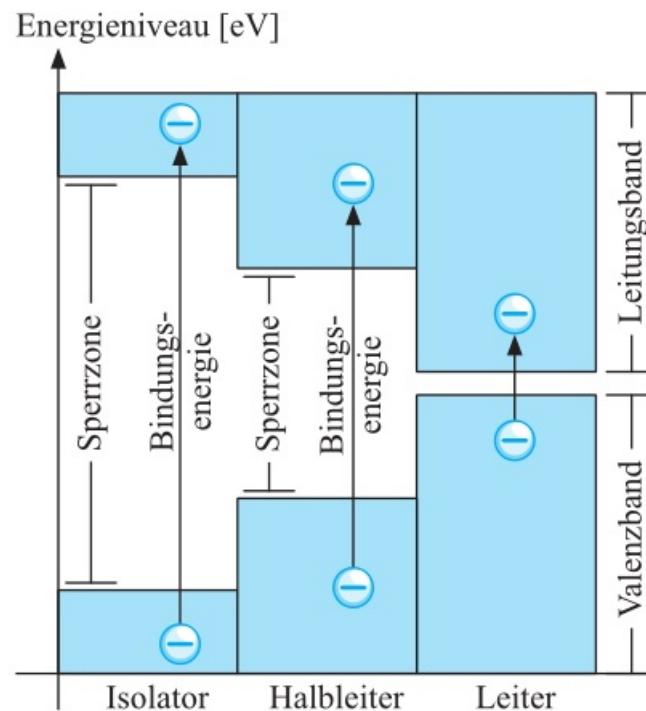


Abbildung 2.2: Isolator, Halbleiter und Leiter mit ihren Energieniveaus (Quelle: Hoffmann, Dirk)

Halbleiter sind als Kristalle angeordnet. Zu solchen Kristallen ordnen sich beispielsweise Silizium und Germanium an, die deshalb typische Halbleiter sind (siehe Abbildung 2.3). Diese Anordnung geschieht, da diese Elemente vier Elektronen in ihrer äußersten Schale besitzen. Damit diese Schale gesättigt wird (8 Elektronen), verbinden sich diese so, dass jedes der Elemente 8 Elektronen besitzt.

Legt man an einen solchen Kristall eine Spannungsquelle an, bewegen sich freie Ladungsträger in diesem Kristall zum Pluspol (physikalische Stromrichtung). Entsprechend entsteht ein Löcherstrom, der sich entgegen dieser Richtung zum Minuspol bewegt (technische Stromrichtung). Dies ist in Abbildung 2.4 dargestellt.

Diesen Löcherstrom beschreibt aber keine Bewegung von Elektronenlöchern (also freien Plätzen von Elektronen), sondern nur eine gedachte Bewegung. Dies kann man sich vorstellen, wie in einem Kino. Wenn in der Mitte ein Sitz frei bleibt, rückt ein Besucher nach, um besser sehen zu können. Entsprechend kann sein Sitznachbar auch nachrücken, u.s.w. Die Abbildung 2.5 zeigt das Prinzip. Dabei bewegt sich natürlich kein Kinositz, aber man könnte sagen, dass der freie Kinositz von rechts nach links durchwandert. Ebenso verhält es sich mit dem Löcherstrom.

Das Besetzen der Löcher (oder Defektelektronen) durch Elektronen nennt man *Paarbildung*. Durch eine angelegte Spannung wird es einem Elektron erleichtert seinen Platz frei zu geben, um ein benachbartes Elektronenloch zu besetzen. Dabei lässt es (wie bei den Kinositzen) ein neues Elektronenloch zurück.

Diese Paarbildung wird durch eine erhöhte Energieeinwirkung erleichtert. So kann man bei Halbleitern z.B. Wärme zuführen um diesen Effekt zu erleichtern. Daraus ergibt sich, dass die Leitfähigkeit von Halbleitern durch Energieeinwirkung verbessert werden kann.

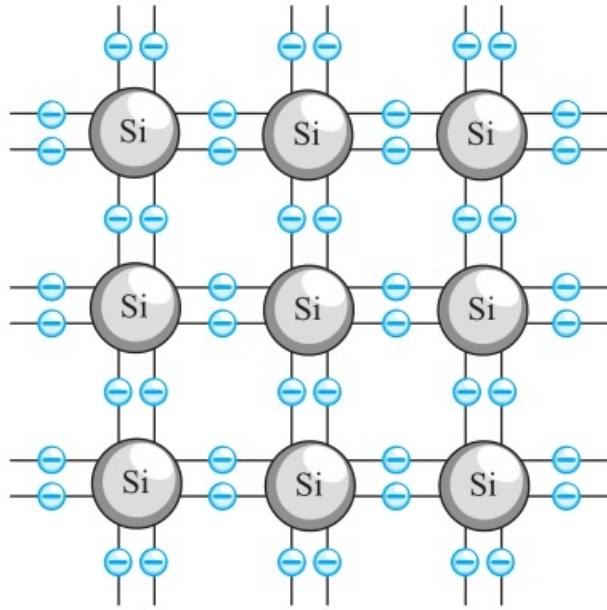


Abbildung 2.3: Kristall aus Siliziumatomen (zweidim. Anordnung) (Quelle: Hoffmann, Dirk)

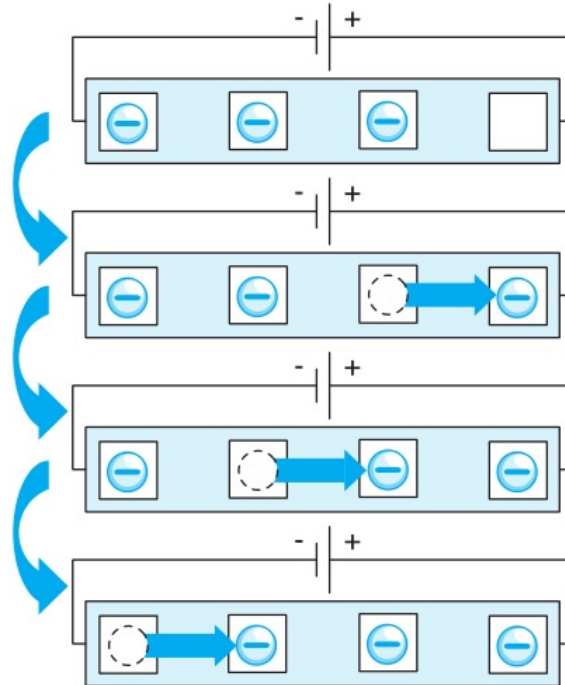


Abbildung 2.4: Kristall aus Siliziumatomen (zweidim. Anordnung) (Quelle: Hoffmann, Dirk)

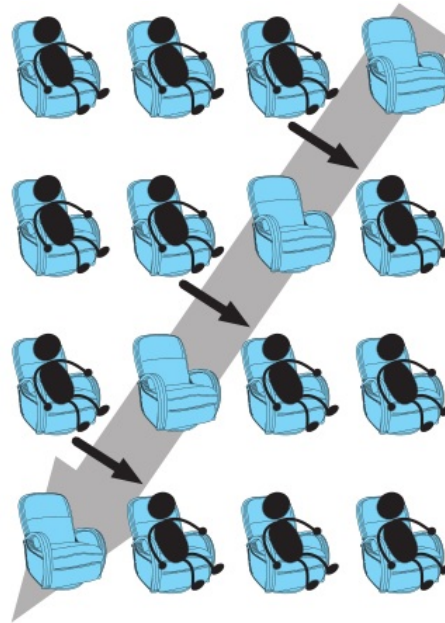


Abbildung 2.5: Der freie Kinositz bewegt sich gedacht nach links (Quelle: Hoffmann, Dirk)

2.2 Typische Halbleitersensoren

Aufgabe 2.2

Implementiere in YENKA einen Gleichstromkreis, der aus einer Batterie, einer LED und (Electronic Components \Rightarrow Inputs \Rightarrow Sensors):

- (a) einem Thermistor (Heißeiter)
- (b) einem LDR (with Lamp) (Fotowiderstand)

besteht. Teste die Schaltungen und deren Funktionsweise.

Hinweis: Verringere den Eigenwiderstand des Heißeiters durch Doppelklick auf $1\text{ k}\Omega$.

Sicherung

Ein *Heißeiter* (NTC - Negative Temperature Coefficient) oder *Thermistor* ist ein temperaturabhängiger Halbleitersensor. Steigt die Umgebungstemperatur, so verringert sich der Widerstand des Halbleiters und die Leitfähigkeit und damit die Stromstärke steigt. Anwendungen findet der Thermistor in Temperaturfühlern.

Ein *Fotowiderstand* (LDR - Light Dependent Resistor) ist ein lichtabhängiger Halbleitersensor. Steigt die einstrahlende Lichtintensität, so verringert sich der Widerstand des Halbleiters und die Leitfähigkeit und damit die Stromstärke steigt. Anwendung findet der Fotowiderstand in Beleuchtungsstärkemessern und Flammenwächtern.

Abbildung 2.6 zeigt die beiden Schaltsymbole der Halbleitersensoren. Übernimm diese in dein Heft!

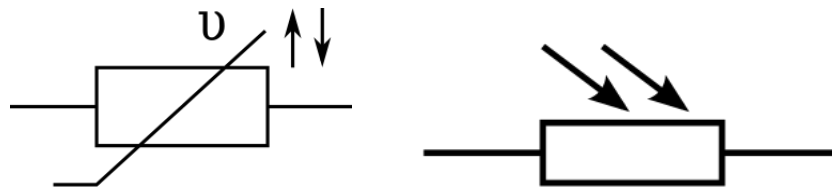


Abbildung 2.6: Schaltsymbol des NTC (links) und LDR (rechts) (Quelle: wikipedia.org)

Aufgabe 2.3

Implementiere in YENKA einen Gleichstromkreis, der folgende Anwendungen simuliert:

- (a) Eine Alarmanlage, die anspringt, wenn die Temperatur im Raum über ca. 30 Grad Celsius springt. Als Alarm kann hierzu der Buzzer (Electronic Components \Rightarrow Basic Components \Rightarrow Symbolic) verwendet werden

Hinweis: Verringere den Eigenwiderstand des Halbleiterelements durch Doppelklick darauf!

- (b) Eine Solarzelle, die bei Lichteinstrahlung eine LED (ebenda) betreibt.

(ZA) Eine Alarmanlage, die anspringt, wenn die Tür geöffnet wird. Die Tür ist durch einen Lichtsensor mit dem Buzzer gekoppelt, fällt kein Licht auf den Sensor, geht der Buzzer an. Verwende ein Relais (Inputs \Rightarrow Switches)!

2.3 Die Halbleiterdiode

Aufgabe 2.4

Implementiere in Yenka einen Stromkreis bestehend aus einer Batterie, einer Diode (Electronic Components \Rightarrow Analogue Processing \Rightarrow Discrete Semiconductors) und einem Amperemeter (Lab Equipment \Rightarrow Measurement).

- (a) Lege eine Tabelle für U und I an und miss die Stromstärke I für folgende Spannungen! Skizziere die Werte als Graph!

U in V	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
I									

- (b) Drehe die Diode um, sodass der Strom in die entgegengesetzte Richtung fließt! Wiederhole die Messung für die folgenden Spannungen!

U in V	0,5	1	10	25	50	51
I						

(c) Formuliere für (a) und (b) eine Beobachtung, wie eine Halbleiterdiode arbeitet.

(ZA) Wie ändert sich die Funktionsweise in (a) und (b) wenn man die Diode durch eine LED ersetzt?

Sicherung

Eine Diode besitzt eine Durchlass- und eine Sperrrichtung. In Durchlassrichtung fließt je mehr Strom, desto mehr Spannung anliegt. Ab einem gewissen Schwellenwert (ca. 0,5 V) steigt der Stromfluss sehr stark an.

In Sperrrichtung lässt die Diode keinen Stromfluss zu. Eine Diode kann deshalb als Sicherung in einem Stromkreis eingebaut werden, damit die Spannungsquelle nicht falsch herum angeschlossen wird.

Eine Diode ist also wie eine Einbahnstraße, in die eine Richtung darf Strom fließen, in die andere nicht.

Abbildung 2.7 zeigt den Stromfluss einer Diode in Abhängigkeit der angelegten Spannung. Dabei steht eine positive Spannung für das anlegen in Durchlassrichtung. Ab ca. 0,5 V (Schwellspannung) steigt der Stromfluss stark an.

Negative Spannungen geben die Polung in Sperrrichtung an. Hier fließt kein oder nur sehr wenig Strom (Sperrbereich). Ist der Durchbruchbereich erreicht, wird die Diode zerstört.

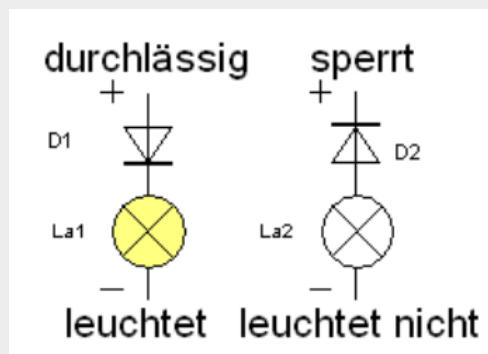
Zusatzaufgabe 2.1

Recherchiere im Internet zu den folgenden Fragen:

- Was bezeichnet das Dotieren eines Halbleiters und welche Formen gibt es?
- Durch welche Dotierungen wird eine Diode gebildet und wie verhalten sich die Dotierungen wenn keine Spannung, Spannung in Sperrrichtung und Spannung in Durchlassrichtung angelegt wird?
- Was bezeichnet die *Schwellspannung*?
- Was ist eine LED genau und wie ist diese mit der Diode “verwandt“?

Sicherung

Die folgende Abbildung zeigt, in welcher Richtung das Schaltzeichen einer Diode an den Pluspol angelegt werden muss, damit sie durchlässig (links) ist, oder sperrt (rechts).



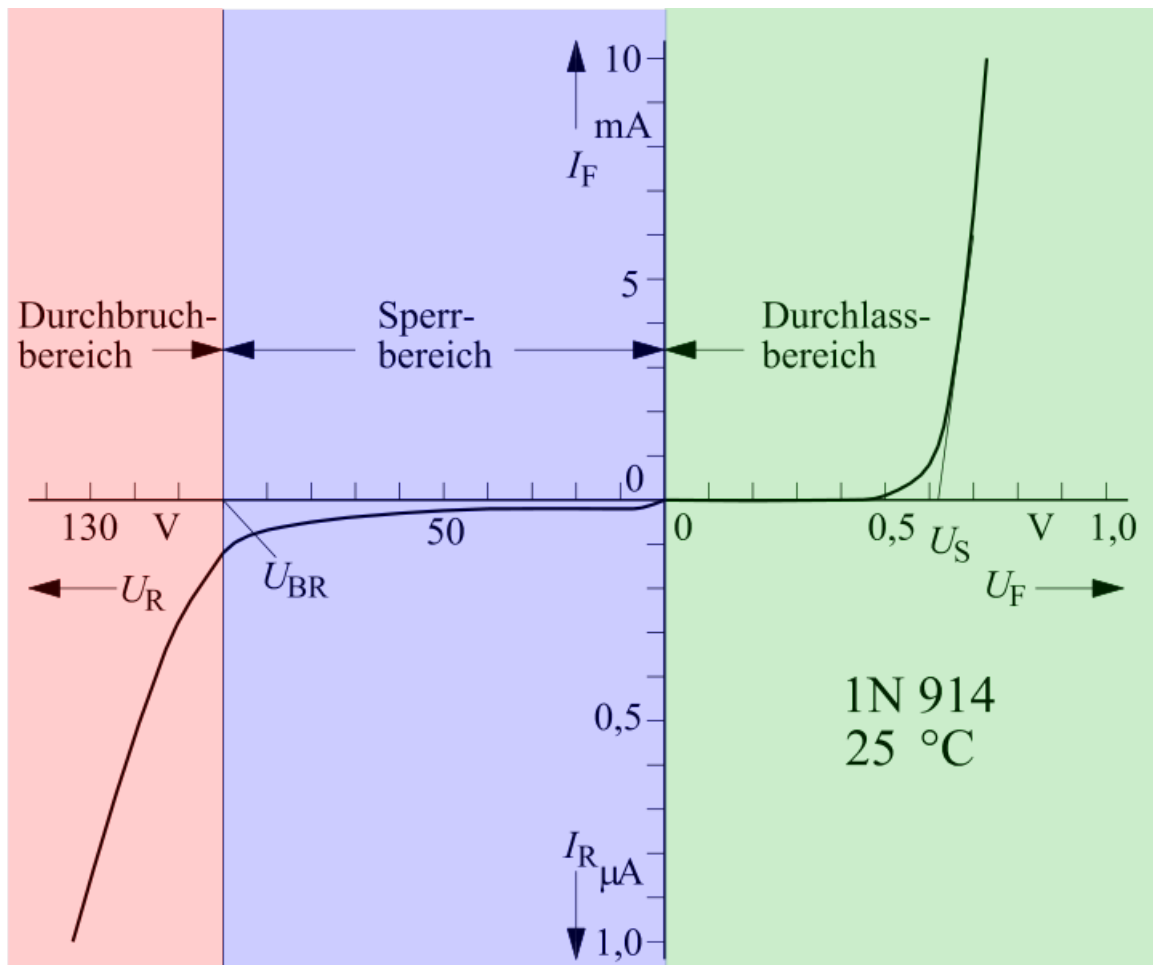
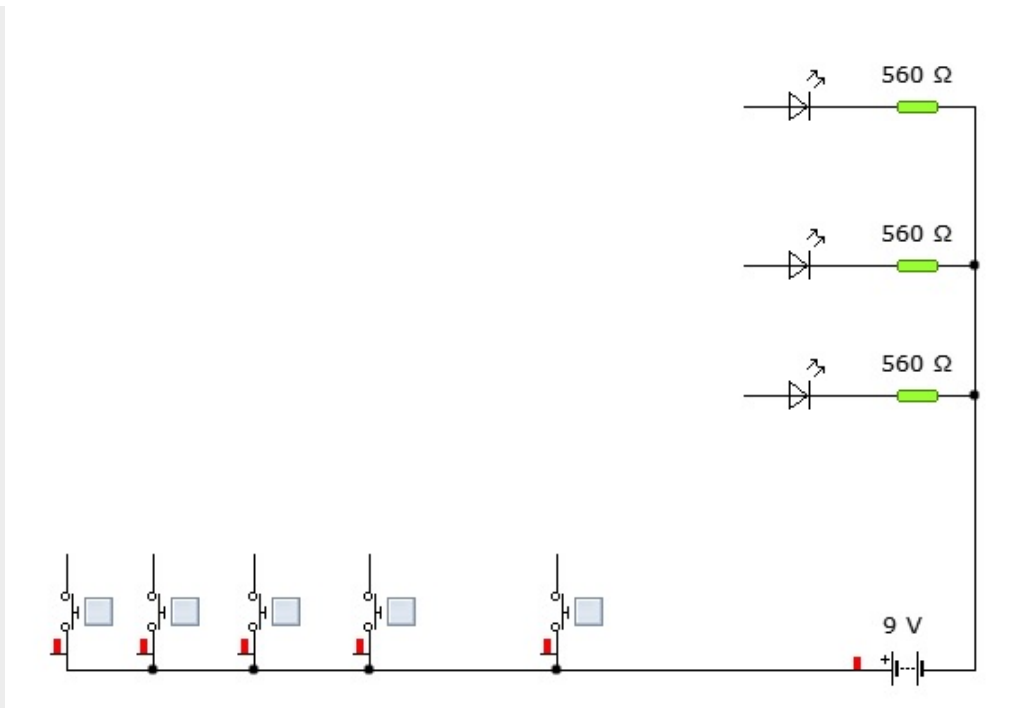


Abbildung 2.7: Stromfluss einer Diode abhängig von der angelegten Spannung (Quelle: wikimedia.org)

Quelle: strippenstrolch.de

Aufgabe 2.5

In der untenstehenden Abbildung sind die Schalter 1 bis 5 (von links nach rechts), sowie eine rote, eine gelbe und eine grüne LED (von oben nach unten) gegeben. Vervollständige die Schaltung durch Verbindungen und Dioden, sodass



- die rote LED beim Drücken von Schalter 1 leuchtet,
- die gelbe LED beim Drücken von Schalter 2 leuchtet,
- die grüne LED beim Drücken von Schalter 3 leuchtet sowie
- die rote und gelbe LED beim Drücken von Schalter 4 leuchten und
- alle LEDs beim Drücken von Schalter 5 leuchten.

2.4 Der Bipolartransistor

Ein Bipolartransistor besteht aus folgenden drei Anschlüssen, die in Abbildung 2.8 dargestellt sind.

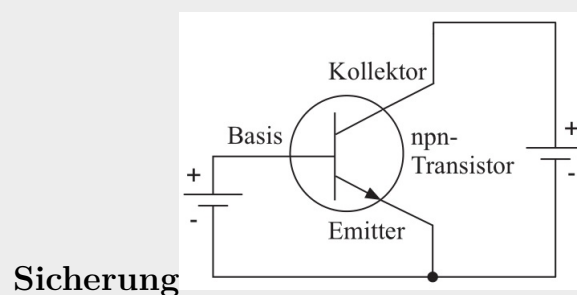


Abbildung 2.8: Begriffe am Transistor (Quelle: D. Hoffmann)

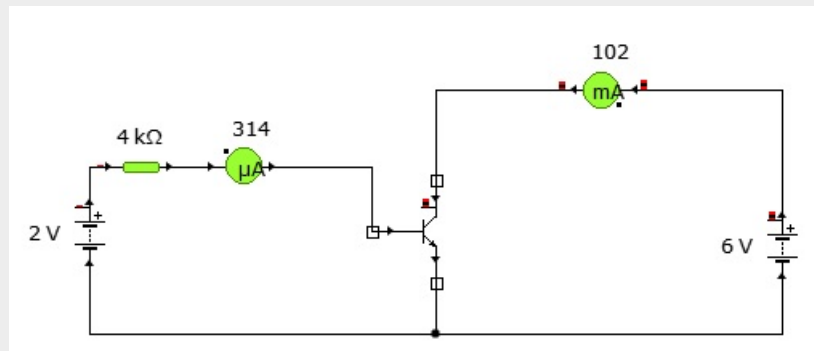
Aufgabe 2.6

Implementiere in YENKA die untenstehende Schaltung (Electronic Components \Rightarrow Analogue Processing \Rightarrow Discrete Semiconductors \Rightarrow NPN Transistor). Bestimme das Verhältnis der Stromstärke am Kollektor I_C zu der Stromstärke an der Basis I_B für die folgenden Widerstandswerte:

$$R = 4 \text{ k}\Omega, 8 \text{ k}\Omega, 15 \text{ k}\Omega, 25 \text{ k}\Omega, 50 \text{ k}\Omega$$

Formuliere eine Vermutung über die Funktionsweise eines Transistors!

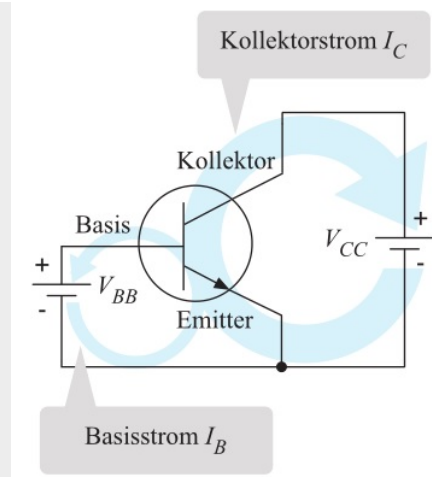
(ZA) Welcher funktionelle Zusammenhang besteht zwischen den Stromflüssen? Wie würde ein entsprechender Graph charakteristisch aussehen?

**Sicherung**

Das Verhältnis der Kollektor- zur Basisstromstärke wird auch Stromverstärkungsfaktor eines Transistors genannt.

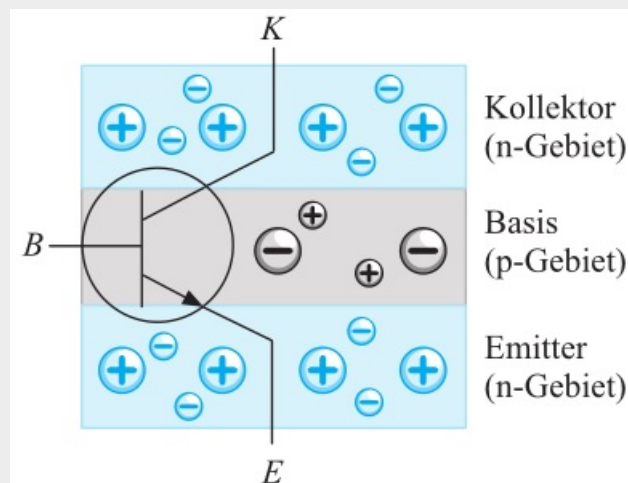
$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Ein kleiner Basisstrom (Steuerstromkreis) bewirkt einen großen Kollektorstrom (im Arbeitsstromkreis), wie in Abbildung dargestellt. Ein Transistor wird deshalb als elektronische Ansteuerung verwendet.



Zusatzwissen

Ein npn-Bipolartransistor besteht aus zwei n- und einem p-dotierten Halbleiter, die wie in der Abbildung zusammengesetzt werden:



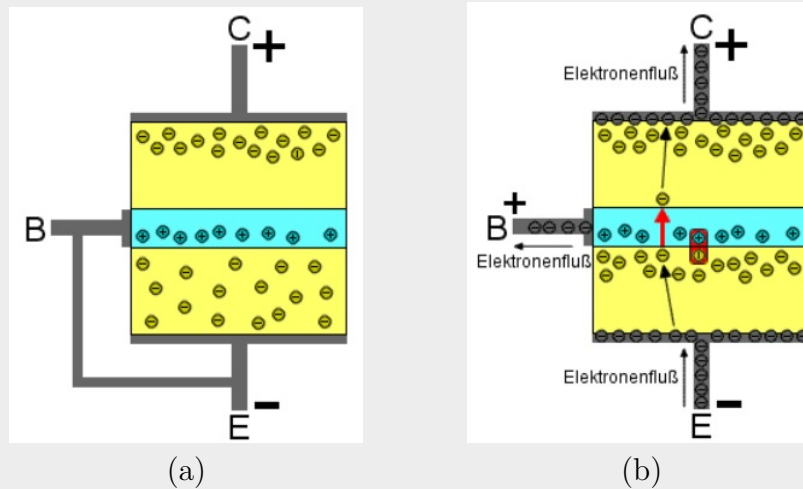
Im Folgenden soll geklärt werden, warum ein nur kleiner Strom an der Basis-Emitter-Strecke (Steuerstromkreis) einen großen Strom an der Kollektor-Emitter-Strecke (Arbeitsstromkreis) hervorruft. Diese Eigenschaft, die von β abhängt, nennt man die Verstärkerwirkung eines Transistors (siehe Abbildung).

Aufgabe 2.7

Zur Vorüberlegung und zum besseren Verständnis, mache dir zunächst Gedanken, wie die n- bzw. p-Schicht bei angelegter Spannung agiert, wenn eine Spannung an der Kollektor-Emitter-Strecke (U_{CE}) anliegt und ...

- (a) keine Spannung an der Basis-Emitter-Strecke anliegt ($I_B = 0$)
- (b) eine Spannung an der Basis-Emitter-Strecke anliegt ($I_B > 0$)

Lösung 2 (zu Aufgabe)
 Siehe dazu Abbildung 2.



- (a) Ist die Spannung der Basis-Emitter-Strecke gleich 0, fließt folglich auch kein Basisstrom. Damit ist der pn-Übergang der Kollektor-Emitter-Strecke in Sperrrichtung betrieben, da die n-Schicht des Kollektors am Pluspol angeschlossen ist und die p-Schicht der Basis über den Emitter am Minuspol angeschlossen ist. Somit sperrt der Transistor und es fließt auch kein Strom auf der Kollektor-Emitter-Strecke. Prinzipiell ist der Widerstand des Transistors damit unendlich groß.
- (b) Ist hingegen eine Spannung an der Basis-Emitter-Strecke angeschlossen wird der np-Übergang an der Basis-Emitter-Strecke in Durchlassrichtung betrieben. Wie in einer Diode rekombinieren die freien Ladungsträger in der Grenzschicht zwischen p- und n-Gebiet miteinander. Ab einer gewissen Schwellspannung kann der Strom ungehindert über die Basis-Emitter-Strecke fließen.

Durch die Rekombination gehen die Elektronen der Emitter-Schicht daher in die p-Schicht über. Da die Basis nur eine sehr dünne p-Schicht besitzt und der Emitter aber mit einer starken Dotierung bestückt ist, verschwindet durch die Rekombination die p-Schicht und wird zunächst neutral. Da immer mehr Elektronen nachkommen, können diese nun ungehindert in die n-Schicht des Kollektors, durch den Sog der Kollektor-Spannung, gelangen und es entsteht ein großer Kollektor-Emitter-Strom.

Die Computer der ersten Generation wurden zunächst aus Relais gebaut. Diese elektronisch steuerbaren Schalter waren jedoch groß, laut und vor allem langsam. Die Computer waren demnach raumgroß und an einen Rechner als *Personal Computer* war dabei noch nicht zu denken, denn nur Universitäten, Regierungseinrichtungen und das Militär konnten sich ein solch teures und großes Gerät leisten. In der zweiten Generation verwendete man hingegen Radoröhren als Schalter. Diese waren bereits wesentlich schneller, jedoch nicht kleiner.

Die dritte und vierte Generation unterscheiden sich in der Art der Konstruktion. Computer der vierten Generation, wie man sie seit den 1980er-Jahren kennt, besitzen *integrierte Schaltkreise*.

In der Computertechnik wird der Transistor jedoch eher als elektronisch steuerbarer Schal-

ter verwendet. Der Transistor als Schalter wird bereits seit der dritten Computergeneration verbaut, dabei handelt es sich aber um Feldeffekttransistoren, deren physikalische Erklärung jedoch etwas zu schwierig für uns ist. Im Folgenden wird auf den Einsatz des Transistors als Schaltelement eingegangen.

Aufgabe 2.8

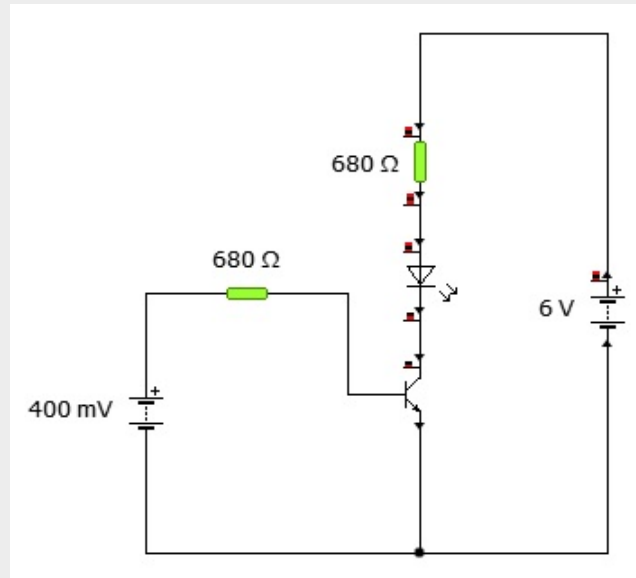


Abbildung 2.9: Transistor als Schalter.

Implementiere die Schaltung aus Abbildung 2.9 in YENKA! Beobachte den Zustand der LED für die beiden Werte $U_{BE} = 0,4\text{ V}$ und $U_{BE} = 5\text{ V}$ und beantworte die untenstehenden Fragen!

- Wie ist der Zustand der LED mit Hilfe der Funktionsweise des Transistors zu erklären?
- Diese Schaltung wird als elektronischer Schalter bezeichnet. Welche Verwandtschaft besteht zu einem mechanischem Schalter?

Zum Schalten lassen wir nur zwei verschiedene Spannungswerte für U_{BE} zu. Der erste wird als 0 oder L bezeichnet und bedeutet *niedrige Spannung*. Der zweite wird als 1 oder H bezeichnet und bedeutet *hohe Spannung*.

Die LED in Abbildung 2.9 ist nur als Repräsentant anzusehen. Ersetzt man diese durch einen Spannungsmesser und ließt die Spannung U_A daran ab, ergeben sich für 0 und 1 die folgenden Spannungsbereiche:

Sicherung

- für $U_{BE} < 0,8\text{ V}$ gilt logisch 0
- für $U_{BE} > 2,0\text{ V}$ gilt logisch 1
- für $U_A < 0,4\text{ V}$ gilt logisch 0
- für $U_A > 2,4\text{ V}$ gilt logisch 1

- dazwischen liegt der “verbotener Bereich“, da nicht sicher ist, ob dies 0 oder 1 entspricht.

Der Transistor kann ebenso als Inverter verbaut werden. Das bedeutet, dass für 0 am Eingang 1 am Ausgang anliegt und umgekehrt.

Aufgabe 2.9

Implementiere in YENKA eine Schaltung aus einem npn-Transistor und einer LED, die ein Eingangssignal invertiert. D.h. wenn U_{BE} logisch 0 ist, soll die LED leuchten (log. 1), wenn U_{BE} logisch 1 ist, soll die LED nicht leuchten (log. 0)!

Hilfestellung: Wenn du nicht voran kommst, markiere den folgenden Text und füge ihn in ein Textverarbeitungsprogramm ein um eine Hilfestellung zu bekommen:

Aufgabe 2.10

Benutze die Eigenschaft des Inverters und implementiere eine Schaltung in YENKA für folgendes Problem:

Bei einer Dämmerungsschaltung für Straßenlaternen leuchtet eine Reihe von Lampen, wenn die Umgebungshelligkeit unter einen kritischen Wert sinkt. Ist es hell genug, bleiben die Lampen ausgeschaltet.

(ZA) Stelle den Arbeitspunkt so ein, dass die LEDs nicht erst bei vollkommener Dunkelheit, sondern auch bereits bei Dämmerlicht anspringen.

Aufgabe 2.11

Öffne im Tauschordner die Datei Alarmanlage.yka. Implementiere mit den bisher verwendeten Halbleiterbauelementen eine Alarmanlage (als Arbeitsstromkreis), die folgende Anforderungen genügt (bis (N2) solltest du es schaffen):

(N1) Ein Lichtsensor wird an der Tür angebracht. Dieser besteht aus einem Laser (dargestellt durch eine Lampe) und trifft auf einen Fotowiderstand. Wird der Laser unterbrochen (Schalter offen) fließt ein Basisstrom und ein Buzzer springt an! Trifft der Laser ungehindert auf den Fotowiderstand (Schalter geschlossen), fließt kein Basisstrom und der Buzzer bleibt stumm. Der Alarm soll von dem Buzzer ausgelöst werden.

Hinweis:

(N2) Zusätzlich soll die Alarmanlage auch anspringen, wenn die Zimmertemperatur mehr als ca. 30 Grad beträgt.

Hiweis

(N3) Zusätzlich soll die Alarmanlage einen Rauchmelder besitzen. Dieser soll durch einen Lichtsensor realisiert werden, der zudem Alarm auslöst, wenn die Umgebungshelligkeit zu gering wird. Achte darauf, dass der Alarm nicht erst angeht, wenn vollkommene Dunkelheit herrscht.

2.5 Der Schwellenwertschalter

Zusatzwissen

Ein weiteres Halbleiterbauelement, dass in Schaltungen viel zum Einsatz kommt ist der Schwellenwertschalter, im Besonderen der *Schmitt-Trigger*.

Aufgabe 2.12

Öffne im Tauschordner die Datei *Schmitt-Inverter.yka*!

- (a) Fülle die Tabelle aus!
- (b) Formuliere die Arbeitsweise des Bauelements!
- (c) Skizziere einen Graphen, wobei an der x -Achse die Eingangsspannung und an der y -Achse U_2 abgetragen ist!
- (ZA) Welchen Vorteil könnte das unterschiedliche Schaltverhalten beim Auf- und Absteigen besitzen?

YENKA bietet uns leider nur den sogenannten *Schmitt-Inverter*, dieser funktioniert wie ein *Schmitt-Trigger*, invertiert das Signal aber noch zusätzlich.

Der *Schmitt-Inverter* lässt daher die anliegende Spannung ab einem gewissen Pegelwert durch, invertiert dann aber noch das Verhalten. Das heißt, unter der Pegelspannung U_P ist der Ausgang auf log. 1; über der Pegelspannung U_P ist der Ausgang auf log. 0.

Beim Hoch- und Runterdrehen der Spannung fällt auf, dass die Pegelspannung nicht die gleiche für beide Prozesse ist. Das bedeutet, dass beim Hochregeln später die Pegelspannung erreicht wird (ab ca. 3V) als beim Runterregeln (ab ca. 2V). Diese Eigenschaft wird *Hysterese* genannt und ist dafür da, dass kleine Spannungsschwankungen um den Schwellwert noch keine Auswirkungen auf die Ausgangsspannung haben.

Das Bauelement wird unter Anderem als Korrektur in Kabeln über weite Entfernungen verwendet, weil das Signal langsam abgeschwächt wird. Darüber hinaus kann es auch dazu verwendet werden, aus einem analogen Eingang (wie Lichtintensität) einen Wert als niedrig (0) oder hoch (1) darzustellen.

Aufgabe 2.13

Öffne im Tauschordner die Schaltung *Aufbau Schmitt Inverter.yka*

- (a) Teste die Schaltung für verschiedene Eingangsspannungen und beobachte das Verhalten der LED!
- (b) Überlege dir Antworten zu den folgenden Fragen:
 - Warum leuchtet die LED bei geringer Eingangsspannung?
 - Warum leuchtet die LED nicht bei hoher Eingangsspannung?

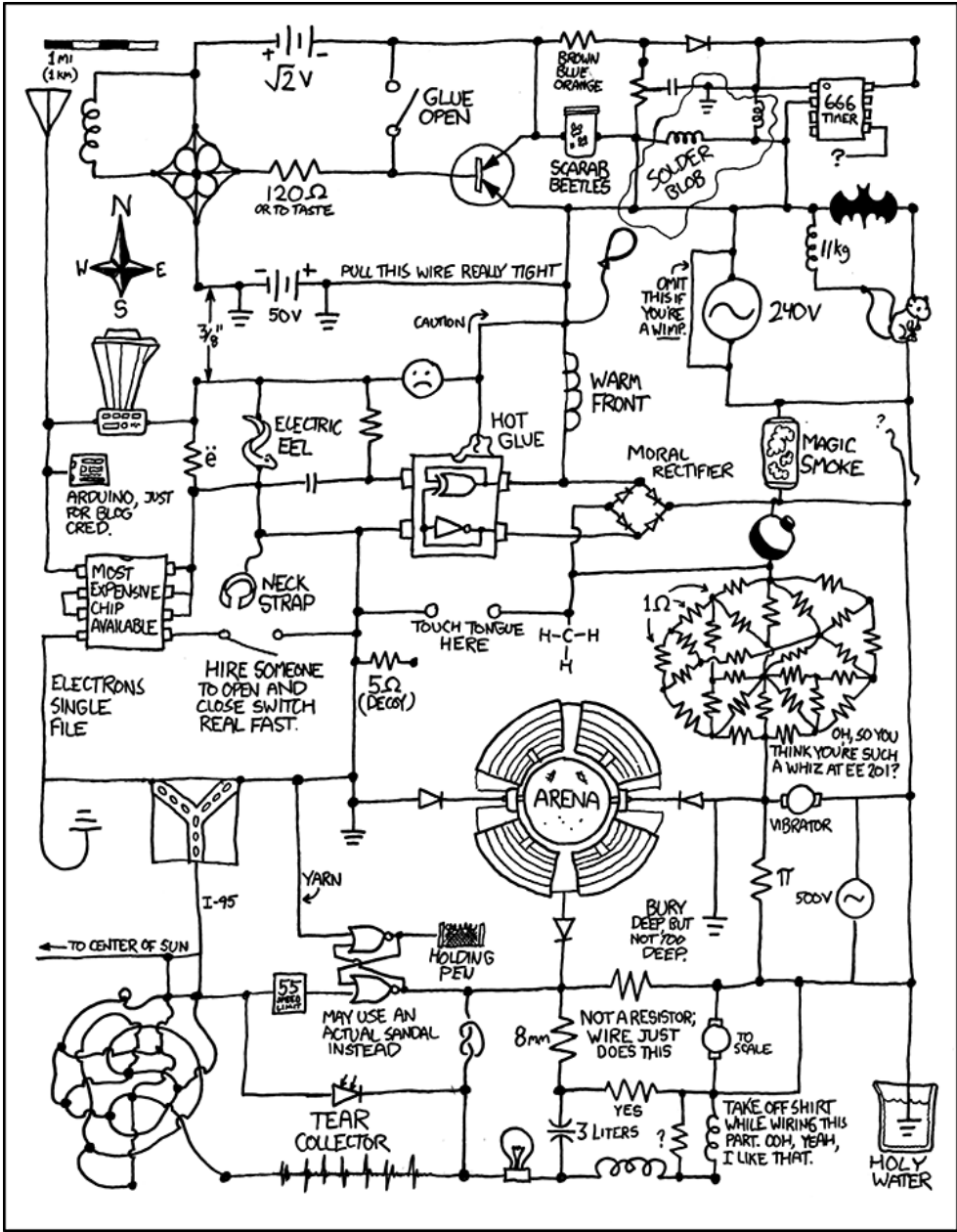
Aufgabe 2.14

Öffne im Tauschordner *Dämmerungsschaltung.yka*!

- (a) Verändere die Schaltung so, dass ein Schmitt-Inverter den Transistor ansteuert! (Denke daran, dass der Schmitt-Inverter bereits das Signal negiert)
- (b) Was ist der Vorteil des Schwellenwertschalters in dieser Schaltung?

Hinweis: Benutze einen Widerstand als Spannungsteiler für den LDR!

Zusammenfassung



Quelle: xkcd.com

In der Computer- und Informationstechnik sind Halbleiter unabdingbar. Ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften haben wir zu verdanken, dass Prozessoren und Chips mit der Leistung und Integrationsdichte (Transistoren pro Fläche) wie wir sie heute kennen, überhaupt möglich sind. Der Transistor kommt als Schaltelement in jedem heutigen Computerchip vor und ist dabei mehrere tausendmal schneller als die früher benutzten Röhrentrioden. Dabei setzt man aber auf Feldeffekttransistoren, statt auf Bipolartransistoren, deren Funktionsweise jedoch dieselbe ist.

Im nächsten Abschnitt wird weiter darauf eingegangen, wie aus einem Transistor ein Logikgatter entsteht.

3

Kapitel Drei

Kombinatorische Schaltungen

Unter Kombinatorischen Schaltungen versteht man elektrische Schaltungen aus mehreren Logikgattern. Diese findet man unter Anderem in einem Prozessor und sind die elementaren Bausteine der Logik eines Computers.

Ziele

In diesem Kapitel lernst du ...

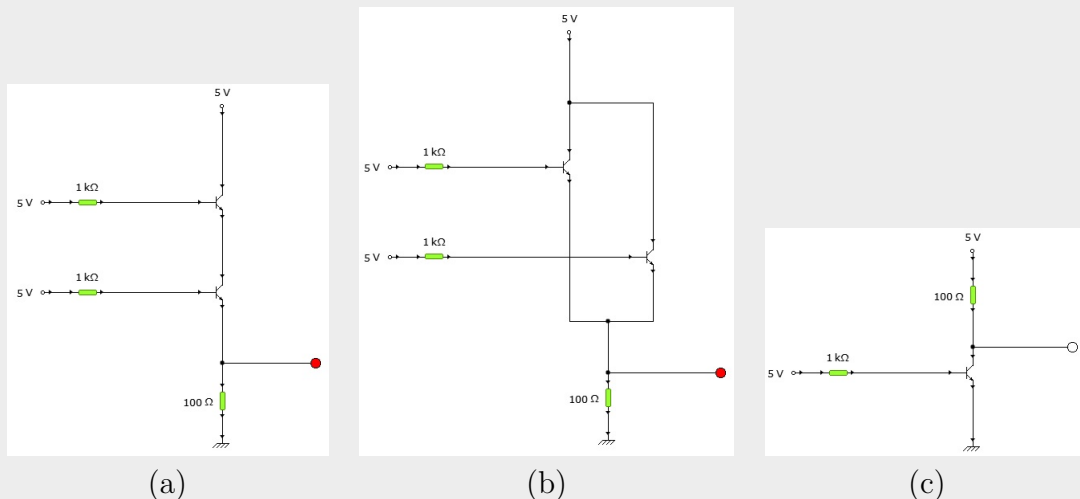
- wie Logikgatter aus Transistoren aufgebaut sind,
- die Grundlagen der Aussagenlogik,
- welche Darstellungsformen es für logische Schaltungen gibt,
- wie man von einer Problemstellung zu einer funktionierenden Schaltung gelangt,
- wie man logische Schaltungen verkürzen und minimalisieren kann,
- wie ein Computer mit Logikgattern addieren kann.

3.1 Logikgatter aus Transistoren

In Abschnitt 1.2 haben wir bereits Ersatzschaltbilder zu den Logikgattern angegeben. Diese bestanden jedoch noch aus gewöhnlichen Schaltern statt aus Transistoren. Nun werden wir die Logikgatter durch Transistoren beschalten lassen.

Aufgabe 3.1

Implementiere in YENKA die folgenden drei Transistorschaltungen. Den *Logic Indicator* findest du unter Lab Equipment \Rightarrow Logic.



Die Spannungen links stellen jeweils die Eingangsspannung dar. Die Spannung oben stellt die Versorgungsspannung dar. Unten ist jeweils die Masse (der Minuspol). Rechts zeigt der *Logic Indicator* an, ob hohe (1) oder niedrige (0) Spannung angelegt ist.

Implementiere die Schaltungen in YENKA und teste diese, indem du die Eingangsspannungen veränderst (0 oder 1). Gib an, um welches Logikgatter es sich jeweils handelt. Übernimm die Schaltungen in dein Heft!

Im folgenden wird geklärt, warum die Transistorschaltungen wie die entsprechenden Logikgatter funktionieren.

Beginnen wir bei (a). Mache dir Stichpunkte darüber in dein Heft. Dafür benötigen wir die Spannungsteilerregel. Die Versorgungsspannung von 5V (ganz oben) fällt bis zur Masse (ganz unten) vollständig ab. Über jedem Widerstand auf dieser Strecke fällt dabei etwas dieser 5V ab. Je größer ein Widerstandswert, desto mehr Spannung fällt über diesen ab.

Sind nun beide Eingänge auf 1 (links), werden die beiden Transistoren mit hoher Spannung angesteuert. Dadurch haben beide Transistoren einen sehr kleinen Widerstand. Über beiden Transistoren fällt demnach nur sehr wenig Spannung ab. Der Rest der Spannung muss also am unteren Widerstand abfallen (300Ω). Demzufolge ist zwischen dem Transistor und dem unteren Widerstand, also dort, wo wir die Spannung mit dem *Logic Indicator* messen, eine hohe Spannung zu finden (1). Kurz gesagt: Sind beide Eingänge auf 1, ist auch der Ausgang auf 1.

Ist allerdings mindestens ein Eingang auf 0, liefert also wenig Spannung an den entsprechenden Transistor, dann hat dieser Transistor einen riesigen Widerstand. Das bedeutet, über diesem Transistor fällt der Hauptteil der Versorgungsspannung ab. Hinter beiden Transistoren ist dann nur sehr wenig Spannung vorhanden. Der *Logic Indicator* liegt demnach auf 0.

All diese Beobachtungen kannst du auch in YENKA sehen, wenn du mit der Maus auf ein Bauelement gehst. Beobachte die Spannungswerte am Eingang und am Ausgang der Widerstände.

Aufgabe 3.2

Untersuche auf die gleiche Weise, warum die Schaltung in (b) wie ein OR-Gatter arbeitet! Mache dir Stichpunkte dazu in dein Heft! Dafür solltest du den Maschensatz (Abbildung 1.3) noch einmal wiederholen.

Zusatzaufgabe 3.1

Untersuche auf die gleiche Weise, warum die Schaltung in (c) wie ein NOT-Gatter arbeitet!

Aufgabe 3.3

Implementiere auf gleiche Weise das NAND- und das NOR-Gatter als Transistorschaltung. Das NAND-Gatter stellt dabei die Negation des AND-Gatters dar (NOT AND). Das NOR-Gatter ist die Negation des OR-Gatters (NOT OR). Dabei kannst du durch Kombination der obigen Schaltungen darauf kommen. Es gibt aber auch je eine Lösung, die nur zwei Transistoren benötigt!

Aufgabe 3.4

Gib für das NAND- und das NOR-Gatter eine Schalttable und einen logischen Term an!

In der Realität stellt das NAND-Gatter das wichtigste der Gatter dar. Denn im Prozessorbau werden nur NAND-Gatter verwendet. In der Tat kann man jedes Gatter durch ein NAND-Gatter ersetzen (auch wenn man teilweise mehrere NAND-Gatter braucht um bspw. das AND-Gatter darzustellen). In der Praxis ergeben sich dadurch dennoch Kostenersparnisse, da man nur ein Gatter produzieren muss.

3.2 Kombinationen der Gatter

Hinweis: In Schaltungen, die aus Logikgattern bestehen, lässt man üblicherweise Spannungsquellen und Versorgungsspannungen weg. Für eine sogenannte *logische Schaltung* werden demnach nur die Logikgatter, Eingänge (in Form von Schaltern) und einen Ausgang (oder mehrere Ausgänge) benötigt.

Obwohl es nicht danach aussieht, handelt es sich dennoch um einen Gleichstromkreis.

Aufgabe 3.5

- (a) Gegeben ist die Funktionsdarstellung einer Schaltung mit:

$$(a \wedge b) \wedge c$$

Lege eine Schaltbelegungstabelle an und implementiere die Schaltung in YENKA!

Hinweise: Logikgatter befinden sich in YENKA unter Electronic Components \Rightarrow Digital Processing \Rightarrow Digital 4000 Series \Rightarrow Logic Gates. Stelle mit Rechtsklick \Rightarrow Properties \Rightarrow Electronics \Rightarrow Appearance auf Logic Levels und Use IEC Logic Symbols um!

Für die Eingänge bietet sich unter Lab Equipment \Rightarrow Logic die Latching Logic Inputs an, für den Ausgang der Logic Indicator, ebenda.

- (b) Gib eine Schaltbelegungstabelle an und implementiere die Schaltung: $(a \vee b) \vee c$
- (c) Wofür stehen die Klammern? Was passiert am Ausgang, wenn man stattdessen $a \wedge (b \wedge c)$ implementiert?

Um eine Schaltung aus mehreren Gattern zu implementieren, muss man aus dem logischen (oder mathematischen) Term die Reihenfolge der Verarbeitung der Signale erkennen.

Dabei gilt die folgende Reihenfolge der Symbole:

$$(), \neg, \wedge, \vee.$$

Das bedeutet, dass Klammerterme, wie in der Mathematik üblich, zuerst miteinander verbunden werden. Danach folgt die Negation. Das AND bindet darüber hinaus stärker als das OR.

4

Kapitel Vier

Anhang

4.1 Lösungen zu Kapitel 1

Hier findest du die Lösungen zur Selbstkontrolle!

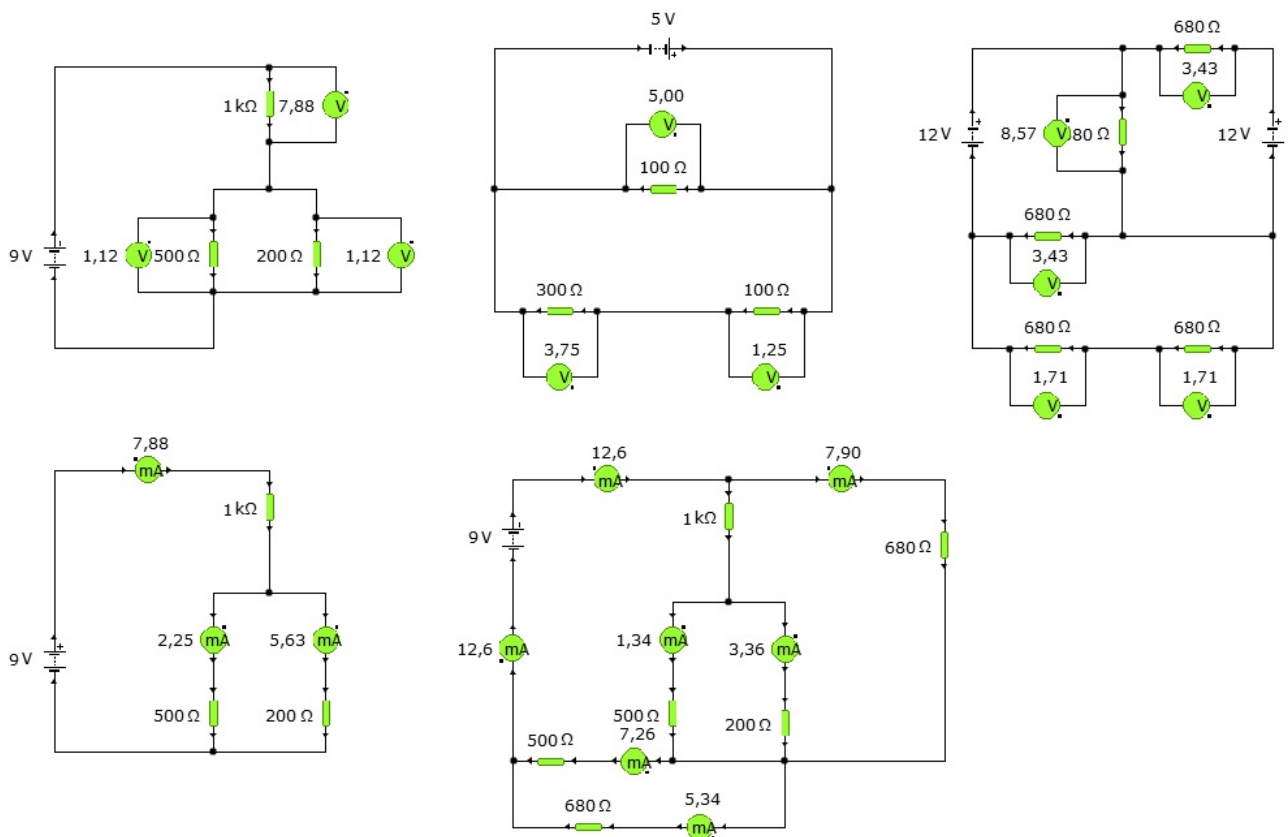
Lösung 3 (zu Aufgabe 1.1)

Elektrischer Strom ist die Bewegung von *elektrischen Ladungsträgern* (zB. Elektronen) in eine gemeinsame Richtung.

Dieser ist nur in geschlossenen Kreisläufen möglich, man spricht vom *elektrischen Stromkreis*. Die Bewegung der Ladungsträger wird von einer *Spannungsquelle* hervorgerufen.

Lösung 4 (zu Aufgabe 1.1 und 1.1)

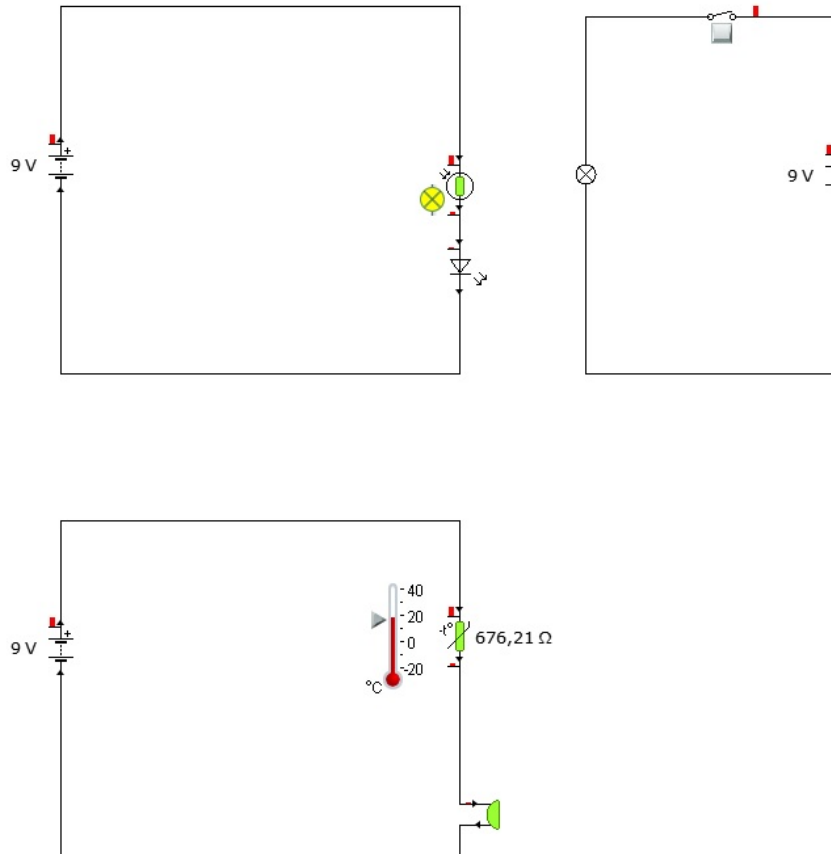
Die vollständigen Werte:



4.2 Lösungen zu Kapitel 2

Lösung 5 (zu Aufgabe 2.2)

Oben (a), unten (b)

**Lösung 6** (zu Aufgabe 2.3)

(a)

U in V	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
I	0,01	0,01	0,02	0,17	8,39	393	20 mA	987 mA	z

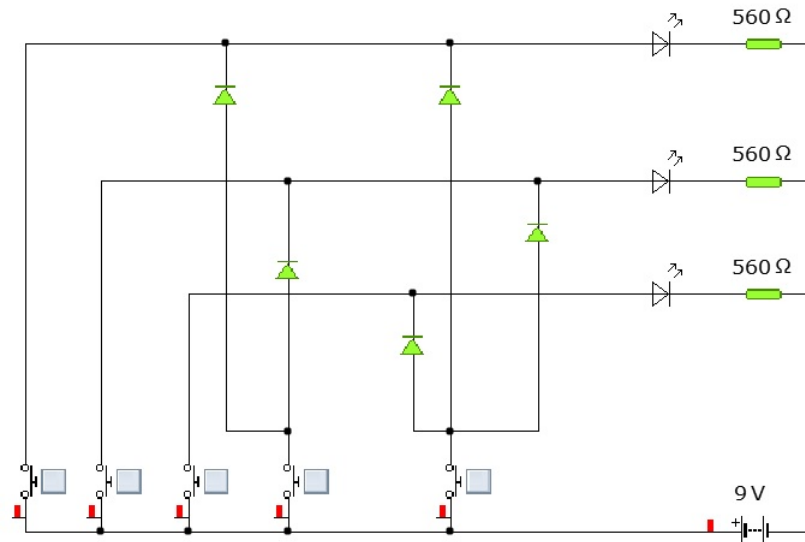
(b)

U in V	0,5	1	10	25	50	51
I	0	0	0	0	0	zerstört

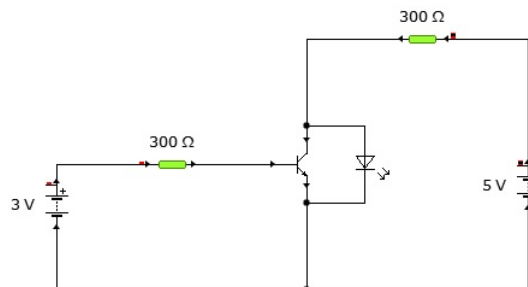
- (c) Die Diode kann in zwei Richtungen betrieben werden, in der einen Richtung (a), lässt sie Strom fließen, bis ca. 0,9 V, dann wird sie zerstört. In der anderen Richtung lässt sie keinen Stromfluss zu, bis ca. 51 V, dann wird sie zerstört.

Lösung 7 (zu Aufgabe 2.3)

Die Lösung:



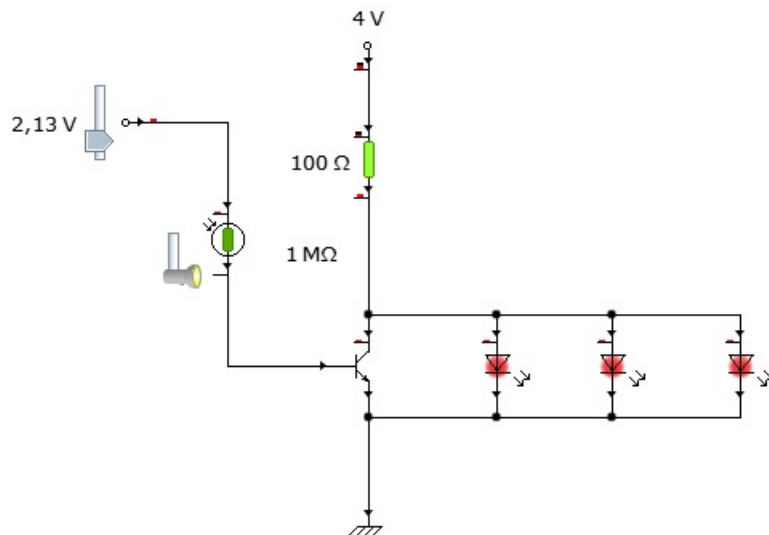
Lösung 8 (zu Aufgabe 2.4)



Die LED (bzw. der Ausgang) muss parallel zum Transistor geschaltet werden. Wird die Basis mit niedriger Spannung angesteuert (0) dann wird der Widerstand des Transistors sehr groß und der Strom der Kollektor-Emitter-Strecke fließt über die LED ab (Ausgang 1).

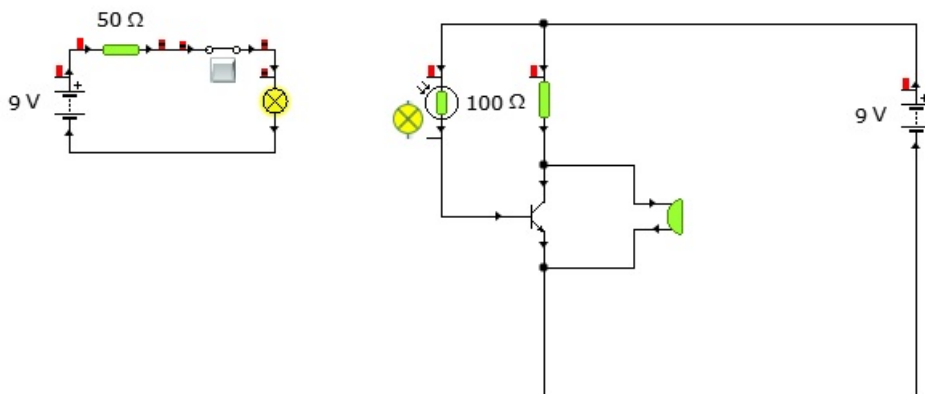
Wird die Basis mit hoher Spannung angesteuert (1), dann wird der Widerstand des Transistors klein (und kleiner als der Widerstand der LED) und der Strom der Kollektor-Emitter-Strecke fließt über den Transistor ab (Ausgang 0).

Lösung 9 (zu Aufgabe 2.4)

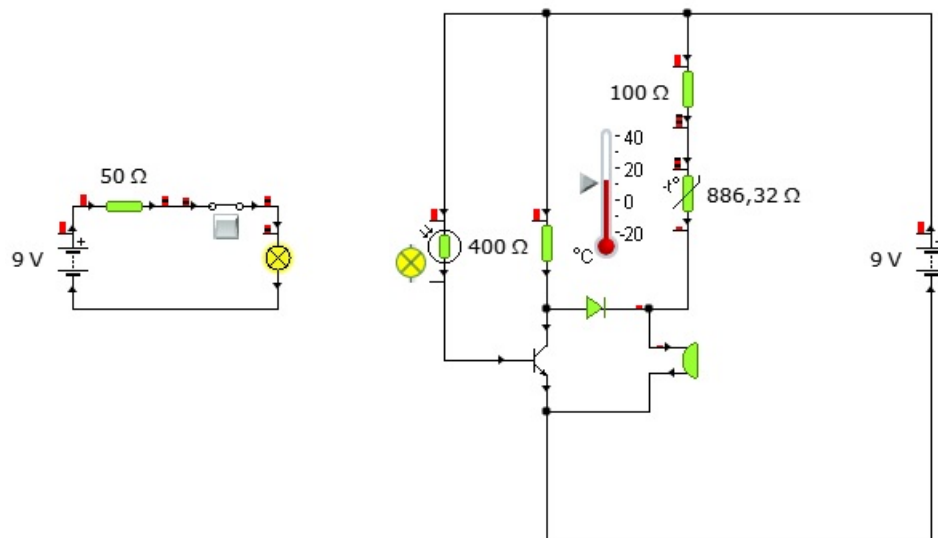


Die Spannung an der Basis dient als Eingangsspannung. Die Spannung am Emitter dient als Arbeitsspannung. Die LEDs sind parallel zum Transistor geschaltet, um deren Arbeitsweise zu invertieren.

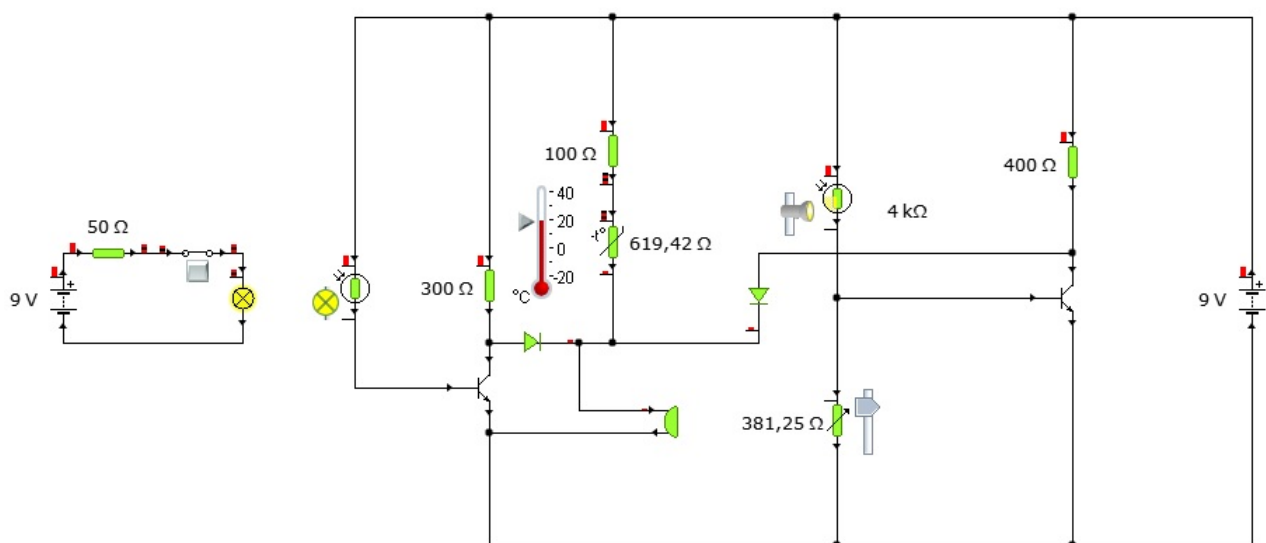
Lösung 10 (zu Aufgabe 2.4)



(N1) Die Schaltung links dient als Steuerschaltung für den Fotowiderstand im Arbeitsstromkreis (rechts). Der Buzzer ist parallel zum Transistor geschaltet, um seine Eigenschaften zu invertieren.



- (N2) Der Thermistor steuert den Buzzer direkt an, da in diesem Fall die Eigenschaften nicht invertiert werden sollen. Damit der Thermistorstrom nicht über den Transistor abfließen kann, ist auf der entsprechenden Leitung unbedingt eine Diode einzufügen, die den Stromfluss nur in die andere Richtung zulässt!



(N3)

Lösung 11 (zu Aufgabe)

Der Schmitt-Inverter dient als Schwellenwertschalter. Bis zu einer gewissen Schwellspannung gibt er am Ausgang log. 1 aus. Nach dieser Schwellspannung gibt er am Ausgang log. 0 aus.

4.3 Lösungen zu Kapitel 3

Lösung 12 (zu Aufgabe 3.1)

Es handelt sich um das AND-Gatter (a), um das OR-Gatter (b) und um das NOT-Gatter (c).

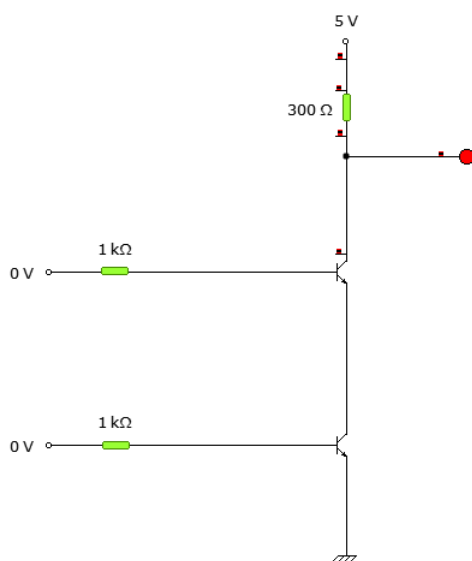
Lösung 13 (zu Aufgabe 3.1)

Sind beide Eingänge auf 0, so sind die Widerstände über den Transistoren sehr groß und die Spannungsabfälle über den Transistoren so groß im Vergleich zum Widerstand unten, dass der Hauptteil der Versorgungsspannung über den Transistoren abfällt. Demnach ist der Ausgang auf logisch 0.

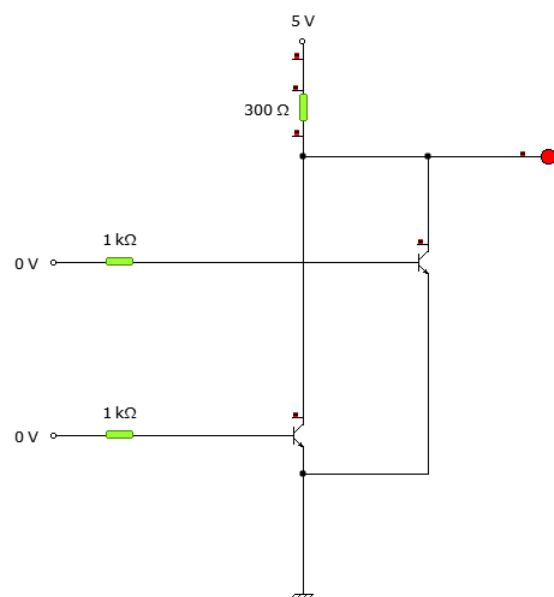
Ist mindestens einer der Eingänge auf 1, so ist der Widerstand des entsprechenden Transistors klein und folglich der Spannungsabfall nur sehr gering. Laut Maschensatz ist auch der Spannungsabfall des anderen Transistors sehr gering. Entsprechend ist vor dem unteren Widerstand noch viel Spannung übrig und der Ausgang liegt auf logisch 1.

Lösung 14 (zu Aufgabe 3.1)

NAND als Transistorschaltung



NOR als Transistorschaltung



Lösung 15 (zu Aufgabe 3.1)

NAND-Gatter:

a	b	$\neg(a \wedge b)$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NOR-Gatter:

a	b	$\neg(a \vee b)$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0