

Elektronik / Digitaltechnik

(c) 2014-2020

(philipp gressly freimann)

(v 1.18 vom 25. Feb. 2020)

Das folgende Skript ist als 2-tägige Einführung in die Elektronik und speziell in die Digitaltechnik konzipiert.

Ziel: Wir lernen, dass mit einfachen Mitteln (Relais) ein Computer gebaut werden kann.

Ebenso ist es eine Einführung ins Rechnen mit Transistoren und wir werden die elementaren logischen Bausteine (NOT, OR, AND) selbst zusammenbauen.

Wir verstehen, wie ein Computer im innersten funktioniert: Dazu bauen wir einen «Rechner», der zwei (Binär)zahlen von je 0-15 addieren kann.

Korrekturen und Hinweise erwünscht: Der Autor ist KEIN Elektroniker! Fehler in den Schaltungen und vor allem in den Erklärungen mögen vorkommen. Hier bin ich für jegliche Hinweise dankbar (philipp.freimann@bbw.ch).

Ich gebe mir jedoch Mühe, die Schaltungen a) zu prüfen ob sie mit 9V Batterien auch wirklich funktionieren und b) die Schaltungen möglichst immer nach dem selben Schema aufzubauen (dazu gehört z. B. immer der selbe Vorwiderstand an Transistoren und dessen Einzeichnen im Schema immer horizontal). Auch hier bin ich froh ums Aufspüren von Inkonsistenzen und natürlich immer offen für didaktische Verbesserungen: philipp.freimann@bbw.ch.

Die Schaltungen werden mit den folgenden Symbolen bezeichnet:

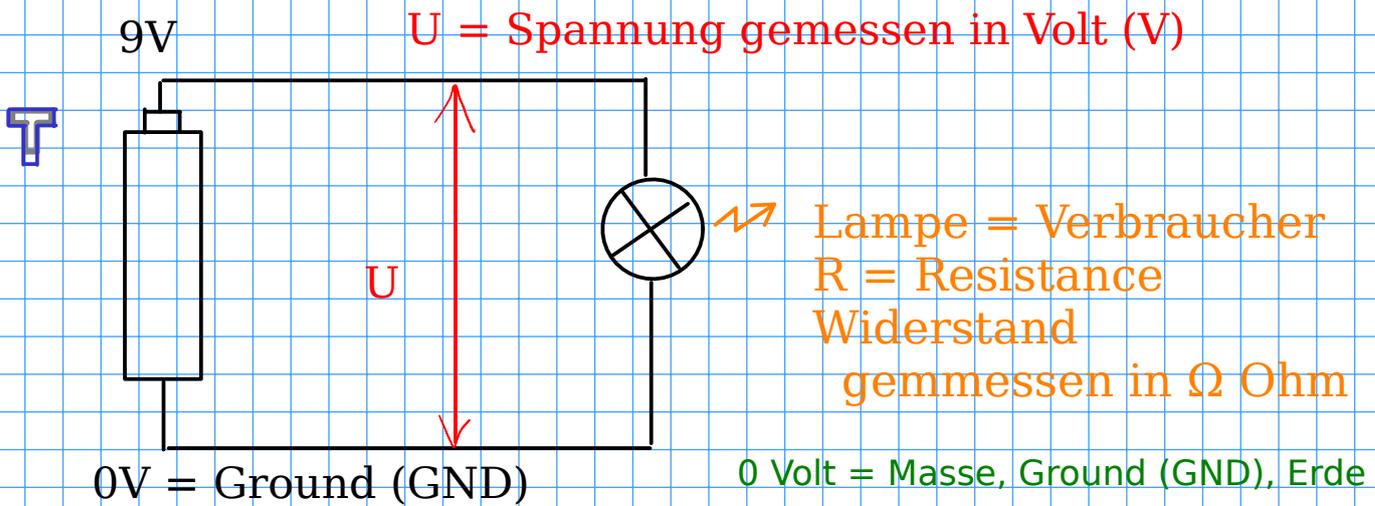
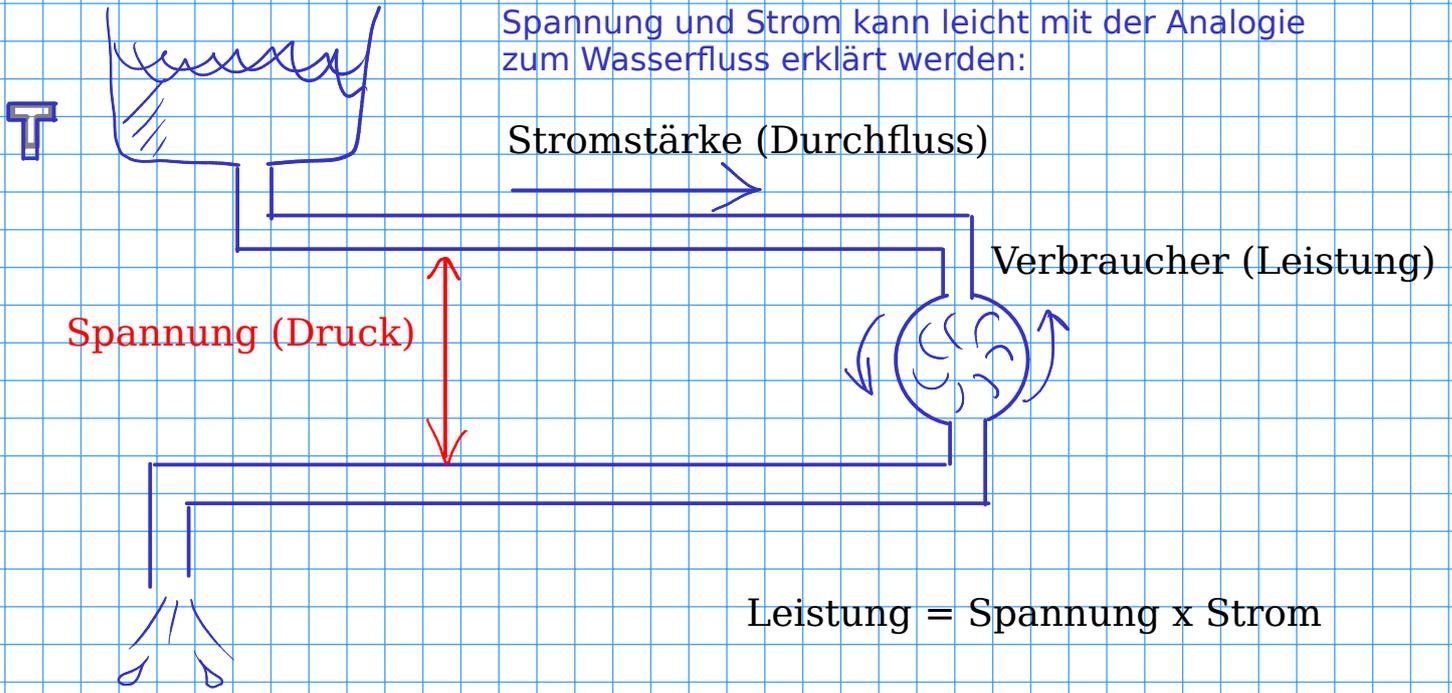
T

= Reine Theorieschaltung: Muss/kann nicht aufgebaut werden

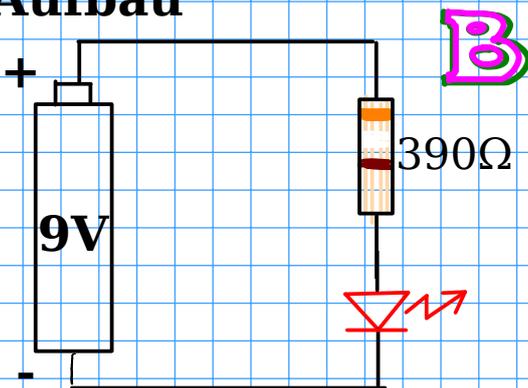
B

= Bauen, basteln, lernen: Falls Zeit zusammenbauen

Spannung und Strom



Aufbau

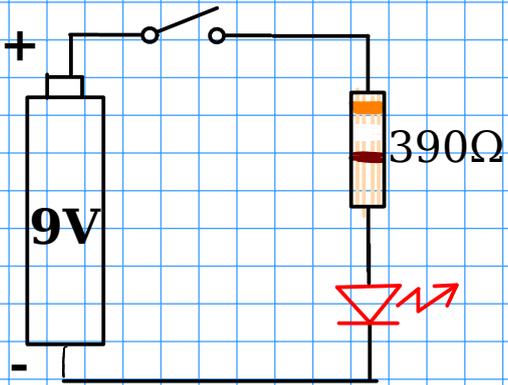


Vorwiderstand 390 Ohm
orange / weiß / braun (/ gold)

LED: Licht emitierende Diode

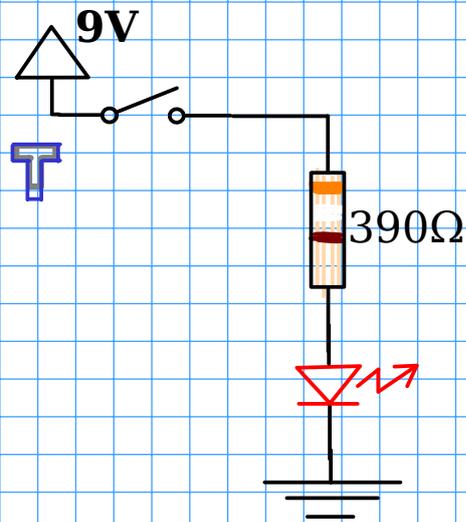
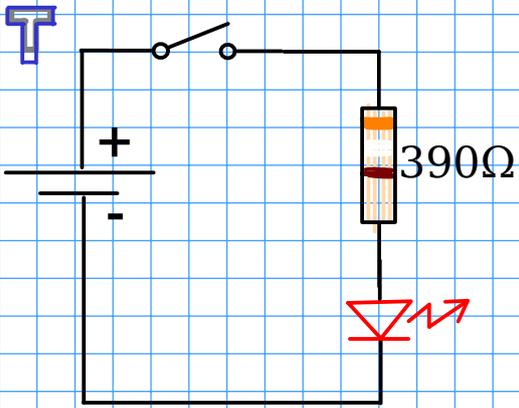
Stromkreis und Symbole

B

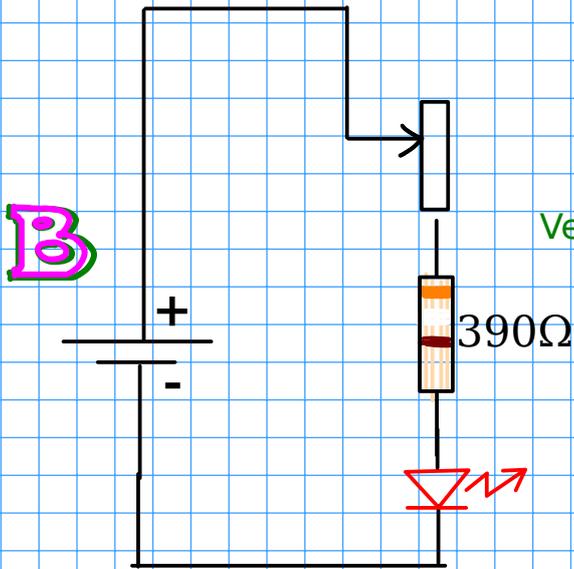


Nur in einem geschlossenen Stromkreis können die Elektronen fließen.

alternative Notationen



Wie groß soll der Vorwiderstand sein?

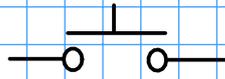


Verwende ein Potentiometer von 10k-100k Ohm

Unsere LEDs brauchen je nach Farbe
2.2 - 2.5 Volt zum Leuchten.

Symbole

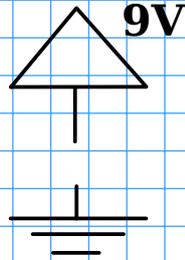
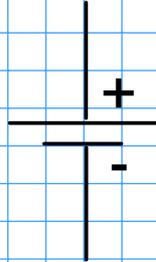
Taster



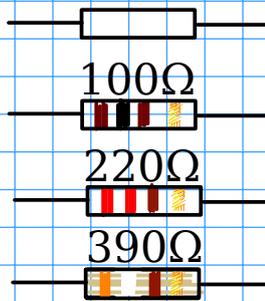
Schalter



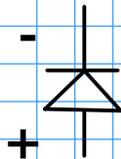
Batterie



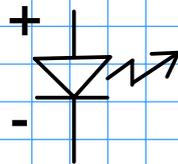
Widerstand



Diode



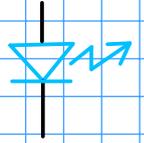
LED



In dieser Einführung benutzte Widerstände

1.  **Vorwiderstand für 6V Relais im 9V-Betrieb (Korrekt wäre 32 Ohm, doch die Batterien werden rasch schlapp)**

2.  **Vorwiderstand vor Diode Blau**



3.  **Vorwiderstand vor den Dioden Rot, Orange bzw. Grün**



4.  **9V/GND Widerstand bei Transistorschaltungen**

5.  **Transistor Basis-Vorwiderstand**

Die Widerstände sind evtl. für die folgenden Schaltungen nicht die optimalen Werte.

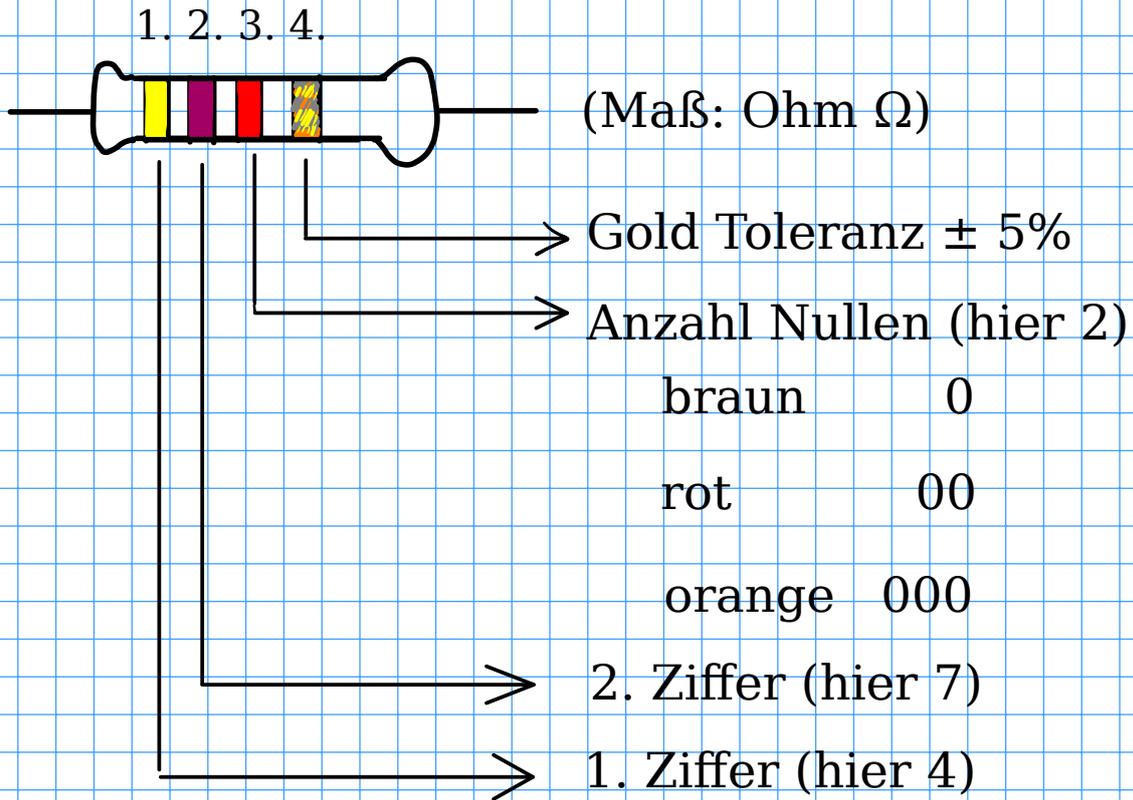
Die Widerstände wurden so gewählt, dass der erste Ring (1, 2, 3, 4, 5) nicht verwechselt werden kann (er entspricht gleich auch der Widerstandsnummer: je höher, desto größer der Widerstand).

ACHTUNG: von 9V nach GND muss IMMER ein Widerstand dazwischen liegen!

Ansonsten wird die Batterie kurzgeschlossen, was diese überhitzen und zerstören kann!

(Ein Vergessen des Vorwiderstandes vor der Diode hat wohl nur zur Folge, dass die Diode zerstört würde.)

Farbcode bei Widerständen



obiges Beispiel: $4'700 \Omega = 4.7k$ (auch als 4K7 bezeichnet)

0		schwarz
1		braun
2		rot
3		orange
4		gelb
5		grün
6		blau
7		violett
8		grau
9		weiß

$$U = R \times I$$

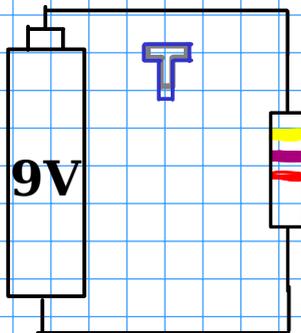
U (Urgere, Druck) = Spannung in Volt (V)

R (Resistance) = Widerstand in Ohm (Ω)

I (Intensität) = Stromstärke in Ampère (A)

Formel: $U = R \times I$

Rechenbeispiel



4.7k Ω : gelb/violett/rot (gold)

$$U = 9V$$

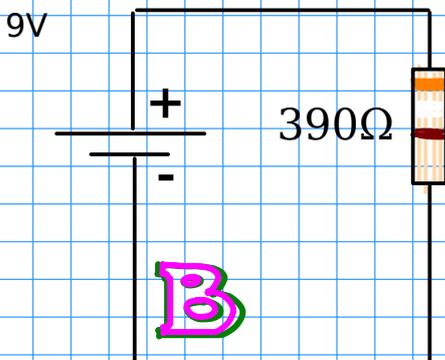
$$R = 4700\Omega$$

$$I = ?$$

$$U = R \times I \Rightarrow I = U / R$$

$$\text{hier: } I = 9 / 4700 \approx 0.001915 = 1.915 \text{ mA (Milliampère)}$$

Leistung $P = U \times I$



Leistung P (Power) gemessen in Watt (W)

$$P = U \times I$$

$$\text{Hier: } U = R \times I$$

$$\text{also } I = U / R \text{ und } P = U^2 / R$$

mit Zahlen:

$$9V \text{ und } 390\Omega \Rightarrow P = 9 \times 9 / 390 \text{ ca. } 0.2 \text{ Watt}$$

$$9V \text{ und } 100\Omega \Rightarrow P = 9 \times 9 / 100 \text{ ca. } 0.8 \text{ Watt}$$

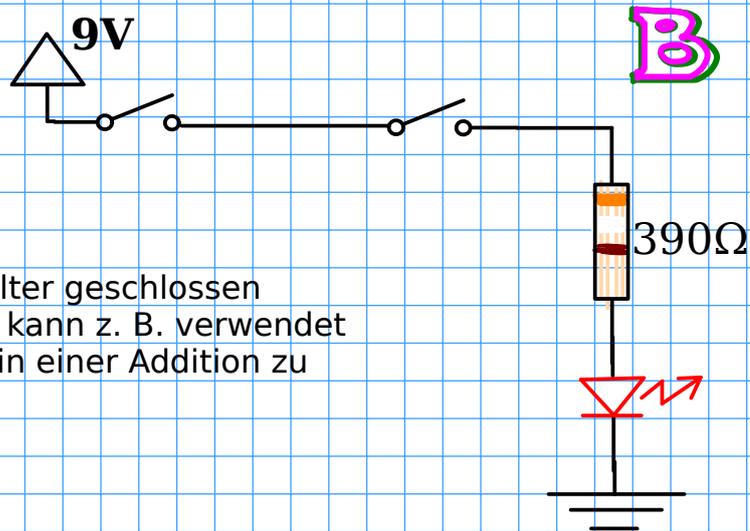
Wer die Wärme bei 390 Ohm nicht spürt kann gerne auch den 220 Ohm widerstand nehmen.

Achtung: Bei 100 Ohm (9V) wird der Widerstand dann schon unangenehm heiß.

AND und OR mit Tastern

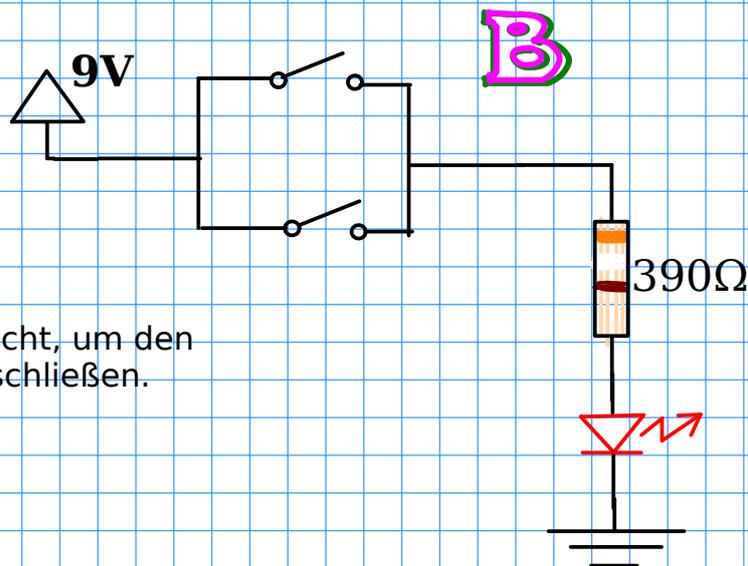
In der Digitaltechnik wird zwischen "Strom" und "Nicht-Strom" unterschieden. Alle Berechnungen basieren auf einfachen Logischen Bausteinen (AND, OR, NOT). Damit lassen sich Systeme bauen, welche Zahlen zusammenzählen können.

AND:



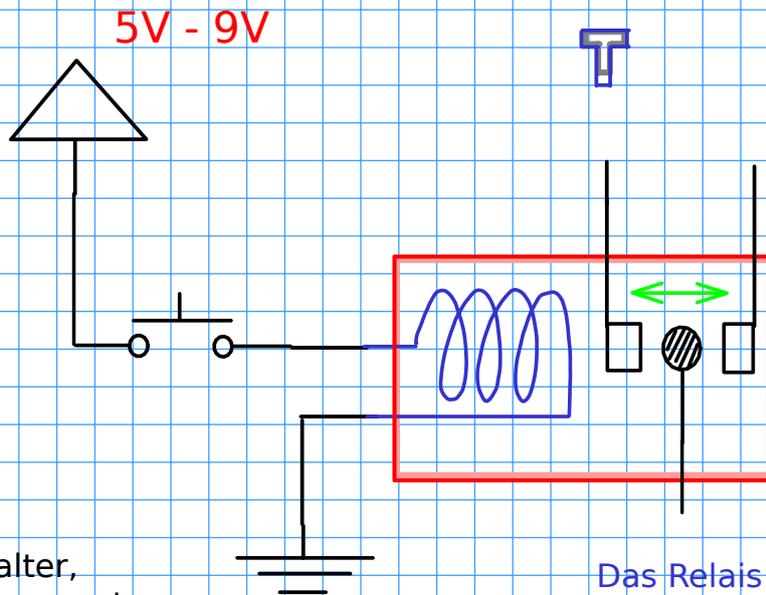
Ziel: Erst wenn beide Schalter geschlossen sind, fließt ein Strom. Dies kann z. B. verwendet werden, um den Übertrag in einer Addition zu berechnen.

OR:



Ein Schalter reicht, um den Stromkreis zu schließen.

Das Relais



Das Relais ist ein Schalter, der mit einem Elektromagneten geschaltet wird. Dazu ist ein Steuerstrom (hier links) nötig. Damit lassen sich weitere Stromkreise automatisch ein- bzw. ausschalten.

Das Relais hat zwei Zustände
a) links, angezogen, geschaltet
b) rechts, offen, ausgeschaltet
(In der Mitte, wie in der Zeichnung kommt es nicht vor. Der Pfeil darüber symbolisiert, dass das Relais entweder in Position links oder in Position rechts ist. Dazwischen ist es nur ganz kurz während dem Umschalten.)

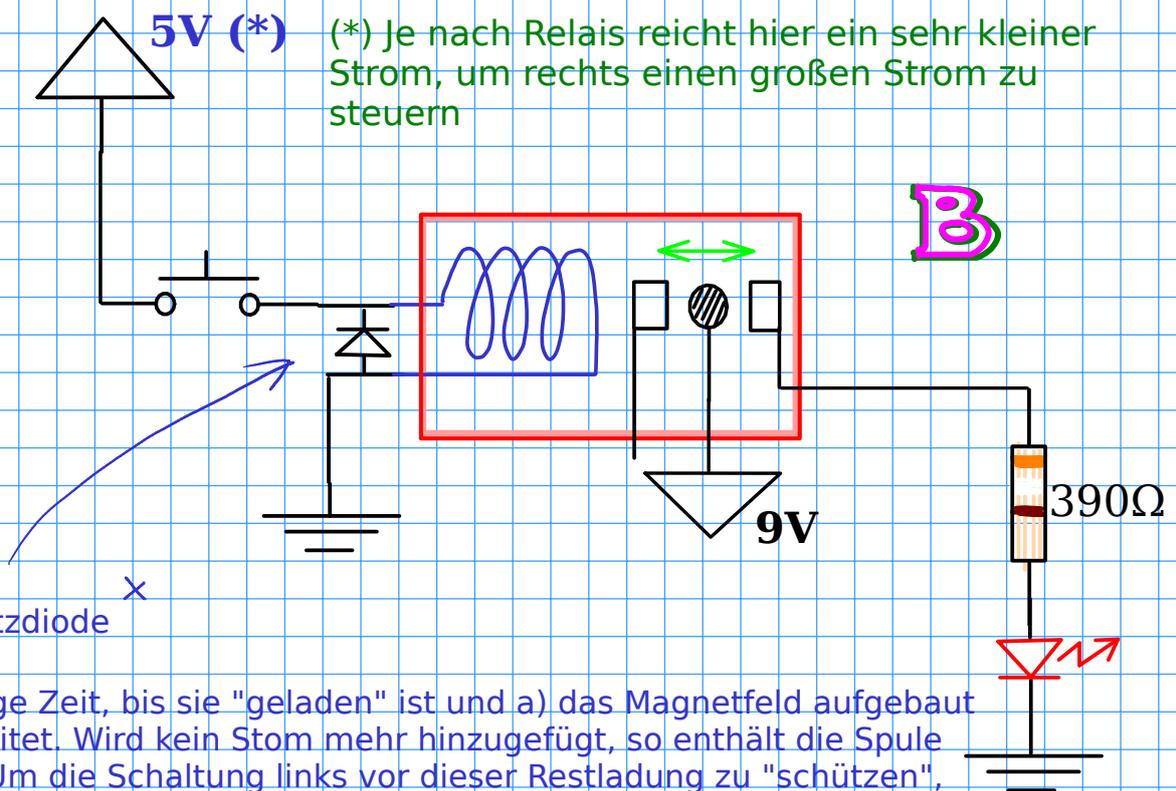
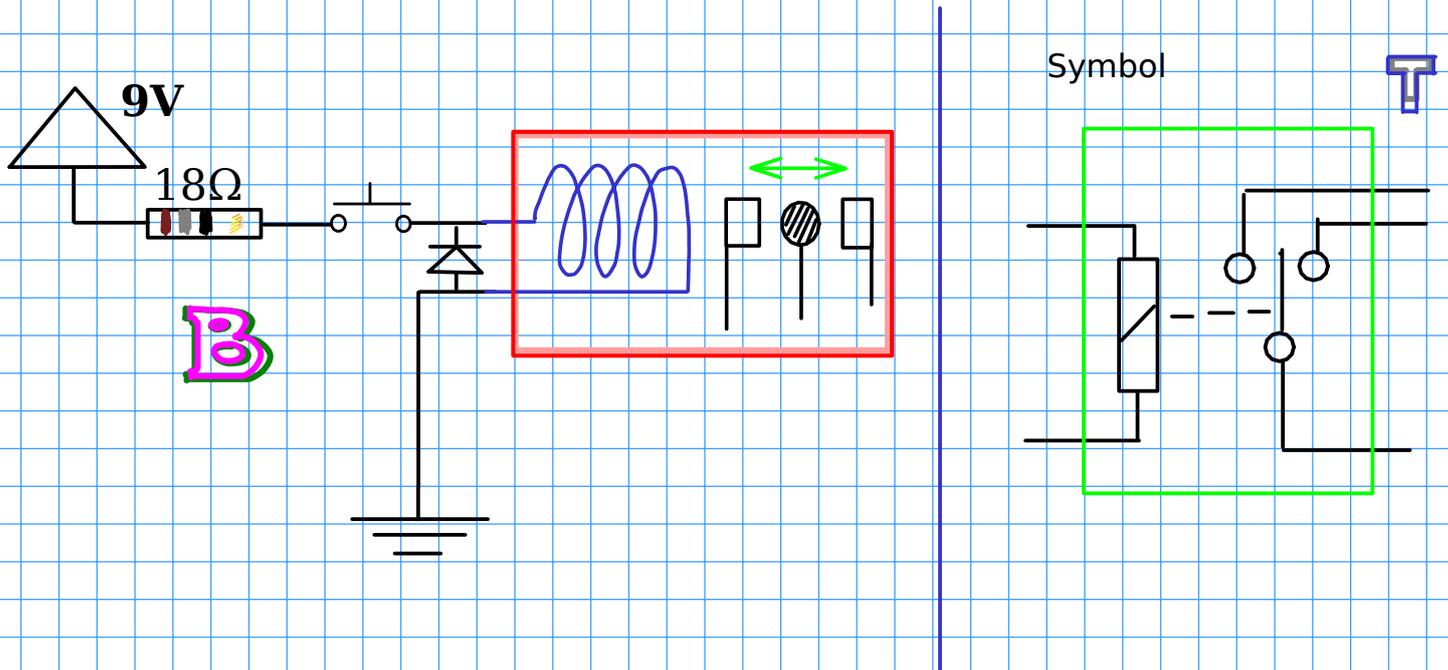
Ein Relais wird verwendet, um mit einem Stromkreis einen anderen Stromkreis "fernzusteuern". Somit können Schaltungen ihre Resultate an andere Schaltungen weitergeben, ohne die anderen Stromkreise zu beeinflussen.

- ⊗ Wir verwenden 6V-Relais. Damit diese mit unseren 9V Stromquellen nicht "überhitzen", wird ein 100 Ohm Widerstand vorgeschaltet (wird jedoch mit einer 9V-Batterie gearbeitet ist dieser 100 Ohm Widerstand dann doch wieder oft zu groß - ausprobieren, je nach Ladung der Batterie). Wird der Verbraucher (rechte Seite der Schaltung) an die selbe Batterie gehängt, so ist der 100 Ohm Widerstand häufig zu groß. Abhilfen
- Gar keinen Widerstand vorschalten
 - zwei oder gar drei Batterien parallel (NICHT IN SERIE) schalten.

Der berechnete Widerstand bei unseren 6V Relais wäre exakt 32 Ohm. 33 Ohm Widerstände wären auch vorhanden. Ich wähle 18 Ohm aus folgenden Gründen:

- Didaktisch: 1. Ziffer klein heißt hier widerstand klein
- Schaltwahrscheinlichkeit bei 18 Ohm auch bei geringem Batteriestand wahrscheinlich
- mit 100mA statt 90mA immer noch kein "verheizen" der Spule möglich

Das Relais (Teil 2)

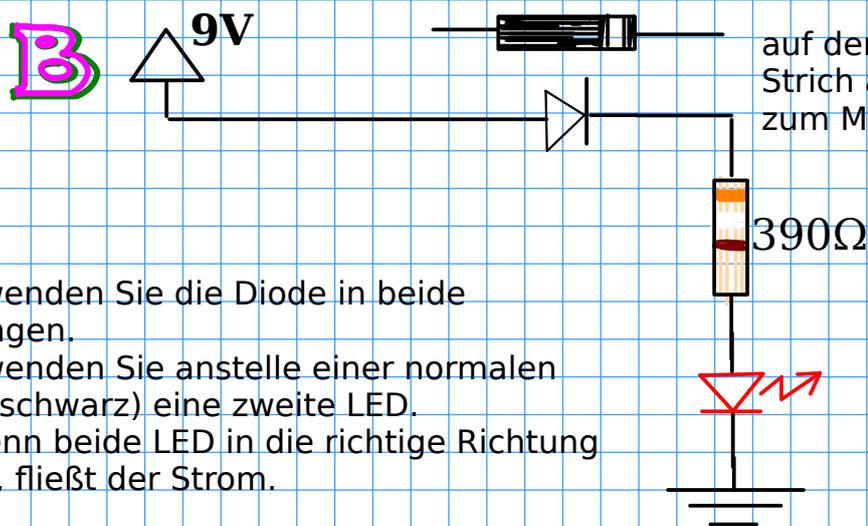


×
Eine Spule braucht einige Zeit, bis sie "geladen" ist und a) das Magnetfeld aufgebaut hat und b) den Strom leitet. Wird kein Strom mehr hinzugefügt, so enthält die Spule noch eine Restladung. Um die Schaltung links vor dieser Restladung zu "schützen", wird eine Schutzdiode in umgekehrter Richtung eingebaut.

Aufgabe: Bauen Sie zunächst obige Schaltung.
Erweitern Sie die Schaltung so, dass bei gedrückter Taste die rote, bei nicht gedrückter Taste hingegen eine grüne LED leuchtet.

Dioden

Dioden lassen den Strom nur in einer Richtung passieren:



auf der Diode ist ein kleiner weißer Strich angebracht, um die Richtung zum Minuspol anzugeben.

Übung:

- Verwenden Sie die Diode in beide Richtungen.
- Verwenden Sie anstelle einer normalen Diode (schwarz) eine zweite LED. Erst wenn beide LED in die richtige Richtung weisen, fließt der Strom.

Funktionweise Diode und LED: Folgende Videos für die Interessierten (Weiterführende "Lektüre"):

* Rasche Einführung in die Diode:

--> <https://www.youtube.com/watch?v=MSncOmacDJ0>

* Was ist Silizium (homofaciens.de) {15'46"}

--> <https://www.youtube.com/watch?v=E4-j9uAh3xl>

Wie wird ein Halbleiter (Silizium) zum Leiter? Dottieren!

* Was heißt dottieren (homofaciens) {18'56"}

--> <https://www.youtube.com/watch?v=Co0anqynT0Y>

* Dottieren mit Phosphor (n) oder Aluminium (p) (ohne Ton) {4'59"}

--> <https://www.youtube.com/watch?v=QLCUltX72y8>

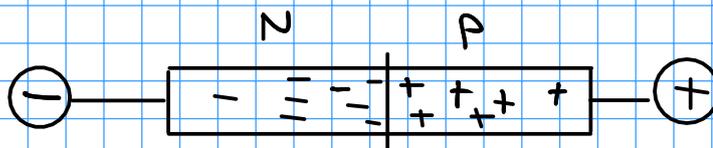
Wie funktioniert der n-p Übergang?

* n-p Übergang bei homofaciens.de {16'47"}

--> <https://www.youtube.com/watch?v=JOXvkQXPA3M>

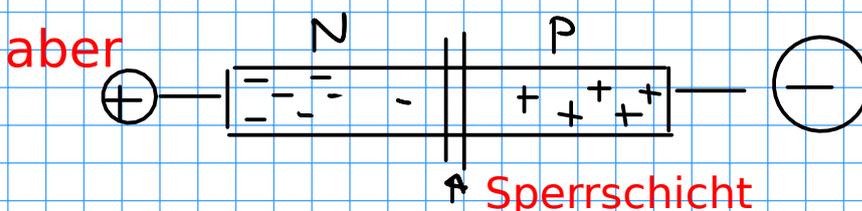
* Sperrschicht/Elektronen (ohne Ton, aber mit Texten gut erklärt) {5'43"}

--> <https://www.youtube.com/watch?v=Z8RUAqEhgZA>



← Stromrichtung

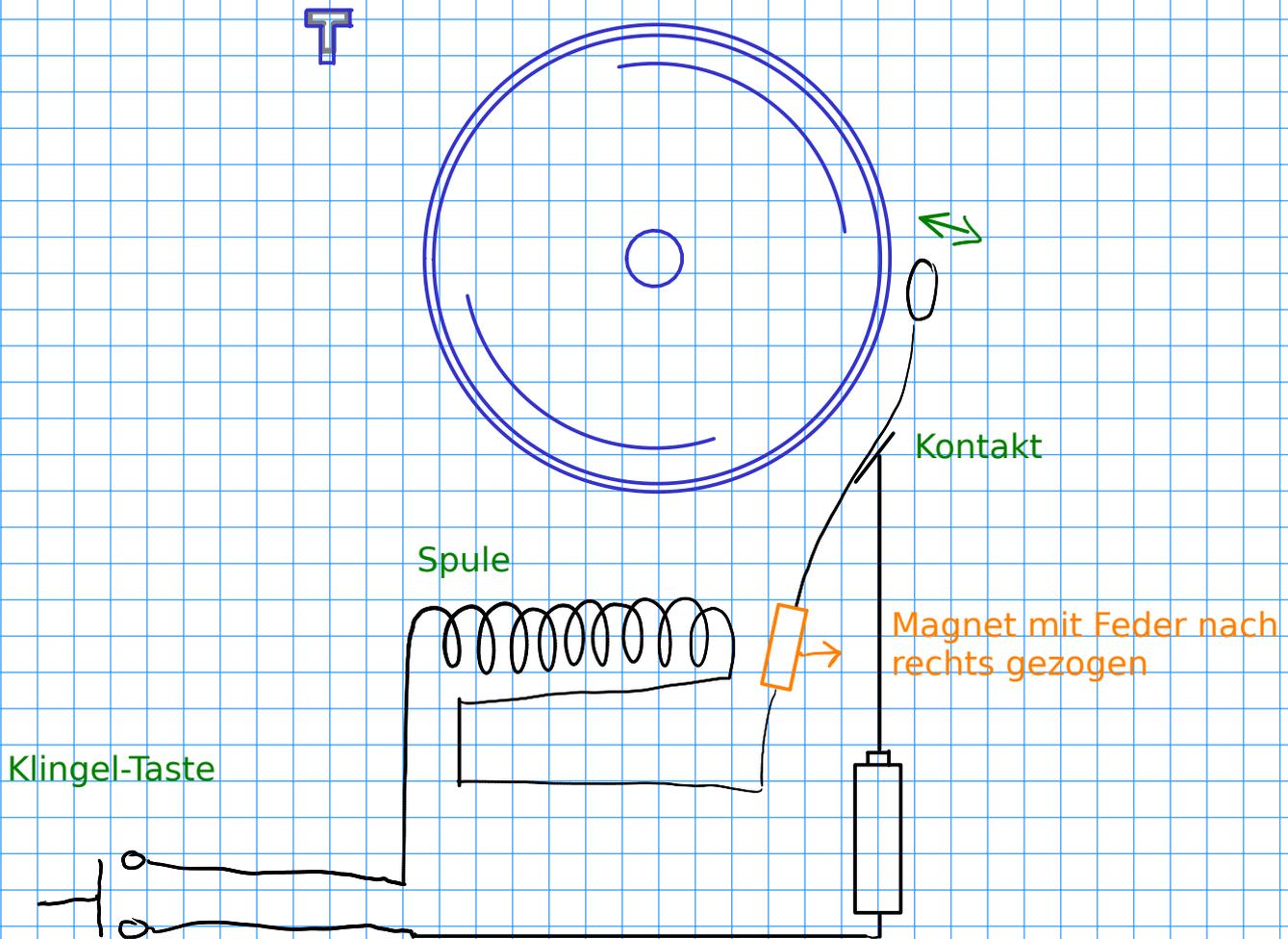
→ Richtung der Elektronen



aber

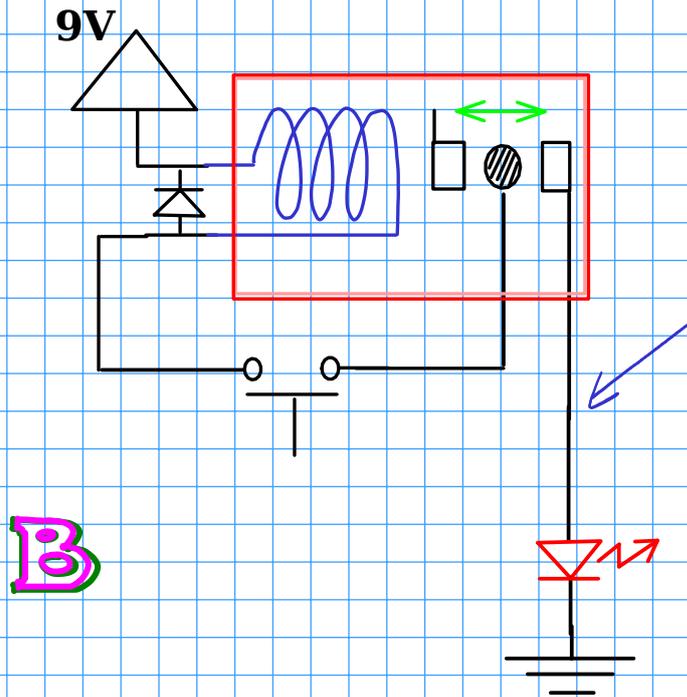
↑ Sperrschicht

Die Klingel



1. Der Permanentmagnet wird durch eine Feder nach rechts gezogen.
(kleiner grüner Pfeil nach rechts)
2. Der Stromkreis wird dadurch (und durch das "läuten") geschlossen
3. Der Strom fließt in die Spule
4. Die Spule erzeugt ein Magnetfeld
5. Der Permanentmagnet wird angezogen
6. "ding" (Der Klöppel schlägt die Glocke)
7. Der Stromkreis wird gleichzeitig unterbrochen
8. Das Magnetfeld verschwindet
9. Der Permanentmagnet wird nicht mehr von der Spule angezogen
1. Der Permanentmagnet (mit Klöppel) wird wieder nach rechts gezogen.
2. ...

"Klingel" mit Relais

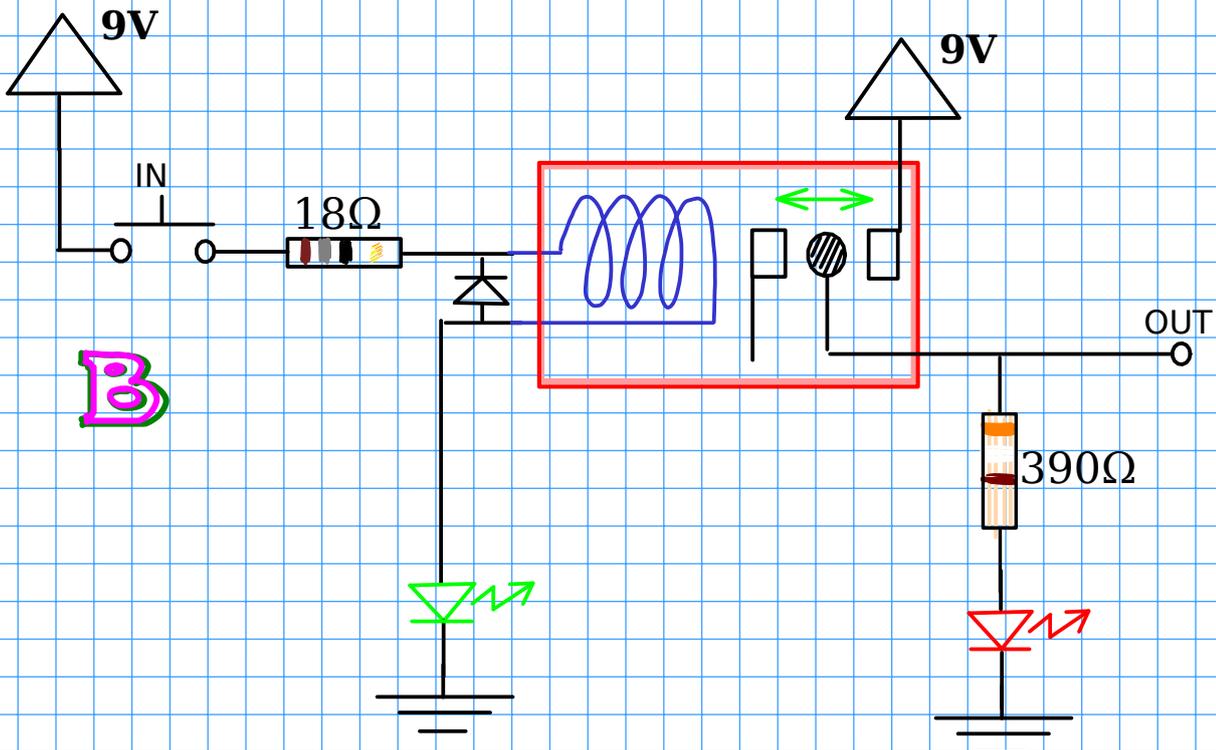


Hier kein Vorwiderstand;
sonst reicht der Strom nicht,
um das Relais zu schalten.
Die Spule nimmt hier zu
viel Strom weg.
M. a. W.: Die Spule reicht
als Vorwiderstand

B

Eine Klingel kann im Computer als "Taktgeber" verwendet werden.
Jedes Mal, wenn der Stromkreis geschlossen ist, soll eine Aktion ausgeführt werden.

NOT mit Relais



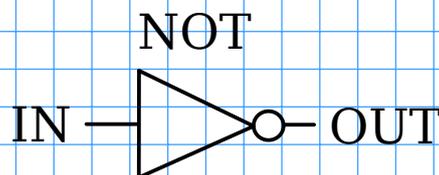
Die grüne LED (links) zeigt an, dass der Eingang "EIN" ist.
Die rote LED (rechts) zeigt an, dass der Ausgang (OUT) eingeschaltet ist.

Eine der wichtigsten Schaltungen ist die Umkehrung der "Information" (also des Bit).

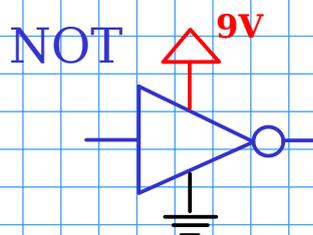
Fließt links kein Strom (NOT IN), so ist das Relais "off"
und der Strom fließt rechts (OUT).

Fließt links Strom (IN), so ist das Relais "on"
und der Strom fließt rechts nicht mehr (NOT OUT).

Symbol



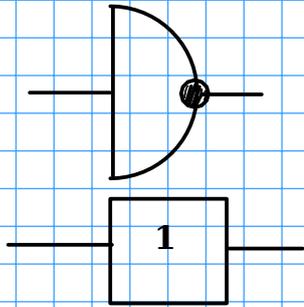
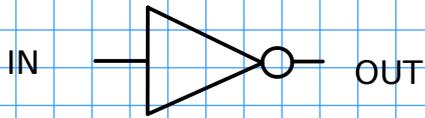
Technisch gesehen muss jedes NOT natürlich noch mit 9V versorgt
und mit der Erde (GND) verbunden werden:



Logische Symbole

NOT (\neg)

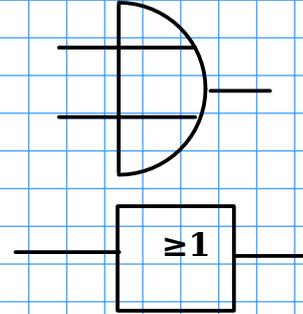
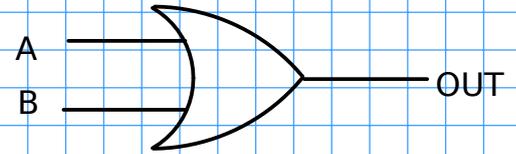
Code: NOT, !, \neg , \sim



IN=0 \rightarrow OUT=1
IN=1 \rightarrow OUT=0

OR (\vee)

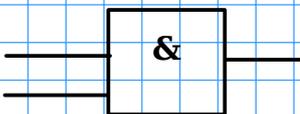
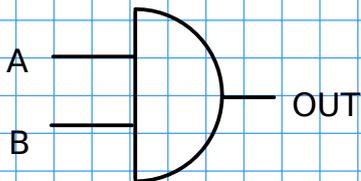
Code: OR, |, ||



A=0, B=0 \rightarrow OUT=0
A=0, B=1 \rightarrow OUT=1
A=1, B=0 \rightarrow OUT=1
A=1, B=1 \rightarrow OUT=1

AND (\wedge)

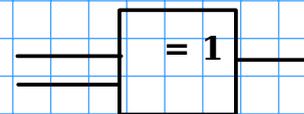
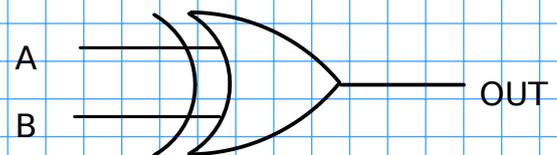
Code: AND, &, &&



A=0, B=0 \rightarrow OUT=0
A=0, B=1 \rightarrow OUT=0
A=1, B=0 \rightarrow OUT=0
A=1, B=1 \rightarrow OUT=1

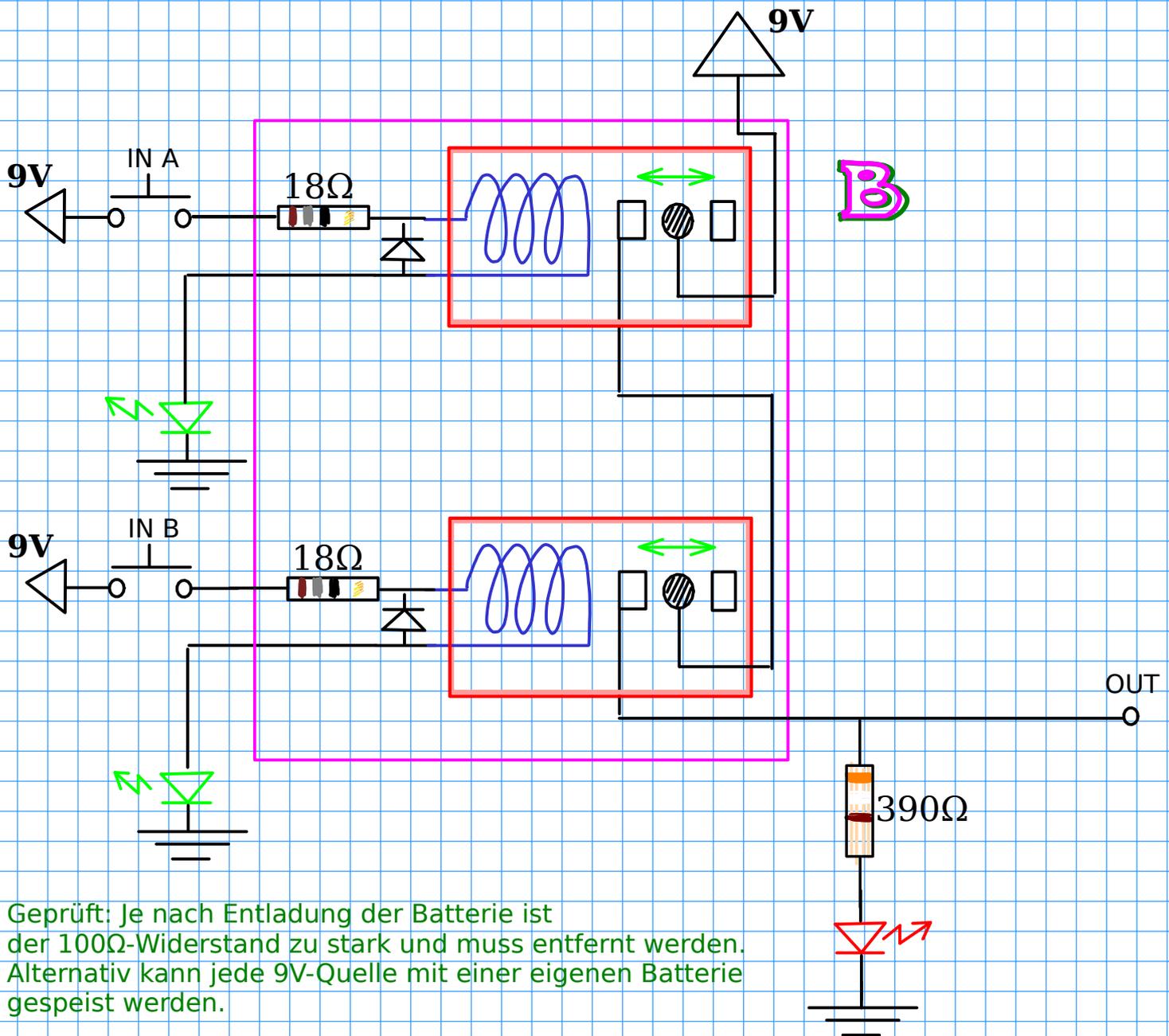
XOR (∇)

Code: XOR, ^



A=0, B=0 \rightarrow OUT=0
A=0, B=1 \rightarrow OUT=1
A=1, B=0 \rightarrow OUT=1
A=1, B=1 \rightarrow OUT=0

AND mit Relais

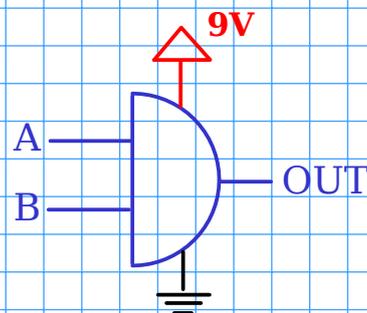
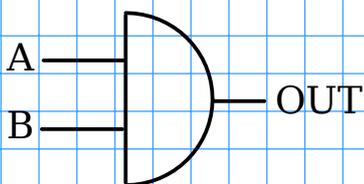


Natürlich könnten wir auch mit zwei Tastern ein "AND" bauen. Doch in logischen Schaltungen gibt es meist keine Taster. Mit obiger Schaltung können wir einen zweiten Stromkreis "fernsteuern".

Das AND mit zwei Relais kann einen fernen Stromkreis fernsteuern. Eingeschaltet wird der rechte Stromkreis erst, wenn beide linken Stromkreise geschlossen sind.

Technische Umsetzung:

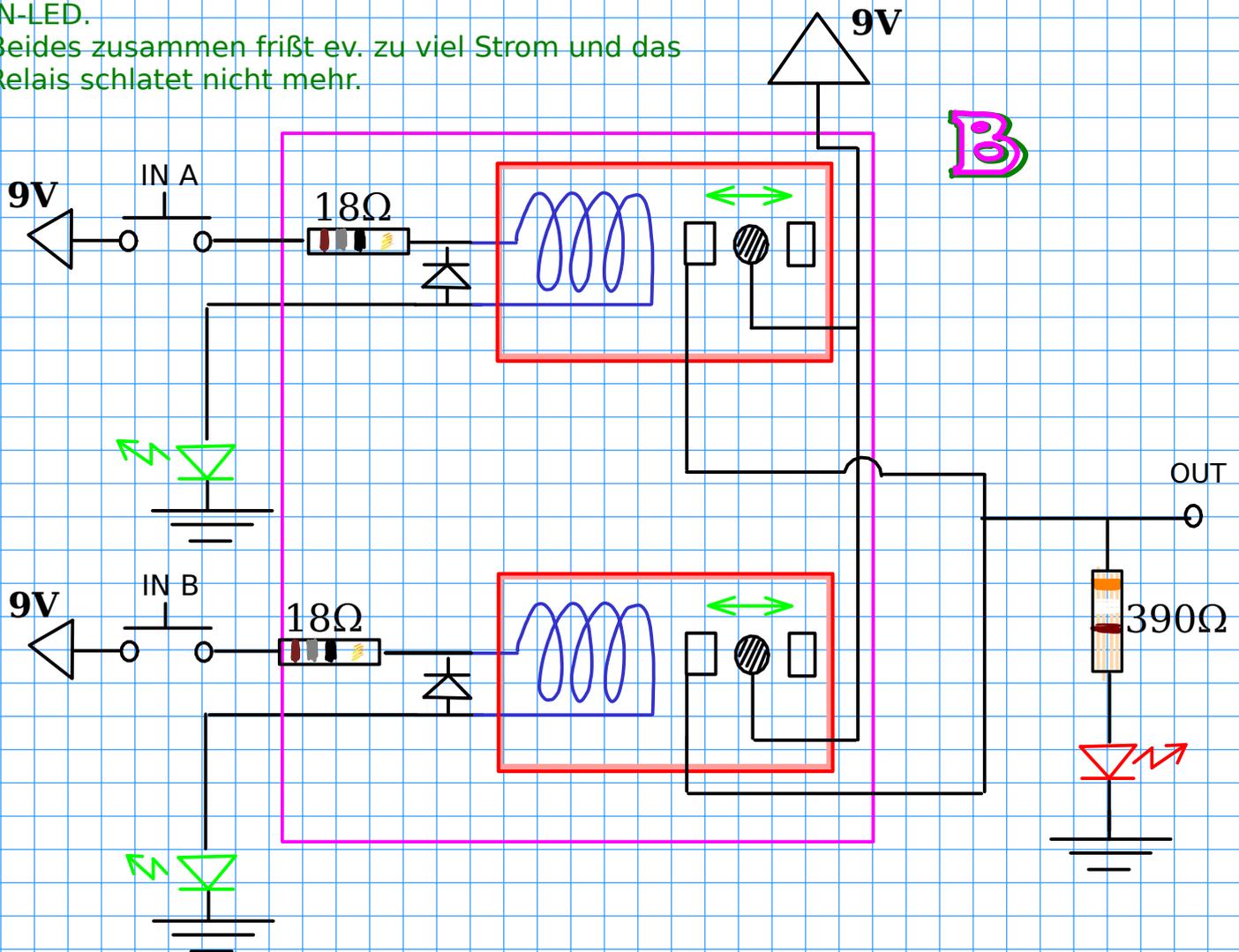
Symbol



OR mit Relais

Auch hier: Entweder 100 Ω -Widerstand oder eine IN-LED.

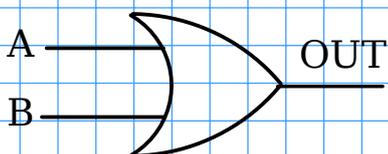
Beides zusammen frisst ev. zu viel Strom und das Relais schaltet nicht mehr.



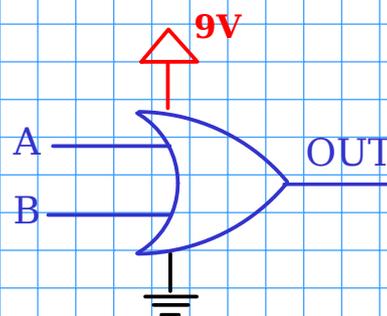
Natürlich könnten wir auch mit einer einfachen Kabelverbindung ein "OR" bauen.

Doch mit dieser Schaltung können wir einen zweiten Stromkreis "fernsteuern" und beeinflussen den Eingang also die Schaltung links nicht mehr.

Symbol

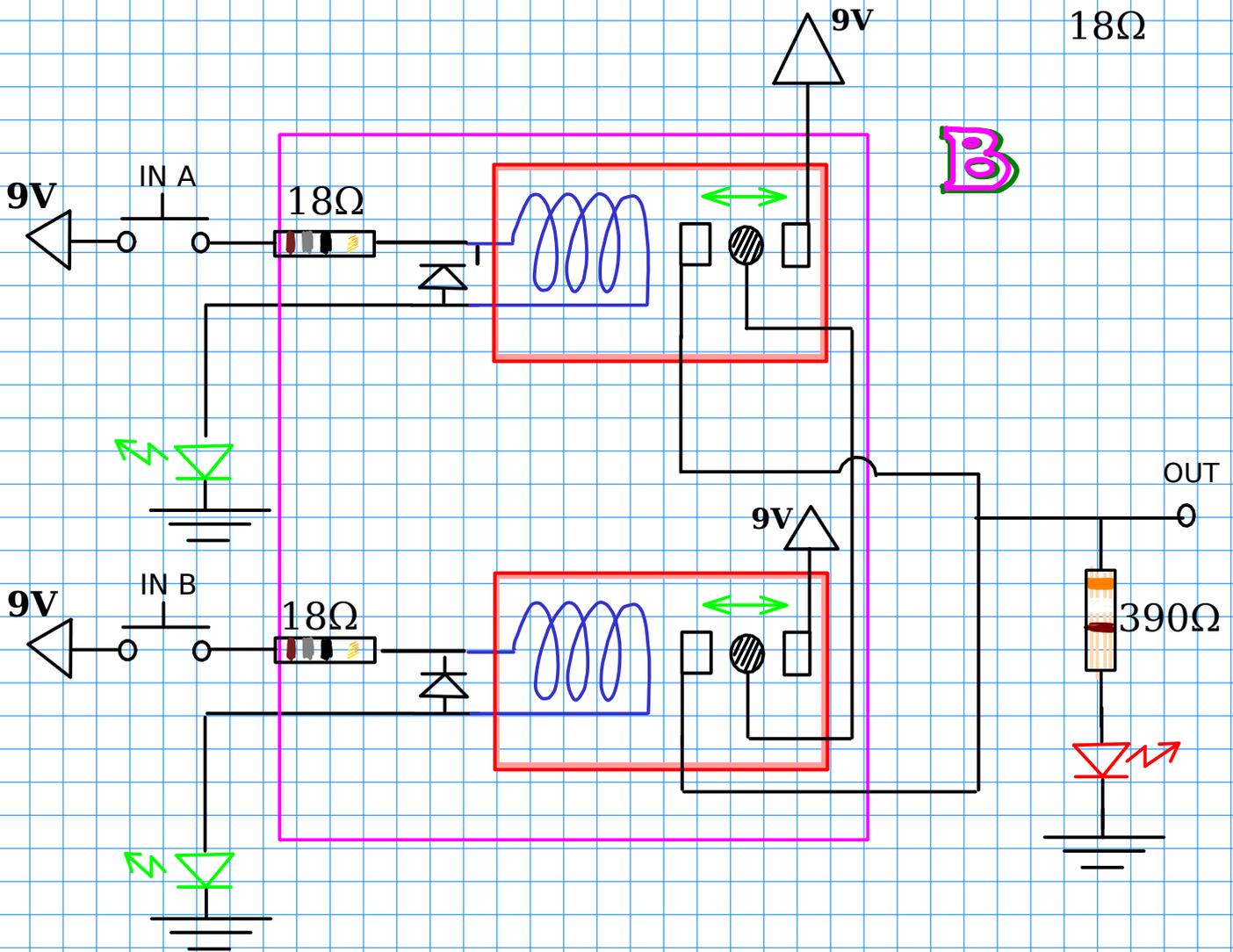


Technische Umsetzung:

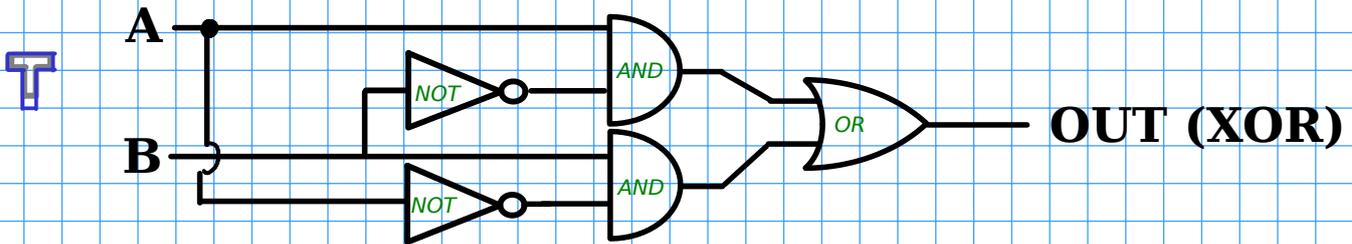


XOR mit Relais

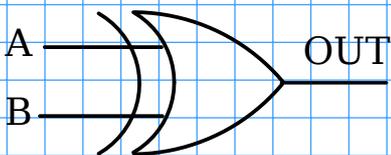
XOR = exklusives oder = entweder/oder



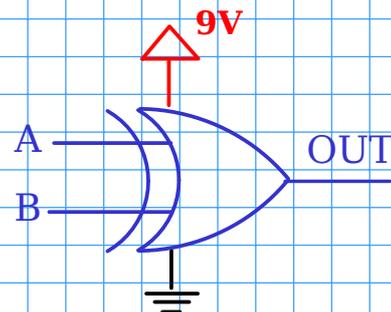
Obige Schaltung könnte auch aus den Schaltungen NOT, AND und OR zusammengesetzt werden:



Symbol



Technische Umsetzung:



Das XOR ist eine der wichtigsten Schaltungen im PC, denn damit lassen sich zwei Zahlen zusammenzählen. Die Summe zweier Binärziffern ist genau das XOR. Wollen wir den Übertrag auf die nächsthöhere Stelle, so nehmen wir ein AND hinzu:

Das Binärsystem

Computer rechnen (daher der Name) mit Strömen.

Die Digitaltechnik erlaubt zwei Zustände:

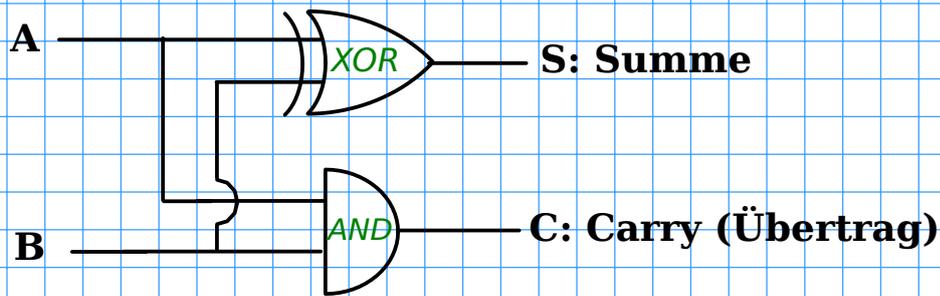
* + = Strom = 1 (LED leuchtet)

* - = kein Strom = 0 (LED dunkel)

Daher eignet sich das Binär- oder Zweiersystem:

Dezimal	Binär
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
...	

Der Halbaddierer



Der Halbaddierer liefert die Grundlage fürs Rechnen mit dem Computer. Der Name Computer bedeutet auf Deutsch "Rechner".

Der Halbaddierer kann zwei Stellen im Zweiersystem addieren.

$A=0 + B=0 \rightarrow S=0$ und $C=0$
 $A=1 + B=0 \rightarrow S=1$ und $C=0$
 $A=0 + B=1 \rightarrow S=1$ und $C=0$
 $A=1 + B=1 \rightarrow S=0$ und $C=1$

Aufgabe: Bauen Sie den Halbaddierer mit den Relais zusammen, welche mit einem Steuerstrom zwei Schalter "betätigen".

Damit ist es möglich den Halbaddierer mit 2 Relais zu bauen.

Der Halbaddierer hat zwei Eingänge (2 IN) und zwei Ausgänge (2 OUT).

Verwenden Sie 4 Dioden (IN A, IN B, OUT Summe, OUT Carry).

Tipps zur Lösung

* Bauen Sie zunächst das XOR und das AND separat.

* Nehmen Sie für die Ausgänge eine separate Batterie.

* Prüfen Sie XOR und AND, bevor Sie die beiden Schaltungen zusammenbauen

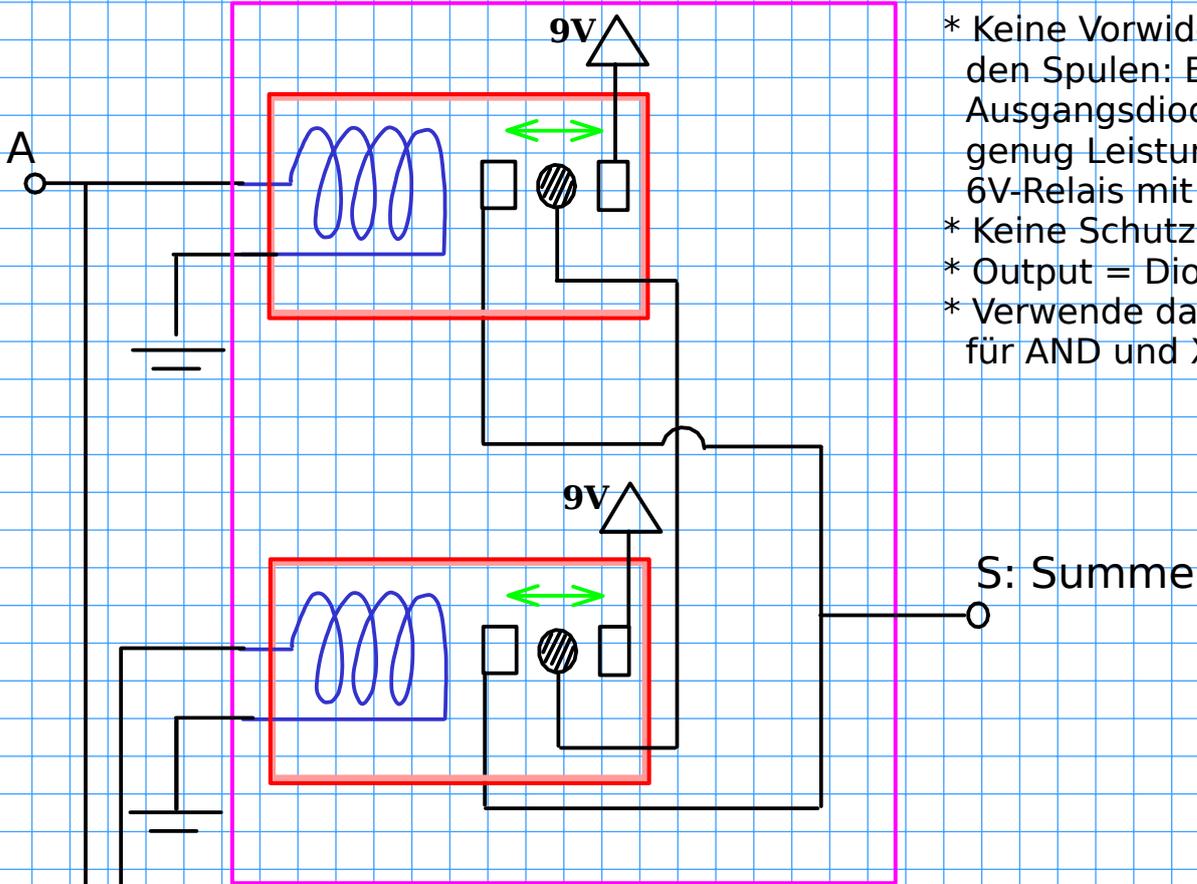
* Testen Sie Ihre Schaltung mit allen vier möglichen Eingangsspannungen.

Geprüft wurde mit der BASYS-Klasse 2014 auch, dass ein Volladdierer mit einem Halbaddierer zusammen gebaut werden kann.

Dafür wurde dann später bei den Transistoren auf den Halb- bzw. Volladdierer verzichtet.

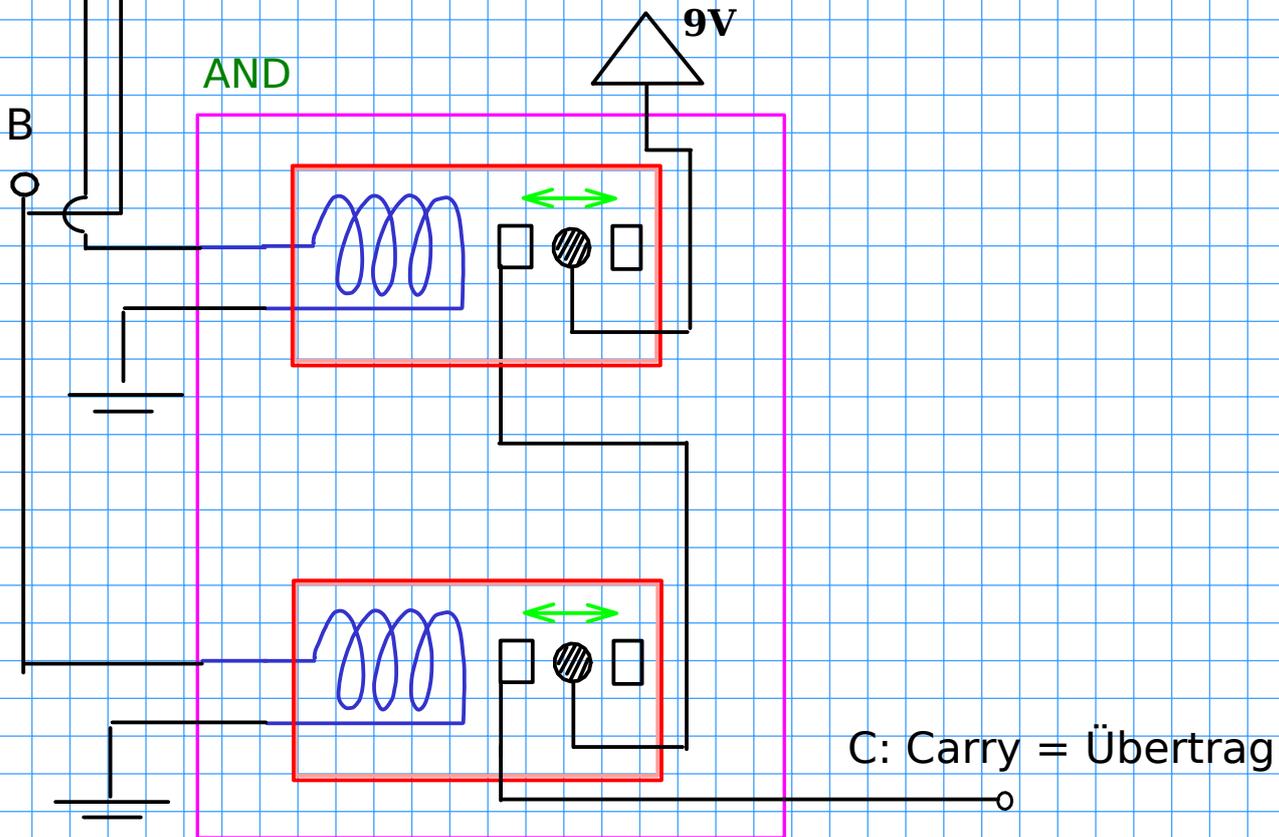
Halbaddierer mit Relais

XOR



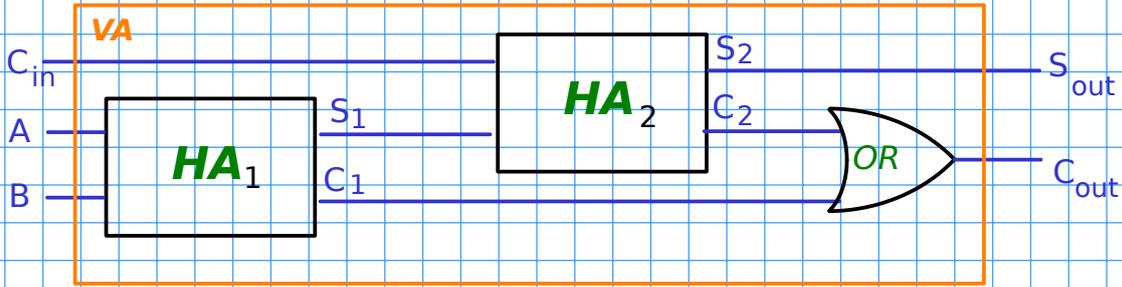
- * Keine Vorwiderstände vor den Spulen: Ein- und Ausgangsdioden nehmen genug Leistung auf.
- * 6V-Relais mit 9V-Batterie.
- * Keine Schutzdioden nötig
- * Output = Dioden + Widerst.
- * Verwende das selbe Relais für AND und XOR.

AND

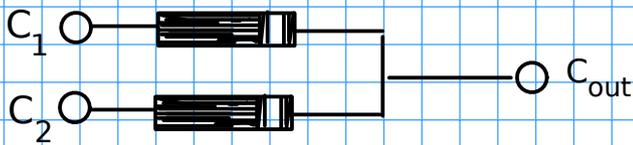


Der Volladdierer (VA)

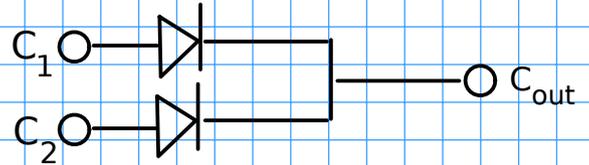
B



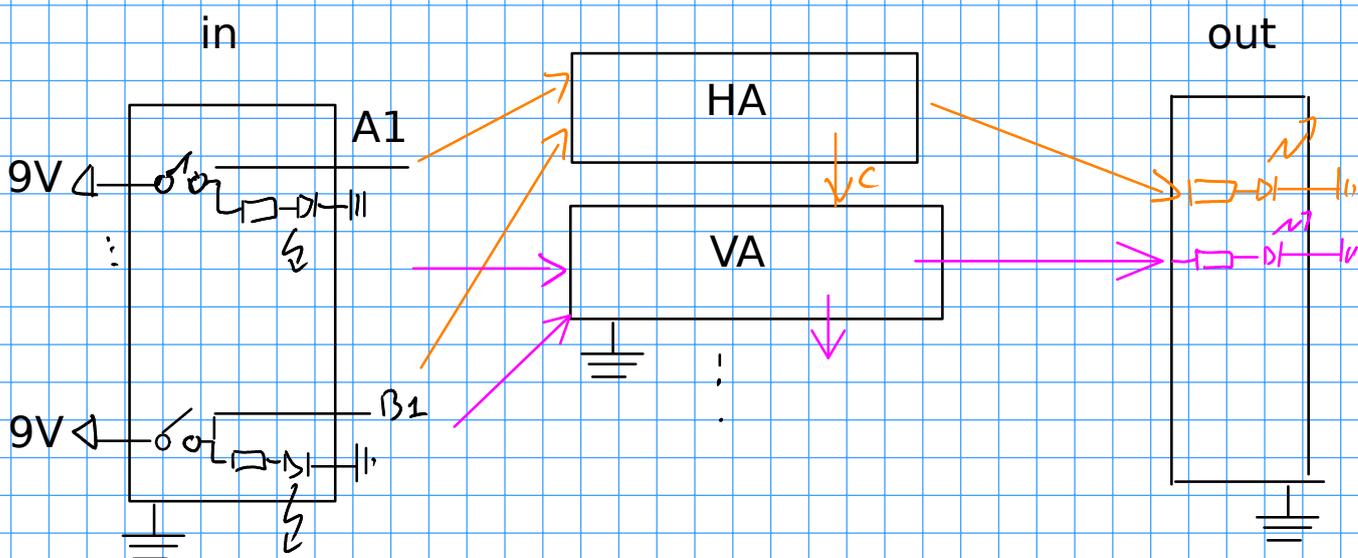
- * Der Halbaddierer (HA) wird exakt wie auf der vorherigen Seite gebaut.
- * Ein HA kann mit zwei Relais gebaut werden, ein Volladdierer (VA) somit mit vier Relais und einem OR-Gatter.
- * Das OR-Gatter wird mit zwei Dioden gebaut.
- * Für das XOR und das AND wird innerhalb des HA jeweils das selbe Relais verwendet, genau wie in der vorherigen Schaltung.



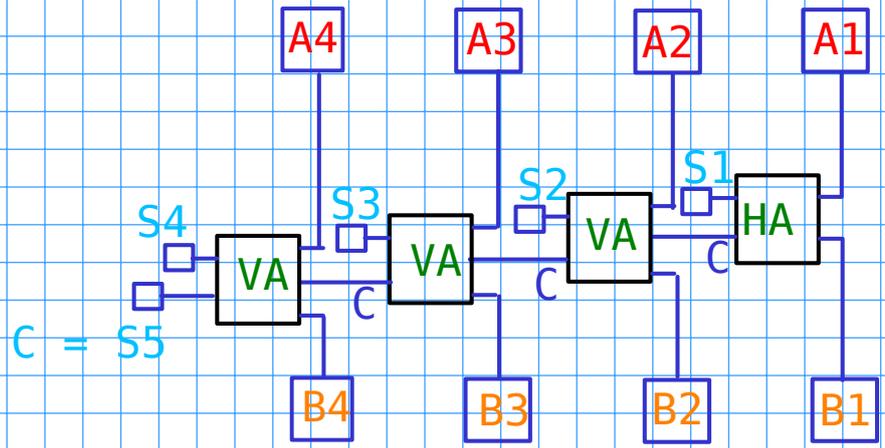
Symbol:



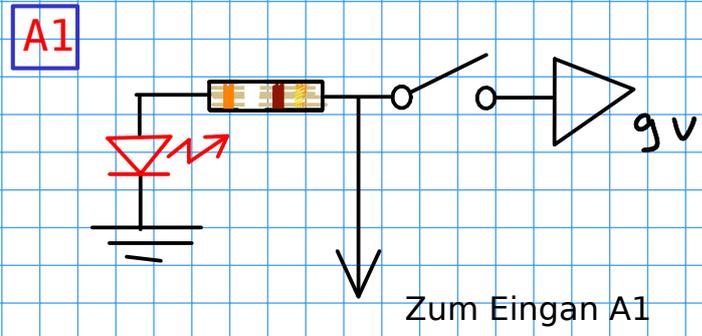
Verwenden Sie mit Vorteil die folgende Breadboard Anordnung:



Der 4-Bit Adder

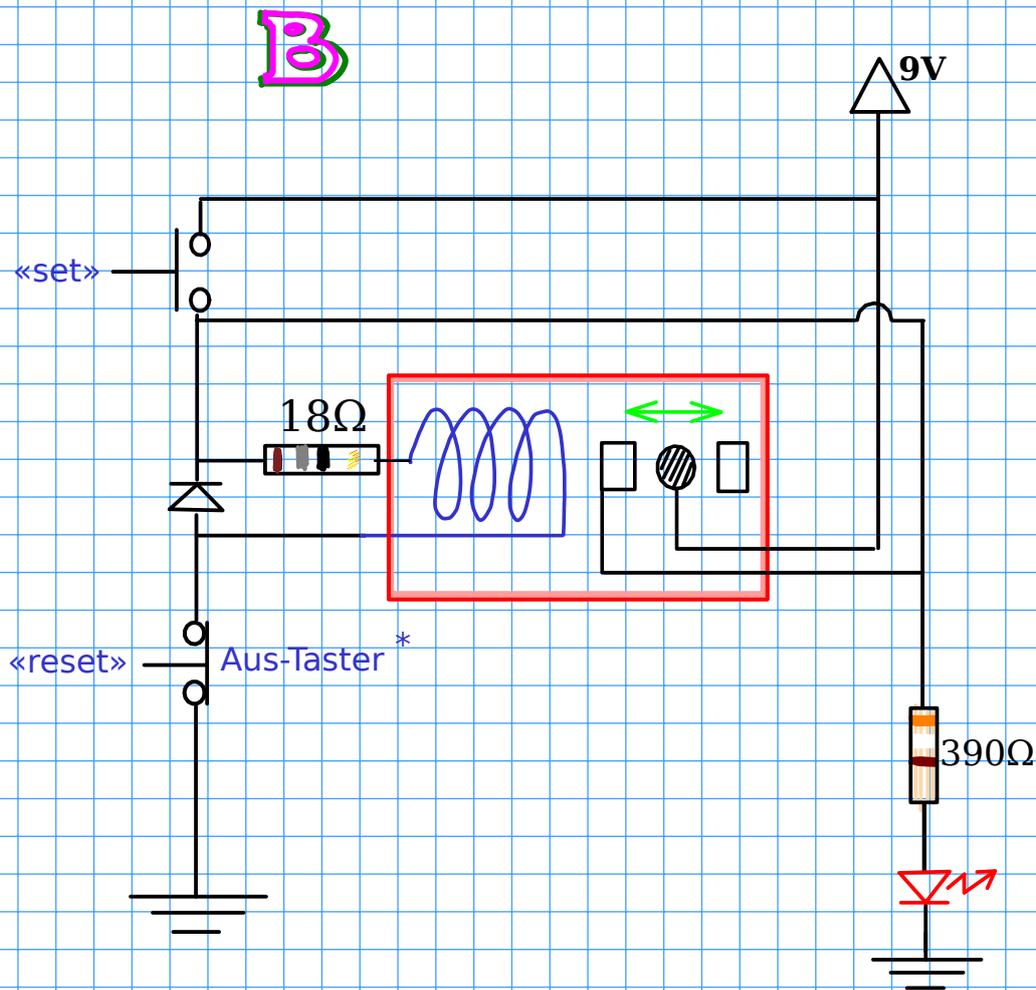


Eingänge können wie folgt zur Visualisierung umgesetzt werden:



A2 bis B4 analog.

1 Bit speichern mit dem "Relais Latch"



* Der «reset»-Taster ist ein "Aus-Taster". Dieses Bauelement ist standardmäßig verbunden. Ein Drücken unterbricht den Kontakt.

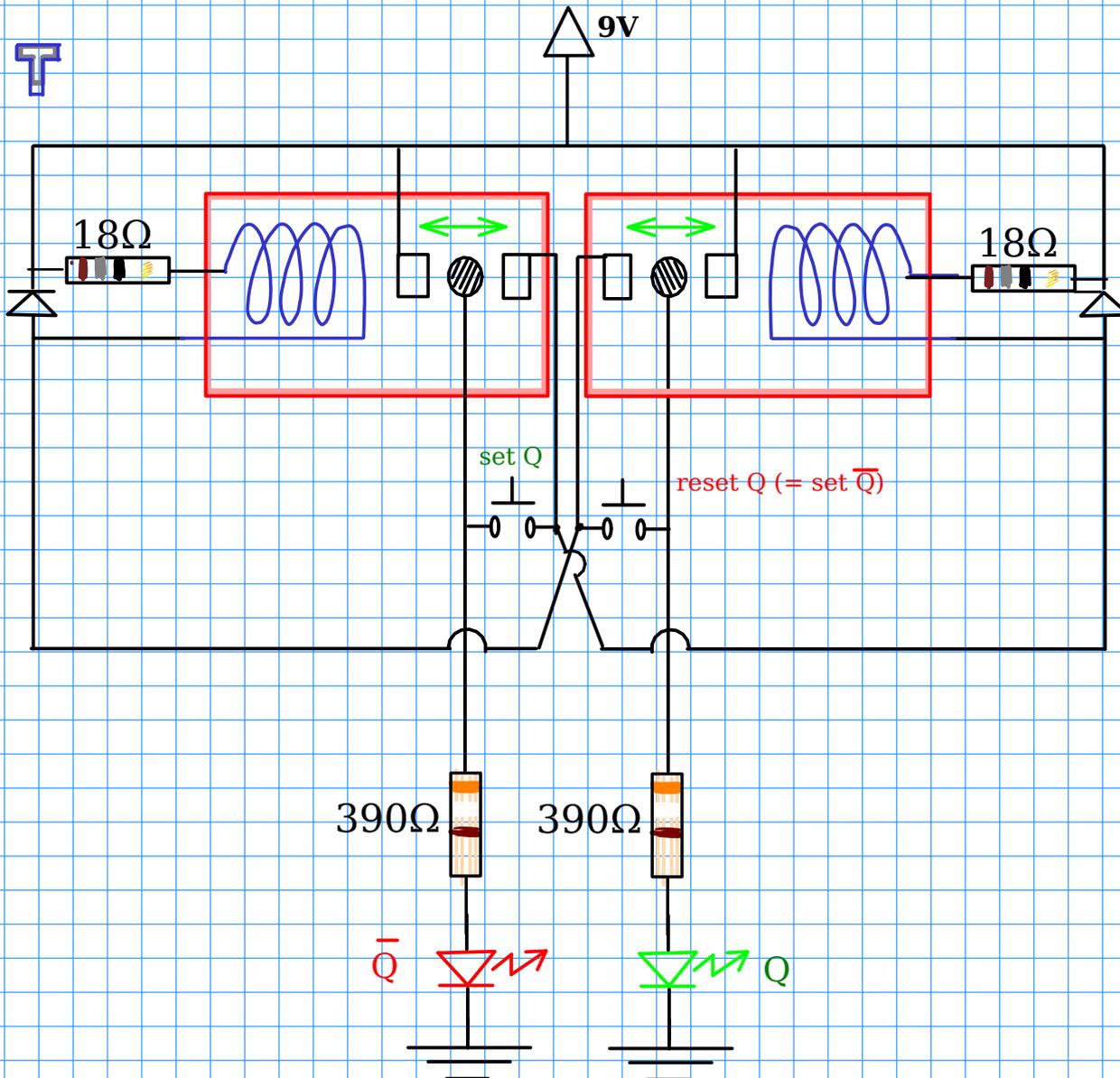
Diese Schaltung ist für unseren "Selbstbau"-Computer nicht wirklich wichtig. Sie zeigt jedoch, wie ein Computer eine Information speichern kann - in diesem Fall zwar nur ein Bit.

Funktionsweise: Wird der "Aus-Taster" betätigt, so entlädt sich das Relais und die Schaltkreise bei der Diode werden allesamt unterbrochen. Wird der Ein Taster gedrückt, so wird das Relais eingeschaltet und dadurch ein Stromkreis geschlossen, der einerseits die LED zum leuchten bringt, aber andererseits auch das Relais selbst eingeschaltet lässt; somit bleibt der Zustand stabil.

Flip Flop (Bistabile Kippstufe)

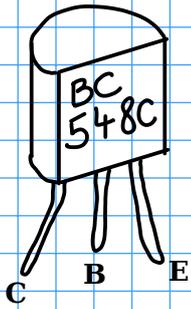
Analog zum Relais-Latch kann ein Flip-Flop verwendet werden, um ein Bit zu speichern. Im Gegensatz zum Relais-Latch haben wir zwei separate Stromkreise, wovon nur immer einer eingeschaltet sein kann:

Funktionsweise: Ist ein Relais eingeschaltet, so wird der andere Stromkreis (Relais und LED) komplett unterbrochen.



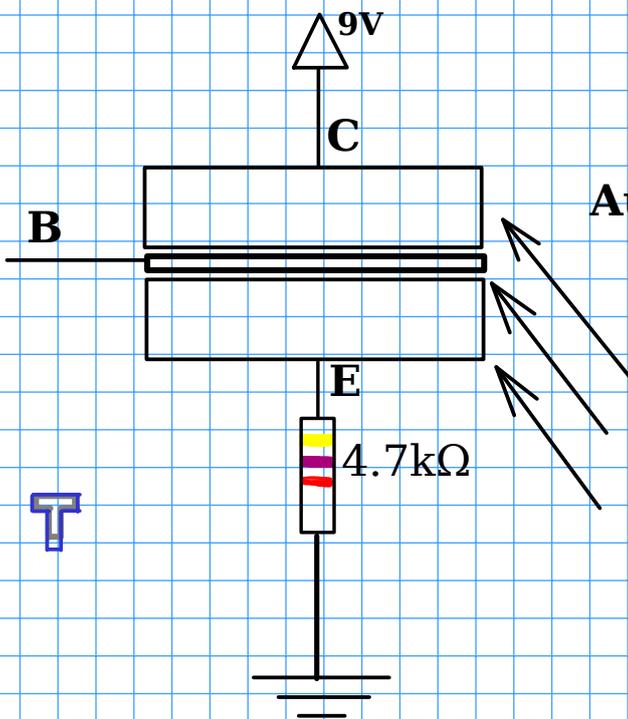
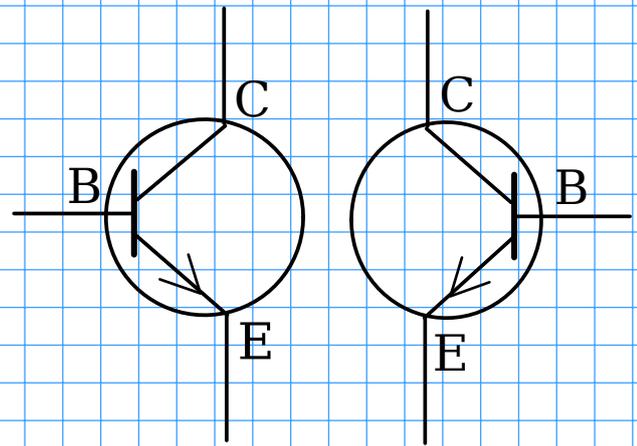
Bemerkung: Der 100 Ohm Widerstand wurde berechnet für ein 6V Relais, das mit 9V betrieben wird. Wahrscheinlich tut es aber der 390 Ohm Widerstand bereits. Evtl. sind 490 Ohm (100 + 390) dann aber zu viel, um das Relais wirklich anzusteuern? --> Ausprobieren!

Transistoren



C = Collector (+ Pol)
B = Basis (Schalter)
E = Emitter (- Pol)

Symbole:



Aufbau NPN Bipolartransistor

Halbleiterschichten
z. B. Silicium(Si),
Germanium(Ge)

Transistor Funktionsweise:

<https://www.youtube.com/watch?v=EYTKQ3dkQ0w>

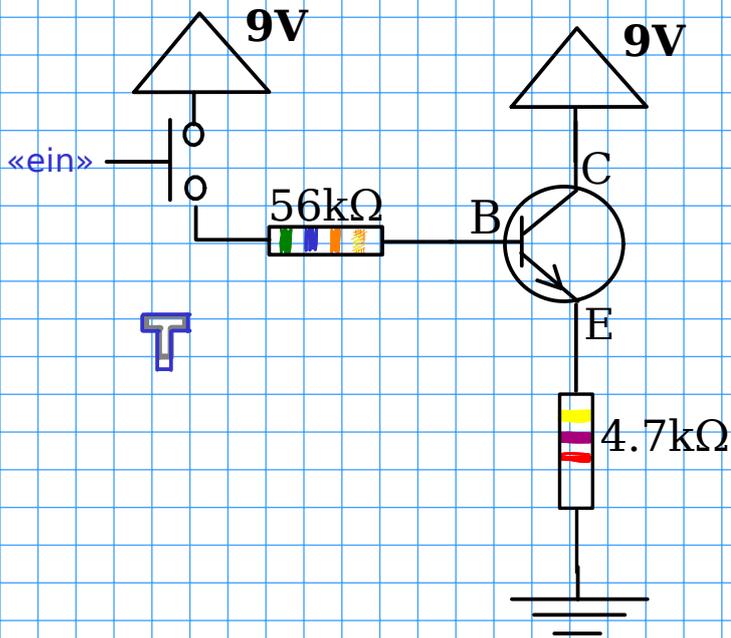
Bemerkung: Die Elektronen sind negativ geladene Teilchen. Sie werden vom Pluspol angezogen und "fließen" somit vom Minus- zum Pluspol. Dieses Verhalten der Elektronen wird die Physikalische Stromrichtung genannt.

In der Digitaltechnik (Elektronik) hat es sich jedoch eingebürgert, den technischen Stromfluss von Plus nach Minus (also entgegen den Elektronen) zu definieren.

Wir sagen: Der Strom fließt von Plus nach Minus (wenn auch die Elektronen von Minus nach Plus wandern).

Transistor-Grundschialtung

Typische hier verwendete Widerstände (für 9V)



56k: Basis Vorwiderstand
4.7k:GND/9V

Normalerweise wird zwischen 9V und Collector (C) ein Verbraucher geschaltet, ist dieser nicht vorhanden, dient der 4.7kΩ Widerstand als Strombegrenzer.

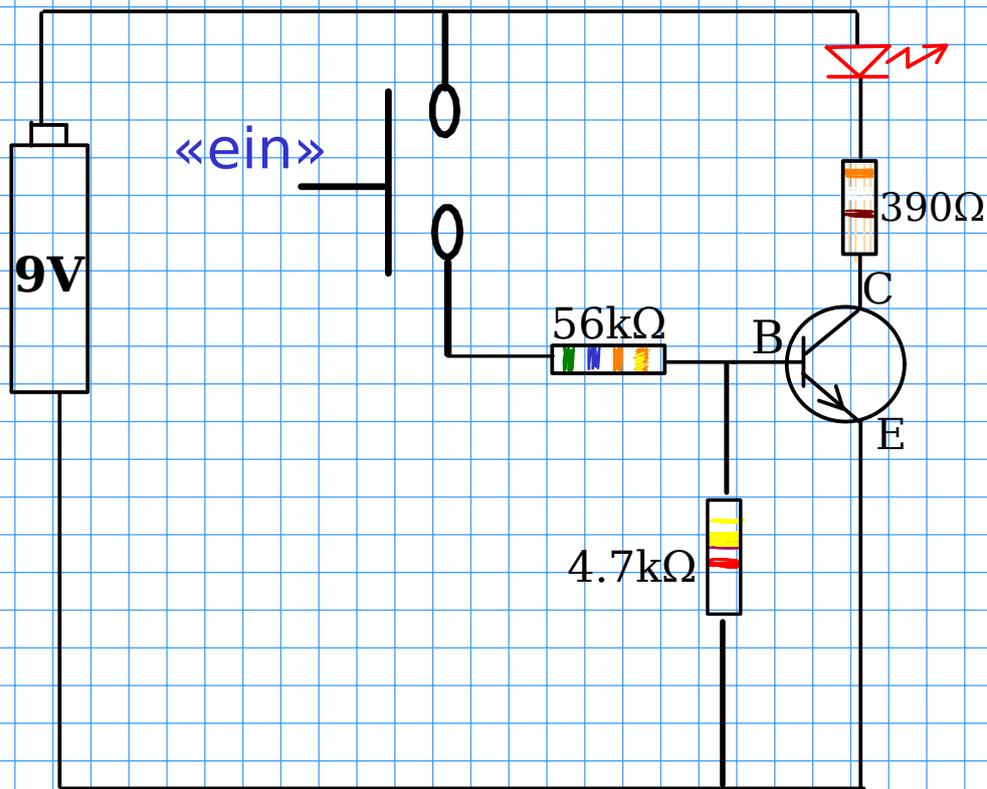
Da hier als Verbraucher lediglich ein Widerstand angeschlossen ist, sieht man bei dieser Schaltung keinen Effekt :-)

Dieser wäre aber mit einem Messgerät durchaus messbar.

Bemerkung: Der NPN-dotierte BC548C steht normalerweise beim Minuspol, also nach dem Verbraucher, wie in der folgenden Schaltung abgebildet.

Bemerkung 2: Ist der Taster nicht eingeschaltet, so verliert die Basis mit der Zeit an Spannung und der Transistor wird "geschlossen". Häufig wird ein sog. Pull-Down Widerstand vor die Basis gelegt, wie in folgender Schaltung nachzulesen ist.

Pull Down Widerstand



Ist der Schalter geschlossen, so liegen 0.7 Volt an der Basis (0.7 Volt gegenüber dem Emittor), was reicht, um den Transistor zu schalten.
Ist der Schalter hingegen offen (wie in der Grafik), so "zieht" der 4.7 Ohm Widerstand die Spannungsdifferenz "Basis-Emittor" rasch gegen 0Volt.
Bem. Exakt 0.697 Volt, was aber fürs Schalten des Transistors reicht.

Spannungsteiler



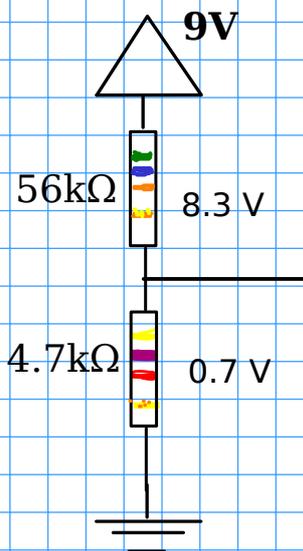
Grafik links fürs Verständnis der obigen Schaltung:

56k und 4.7k => 9V wird in 8.303 und 0.697 geteilt

ca. 0.7 Volt reichen normalerweise, um den Transistor zu Steuern. Jeder Widerstand > 4.7k reicht hier, um den Transistor mit 56kΩ Vorwiderstand einzuschalten.

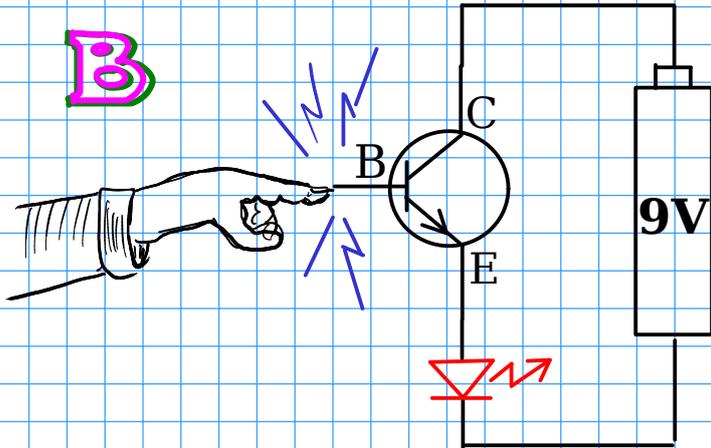
Inbesondere kann der 4.7kΩ auch ganz weggelassen werden (ca. unendlich Ω); wird 4.7kΩ weggelassen, fungiert der 56kΩ-Widerstand als sog. Pull-Up Widerstand, der den Strom zu 9V hochzieht.

Ist der Taster hingegen offen (aus), so ist keine Aussage über die Spannung vor dem 56k Ohm Widerstand, was den Zustand des Transistors unvorhersehbar machen kann



Der Transistor als Verstärker

(in der Regel zu schwach)

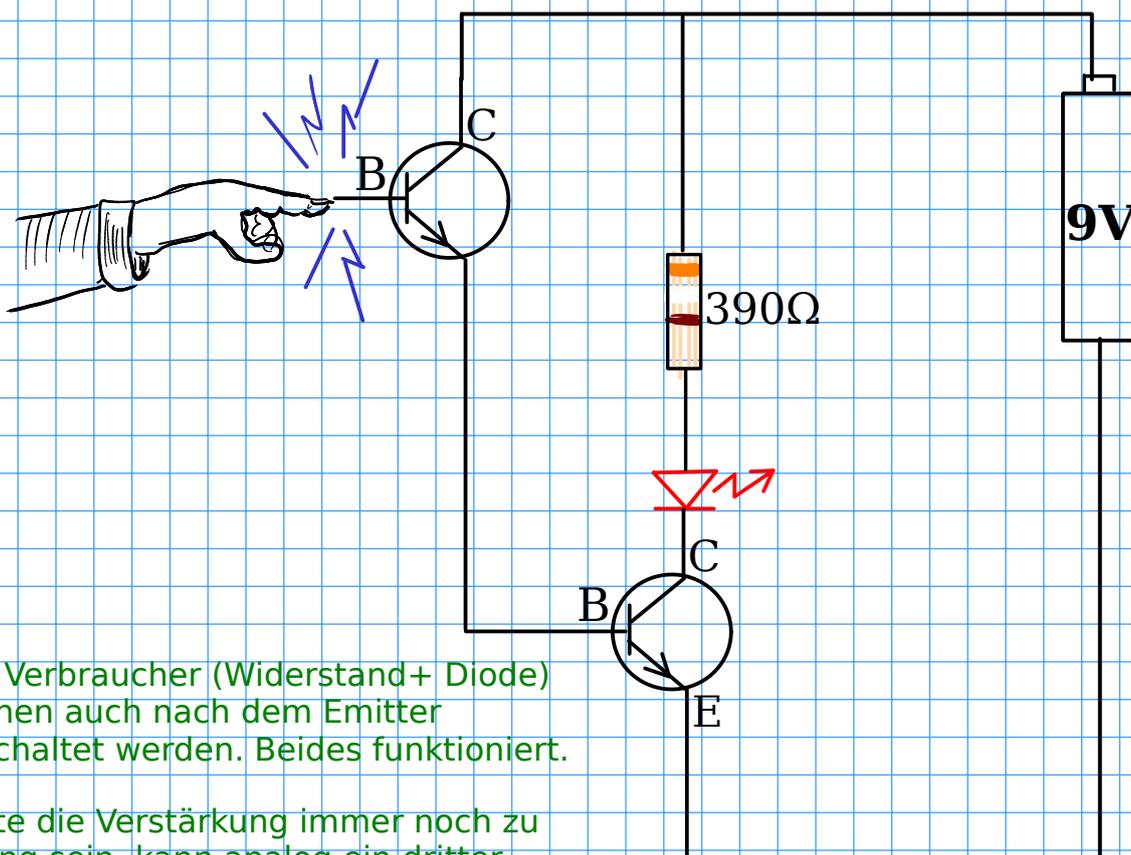


Eine kleine Spannung aus unserem Körper reicht, um via Basis den Transistor zu öffnen. Falls es nicht klappt: evtl. sich durch Reibung am Teppich mit den Schuhen statisch aufladen.

Die LED wird häufig auch vor den Collector (also oben) in den Stromkreis eingebracht.

Ein Transistor wirkt wie ein Stromverstärker. Ein sehr kleiner Strom an der Basis (B) bewirkt einen großen Stromdurchlass zwischen Emitter (E) und Collector (C).

Eventuell (falls der Effekt nicht auftritt) auch einen Doppelverstärker «Darlington-Schaltung» bauen (Vorwiderstand nicht vergessen):



Der Verbraucher (Widerstand+ Diode) können auch nach dem Emitter geschaltet werden. Beides funktioniert.

Sollte die Verstärkung immer noch zu gering sein, kann analog ein dritter Transistor eingebracht werden.

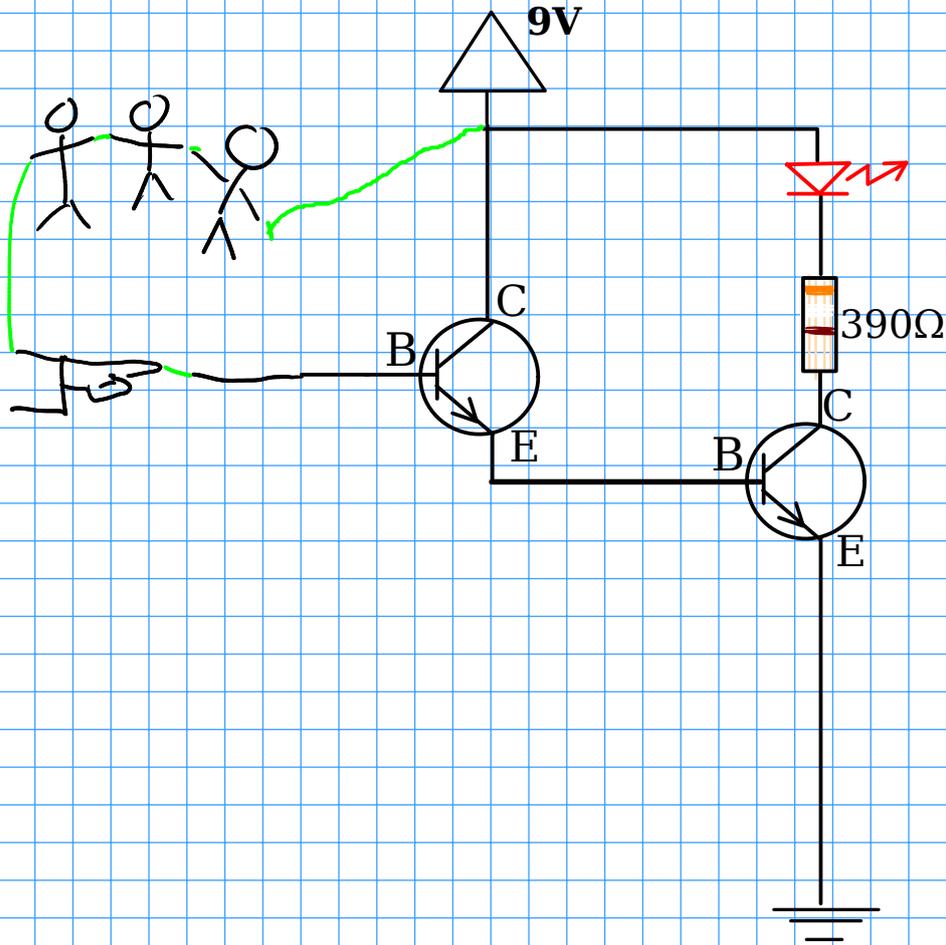
Sidney Darlington (1906-1997)

Darlington Schaltung mit drei Transistoren

Die folgende Schaltung reicht in der Regel, um die Verstärkung eines Transistors zu zeigen.

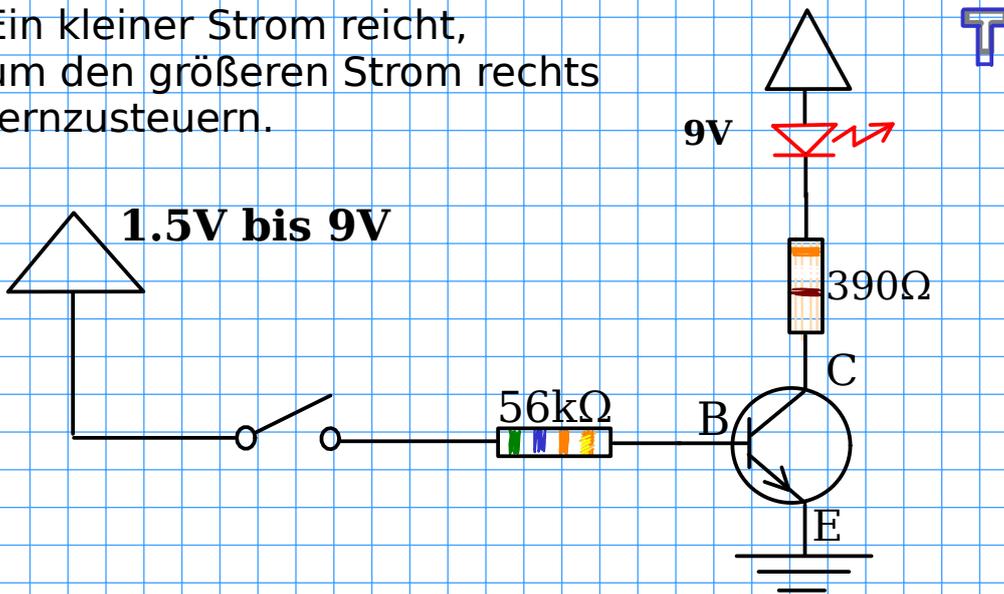
Getestet haben wir dies mit 10 Personen.

Sollte es wider Erwarten nicht klappen, so kann einfach ein dritter Transistor eingebaut werden.

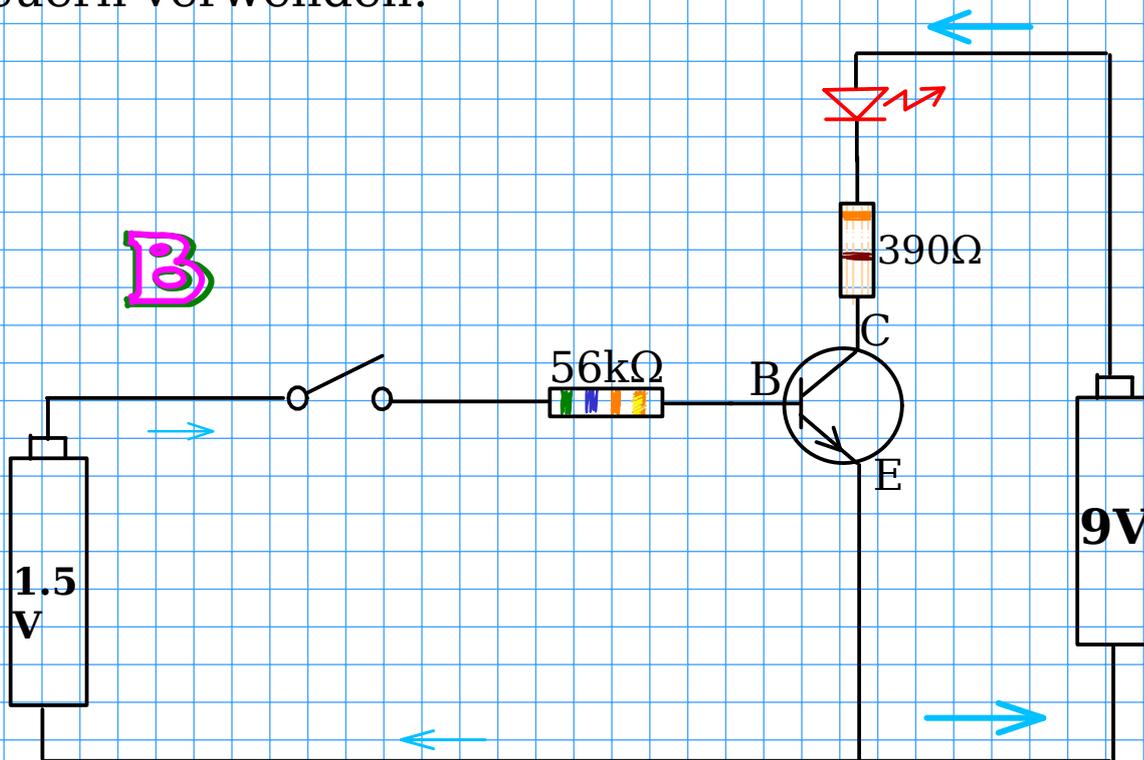


Der Transistor als Schalter

Ein kleiner Strom reicht, um den größeren Strom rechts fernzusteuern.



Evtl. 1.5 Volt Batterie (in separatem Stromkreis) zum Steuern verwenden:

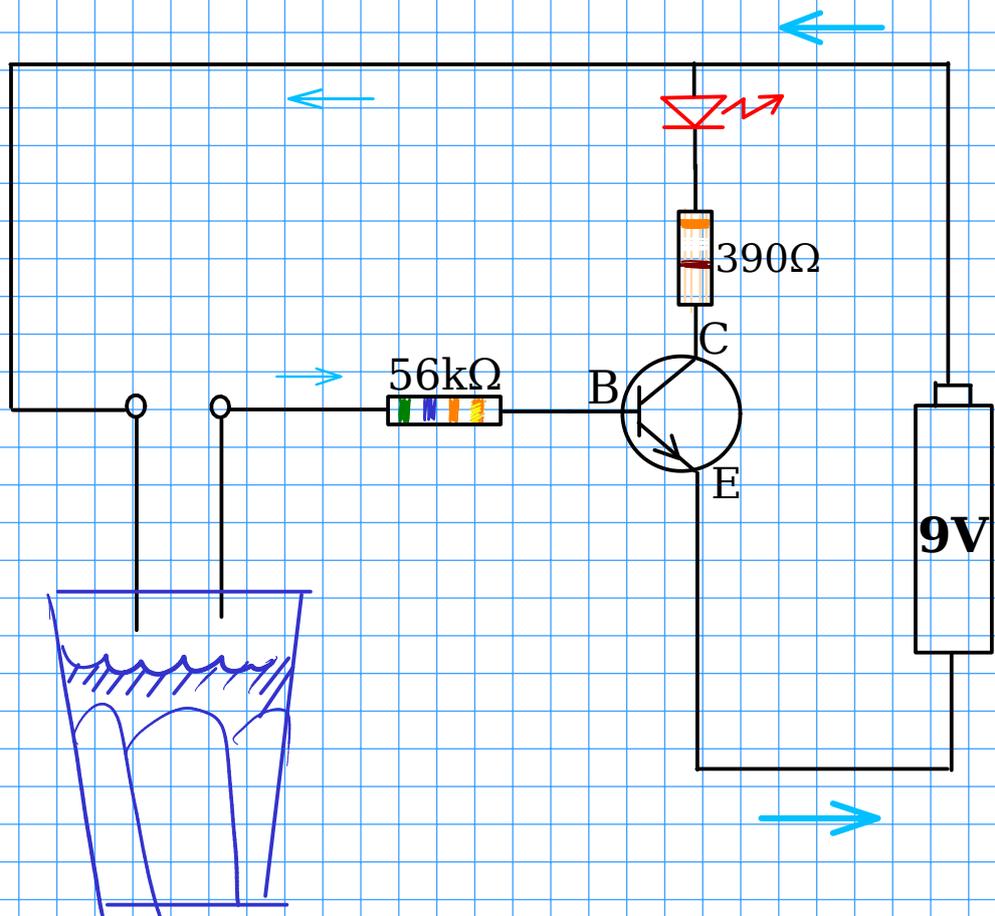


Achtung: Hier (mit 56k Ohm) kann die Last (LED) NICHT nach den Emitter geschaltet werden!

Diese Schaltung funktioniert wie das Fernsteuern eines zweiten Stromkreises mit einem Relais. Achtung: Beide Stromkreise müssen hier jedoch die selbe Basis (Minuspol = GND) aufweisen, was beim Relais nicht der Fall war.

Diese Fernsteuerung wird in Computern auf Schritt und Tritt verwendet, denn jedes Resultat einer Berechnung, wird wieder als Input in einen weiteren Stromkreis einfließen.

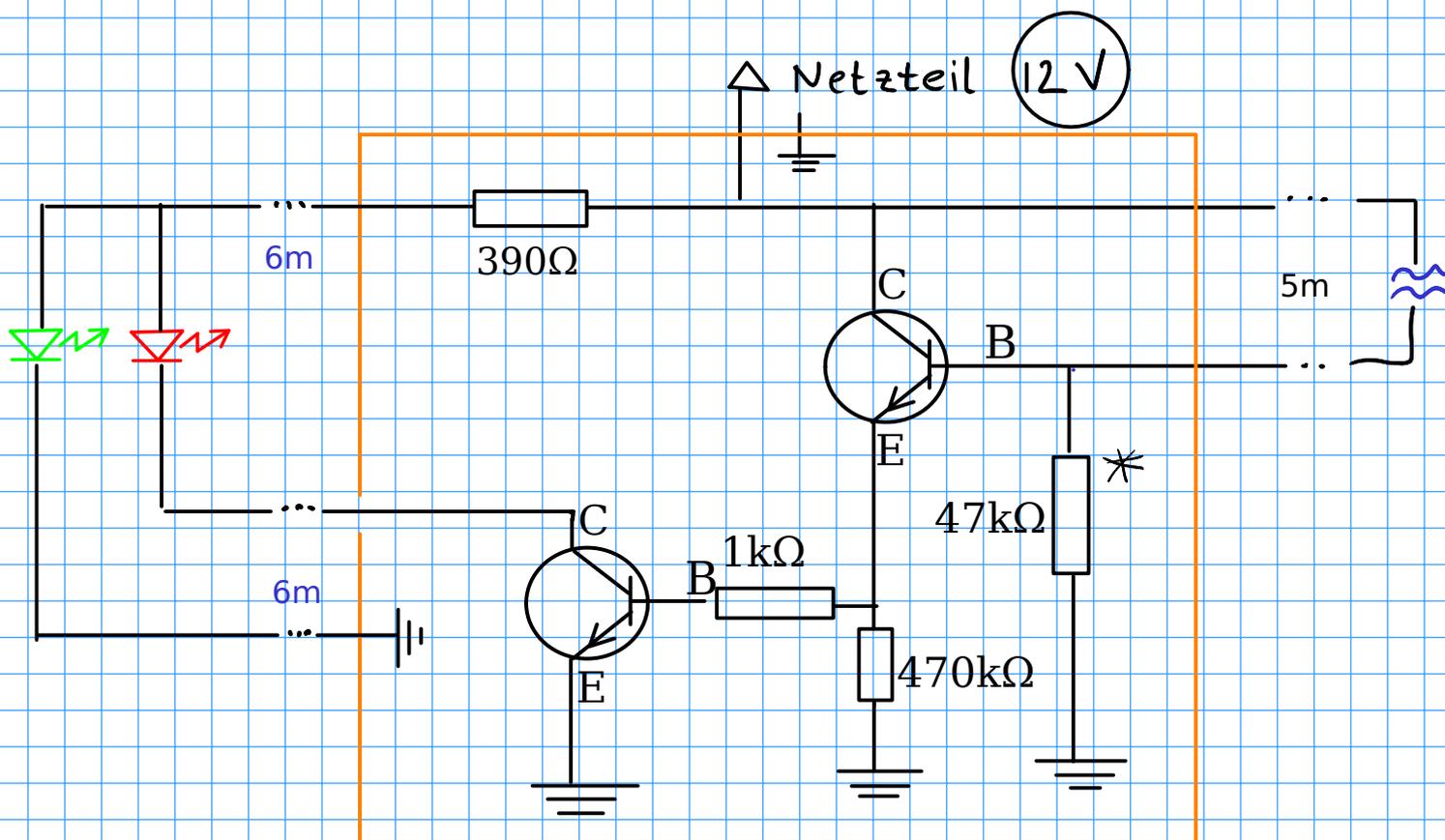
Projekt Wassermelder



Auflockerung für zwischendurch.

Diese Schaltung verdeutlicht nochmals den Verstärker-Effekt des Transistors. Erst wenn im linken Stromkreis genügend Elektronen "abgezogen" werden können, also wenn links genügend Strom fließen kann, wird der rechte Stromkreis geschlossen.

Auch hier wieder: Transistor als Fernsteuerung eines Stromkreises mit Hilfe eines zweiten Stromkreises.



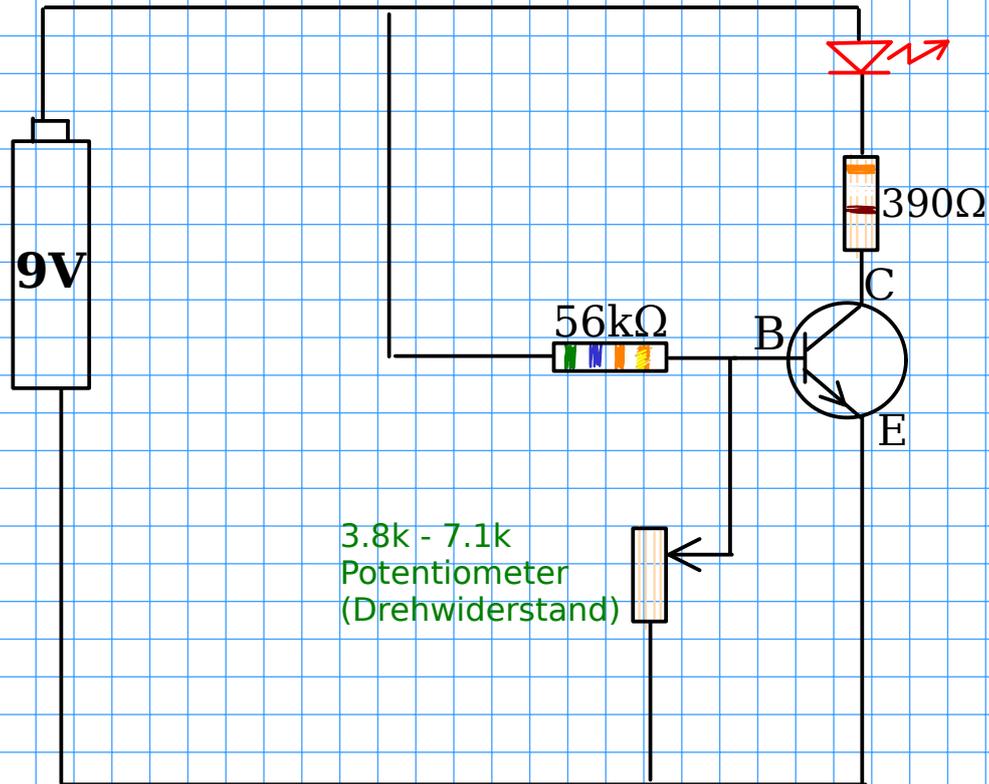
* an dieser Stelle wurde später ein 7.5kΩ (2x 15kΩ parallel) Widerstand eingebaut. 47k war wohl zu viel. Je nach Kabellänge und Störströmen muss hier noch etwas gebastelt werden.

B

Aufgabe: Basteln Sie obige Schaltung mit nur einer Diode und einer 9V Batterie statt einem 12V Netzteil. Beim "Sensor" (rechts, wo das Wasser sein soll) kann man nun mit den Fingern berühren. Dies geht sogar über mehrere Personen hinweg!

Verstärkerschaltungen

B



Mit dieser Schaltung wird nochmals der Verstärker-Effekt verdeutlicht.

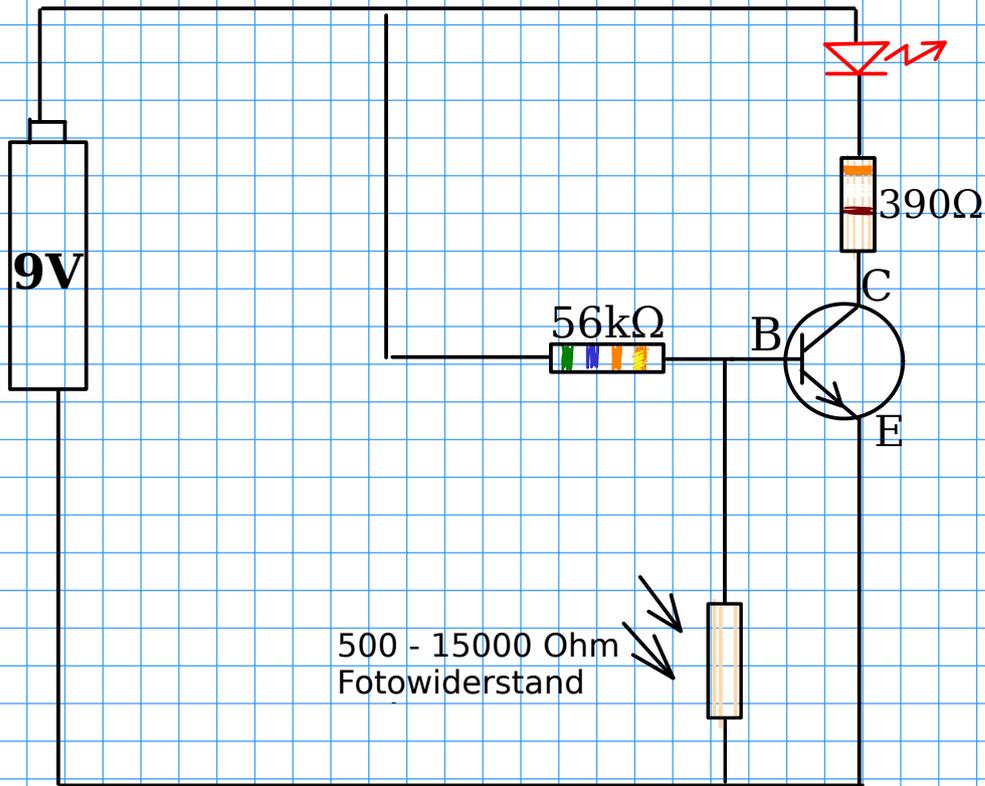
Das Potentiometer muss an einer bestimmten Stelle nur ganz wenig gedreht werden, und der rechte Stromkreis wird "geöffnet".

* Ist der Widerstand beim Potentiometer sehr klein, so fließt der Strom lieber hier direkt ab, als über die Basis zu "müssen" -> Der Transistor wird gesperrt.

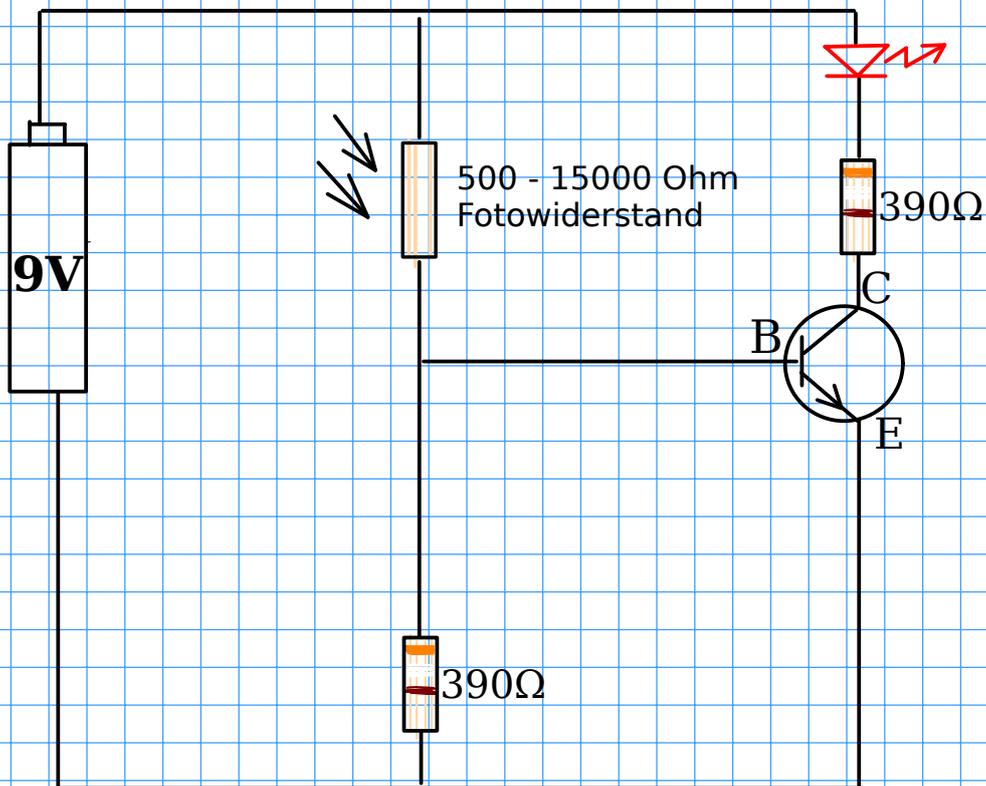
* Ist der Widerstand beim Potentiometer groß, so muss der Strom ob er will oder nicht durch den Transistor fließen und diesen öffnen.

Nochmals die Verstärker-Effekte, diesmal als Dämmerungs bzw. Helligkeitsschalter.
(Erklärung wie beim Potentiometer, hier wird jedoch ein Fotowiderstand dazu verwendet.)

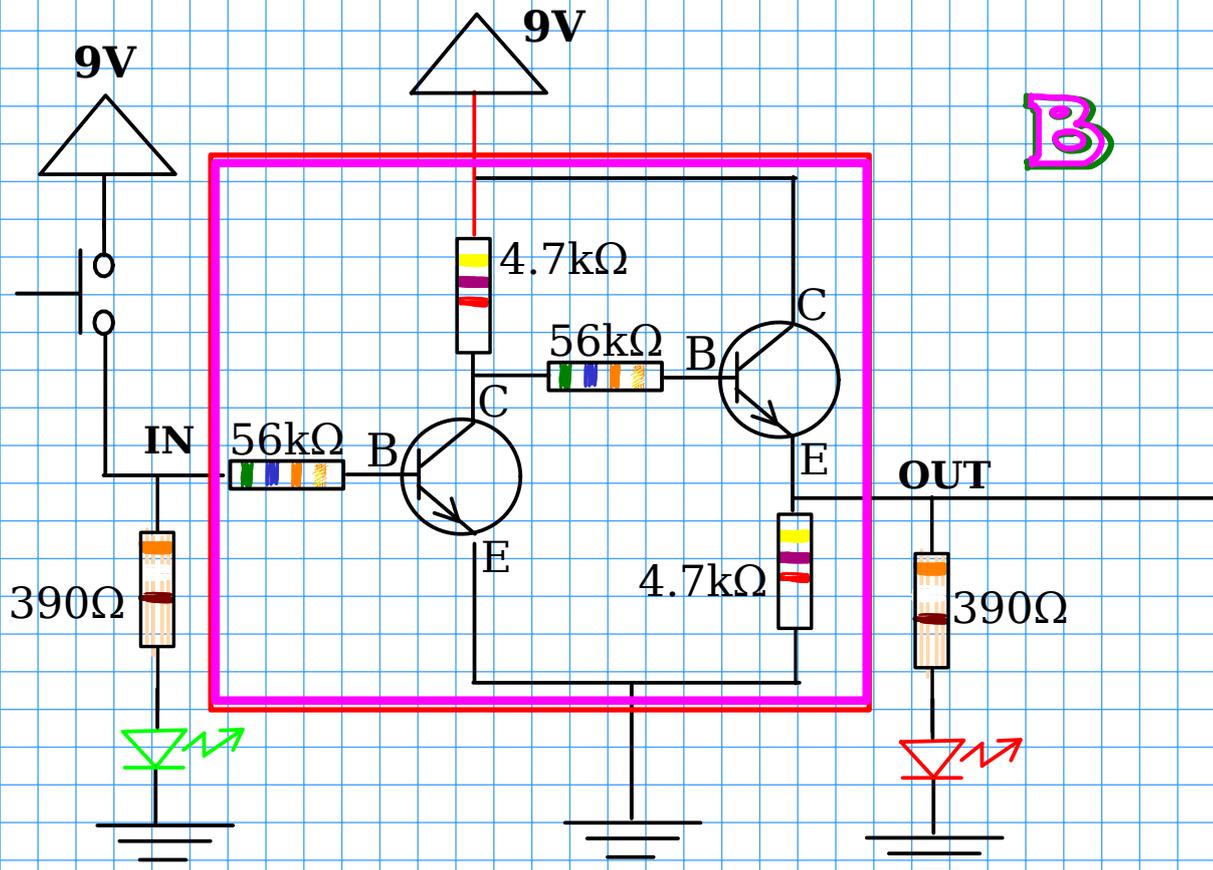
Dämmerungsschalter



oder umgekehrt: kommt kein Licht auf den Fotowiderstand,
so erlischt die LED.



NOT mit Transistor(en)

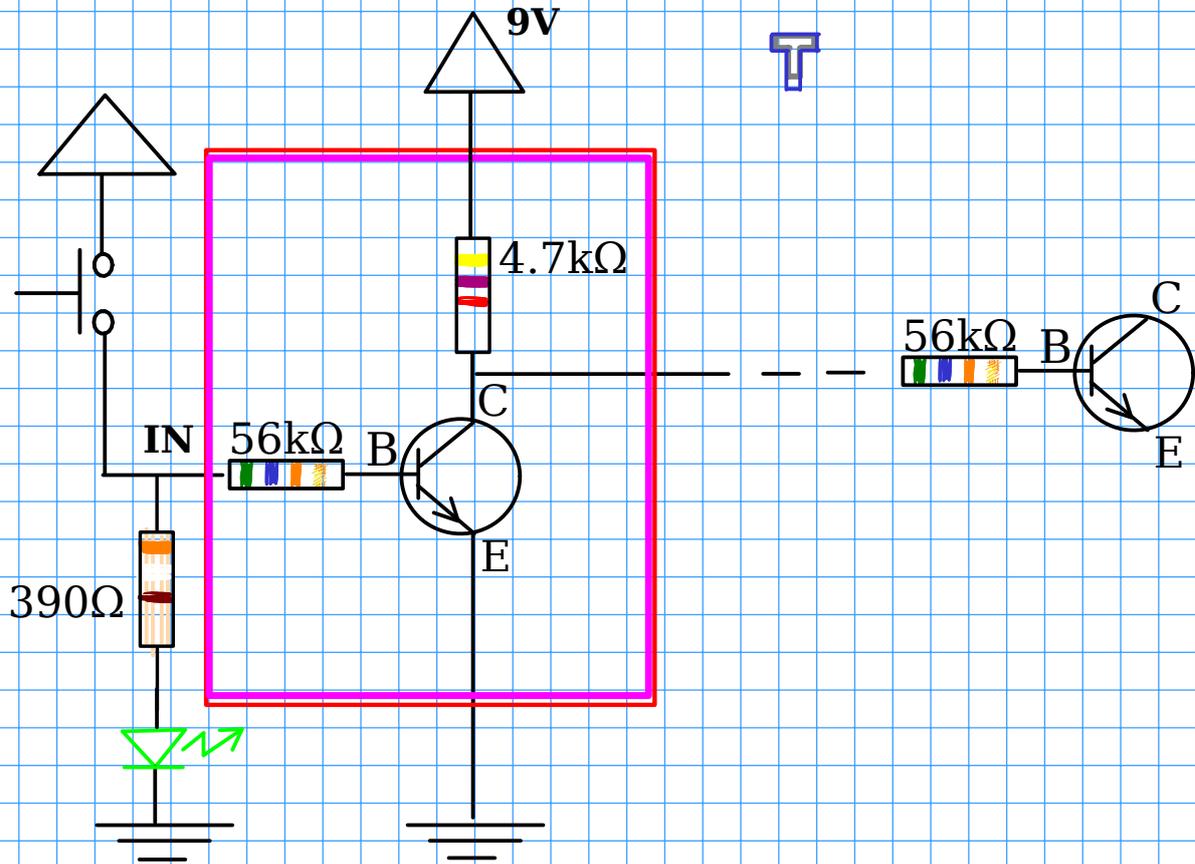


Funktionsweise

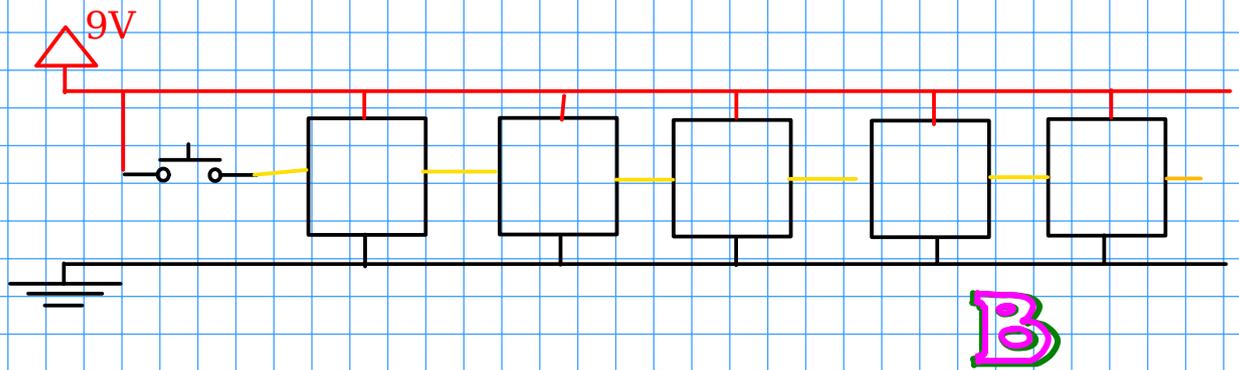
- * Liegt an IN keine Spannung, so ist der linke Transistor gesperrt. Der Strom fließt somit nicht durch den linken Transistor und muss nach "rechts" in die Basis des rechten Transistors. Dieser wird "geöffnet" und somit liegt 9V am OUT. Dieser wird "geöffnet" und somit liegt 9V am OUT.
- * Der linke 4.7k Ohm Widerstand verhindert den Kurzschluss bei geöffnetem linken Transistor.
- * Liegt an IN eine Spannung an, so ist der linke Transistor "offen". Der Strom fließt "lieber" durch diesen Transistor, als durch den rechten 56k Widerstand. Somit ist der rechte Transistor gesperrt. An OUT liegt somit keine Spannung.
- * Der rechte 4.7k Ohm Widerstand dient als (pull down) Widerstand. Er garantiert, dass bei geschlossenem rechten Transistor der Ausgang (OUT) auf 0V "heruntergezogen" wird (sonst wäre ein undefinierter Zustand an OUT möglich). In obiger Schaltung wäre dieser Widerstand nicht nötig, denn die Diode übernimmt das "pull down".
- * Beide 56k Ohm Widerstände verhindern zu große Spannung an der Basis der beiden Transistoren.

alternatives NOT mit einem Transistor

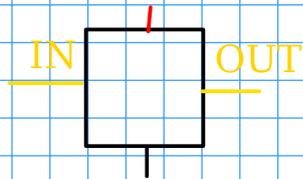
Wenn nur eine geringe Last (z. B. Basis eines Transistors) angesteuert werden muss, so reicht die folgende 1-Transistor-Schaltung. Typischerweise ist der Ausgang einer NOT-Schaltung gleichzeitig der Input einer anderen Schaltung.



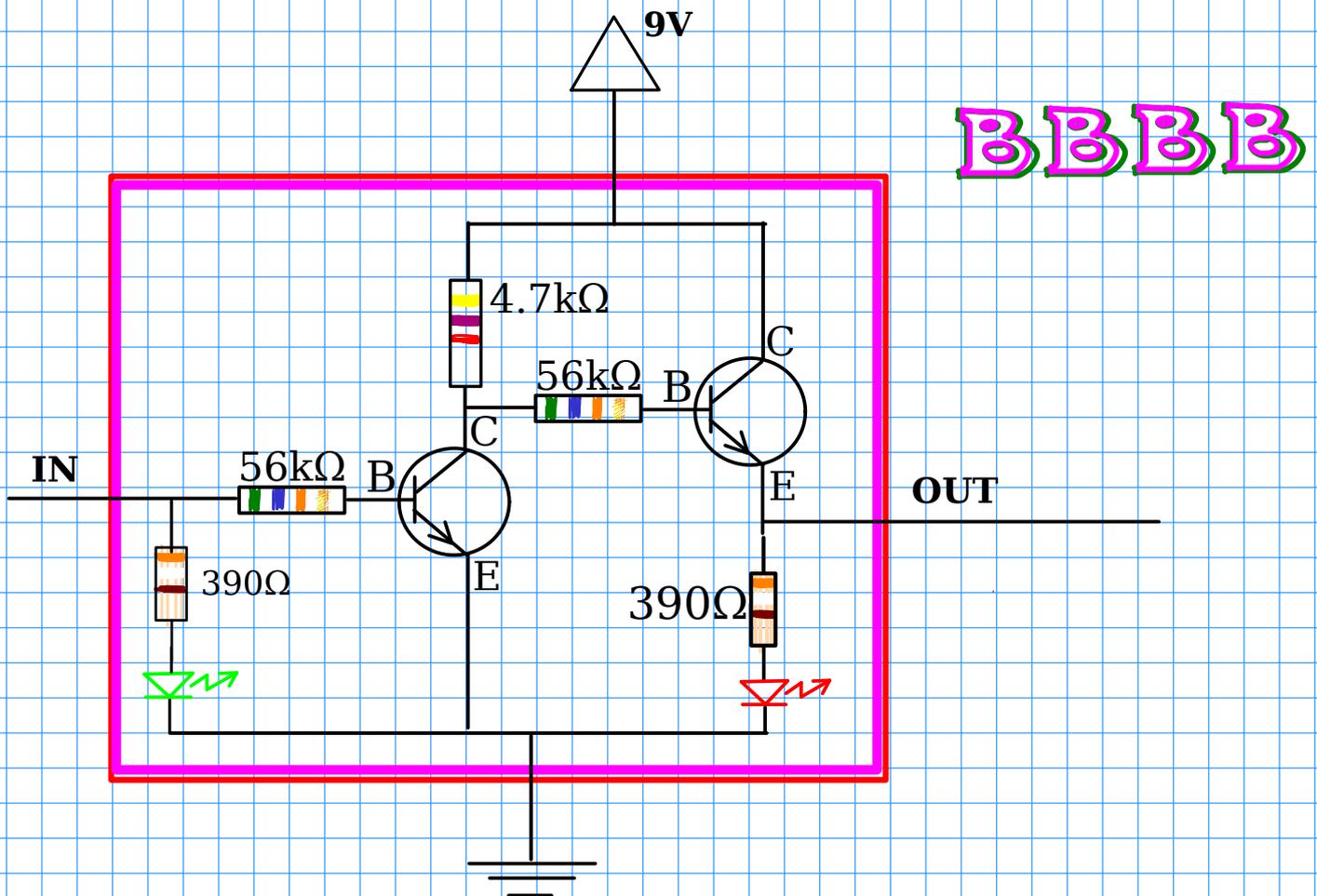
Mini-Projekt: NOT-Kette



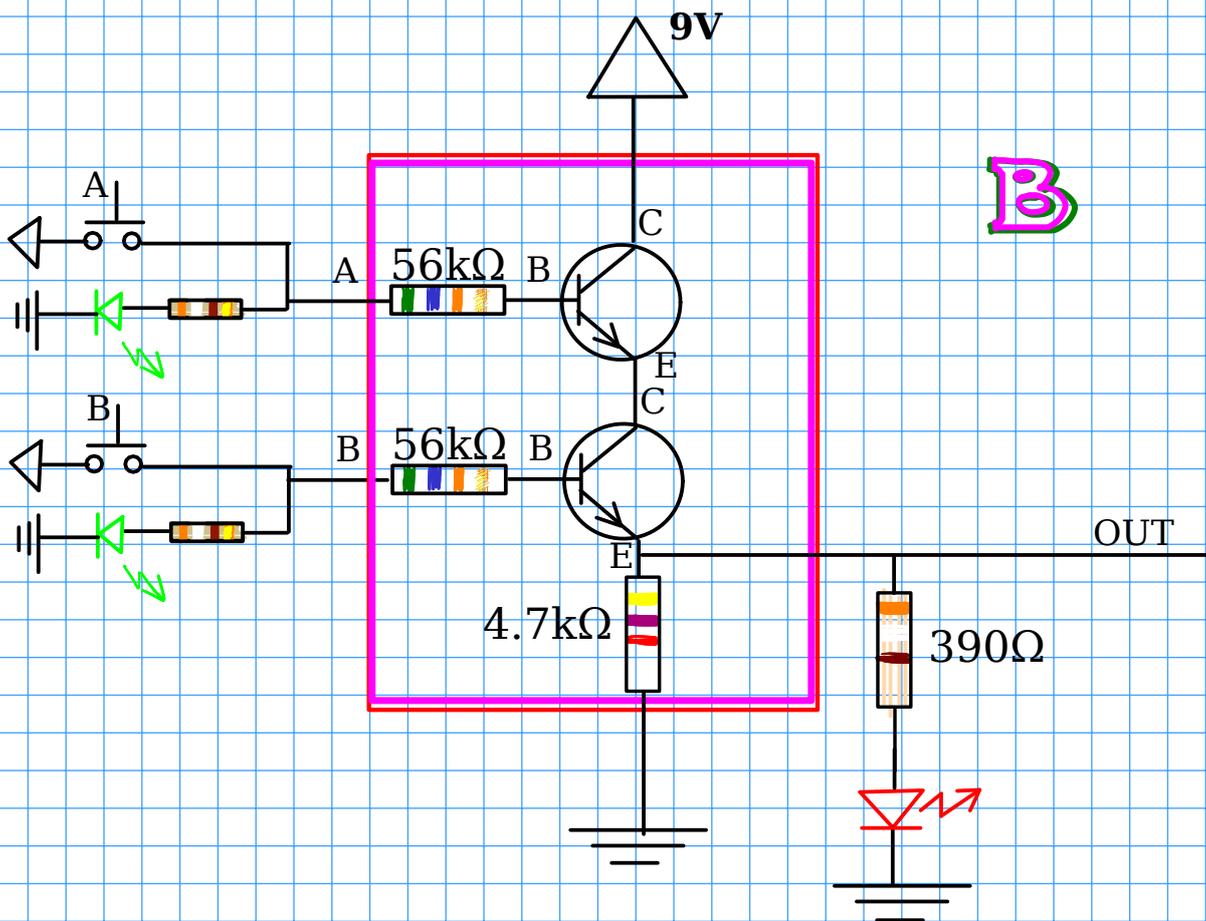
Jeder Schüler baut ein LED-NOT Modul:



Das Modul hat eine Stromversorgung (9V / GND), eine IN- und ein OUT-Leitung. Darin sind zwei Dioden (IN: grün und OUT: rot) schon verdrahtet. Sind die Module fertig, so werden sie zu obiger Kette zusammengesteckt.



Die AND-Schaltung



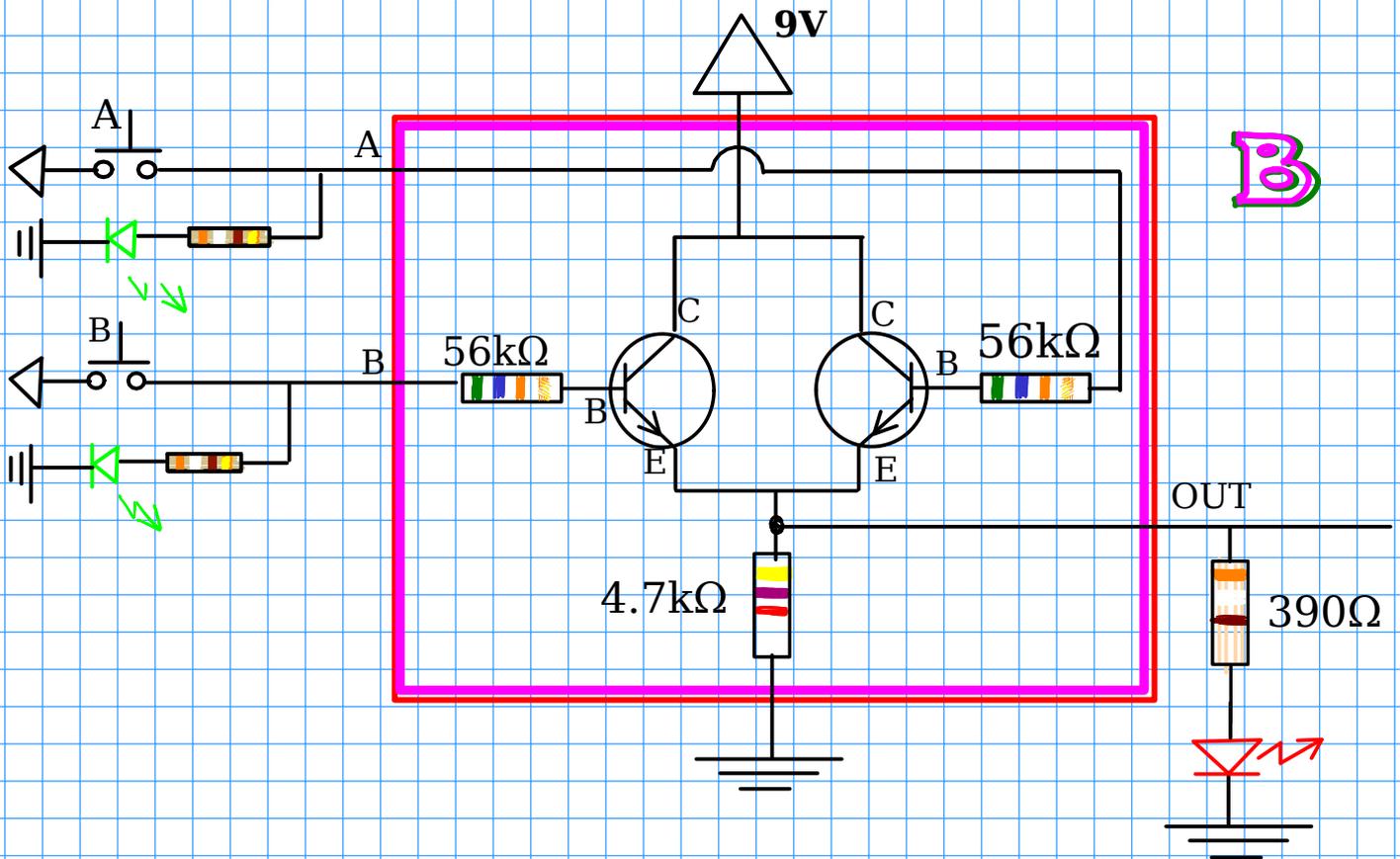
In dieser Schaltung ist die Output-Diode nicht sehr hell.

- a) Der Strombegrenzungswiderstand "frisst" etwas viel (56k) wäre hier besser als 4.7k.
 - b) Die 56k müssen viel an die Dioden links abgeben.
- Aber das Prinzip sollte hier klar werden.

Beschreibung.

- * Die beiden Transistoren sind "in Serie" (also hintereinander) geschaltet. Erst, wenn beide Transistoren "geöffnet" sind, kann ein Strom zum Output (OUT) fließen.
- * Jeder der beiden linken Schalter steuert je einen Basisstrom (mit A bzw. B bezeichnet).
- * Die Dioden links (grün) geben zeigen, dass eine Spannung an A bzw. B anliegt.
- * Der 4.7 Pull-Down-Widerstand hat den selben Effekt, wie in der NOT-Schaltung und wäre hier auch nicht nötig, denn die Diode rechts (rot) übernimmt diesen Schutz-effekt.

Die OR-Schaltung



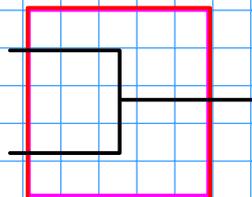
B

Die OR-Schaltung hat die beiden Transistoren nicht in Serie, wie die AND Schaltung, sondern parallel. Ein Durchschalten eines der beiden Transistoren reicht, um den Strom an den Output (OUT) zu leiten.

AND, OR und NOT werden verwendet, um komplexe Schaltungen (wie z. B. eine Summenberechnung von zwei Zahlen) zusammenzubauen.

T

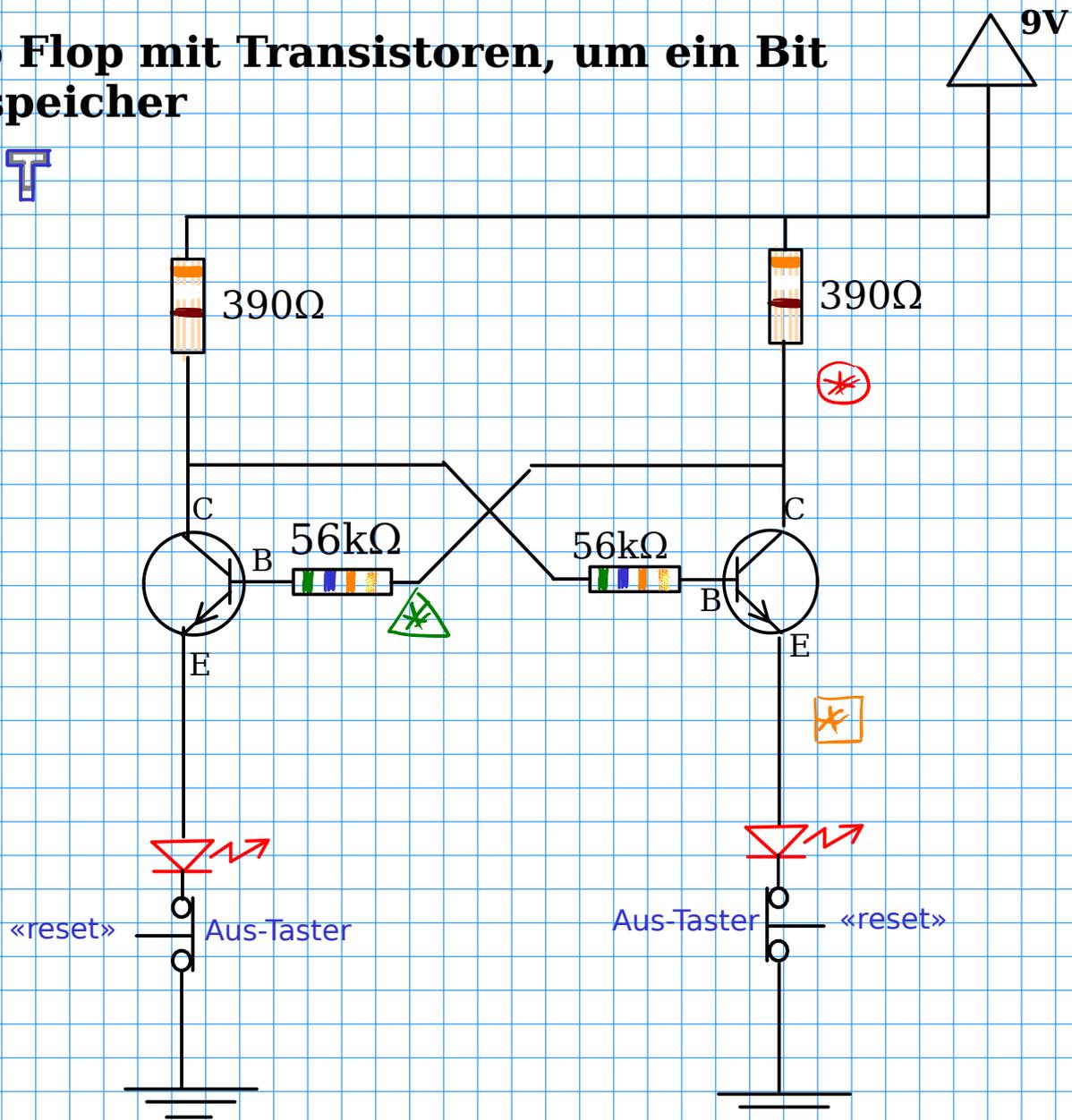
alternatives OR:



Wenn die Schaltung links nicht beeinflusst werden kann durch die Ströme dieser Schaltung, so können die Drähte auch verbunden werden.

Dies funktioniert natürlich nicht, wenn wir nun eine Last links an die Eingänge (z. B. LED wie oben) anfügen!

Flip Flop mit Transistoren, um ein Bit zu speichern



* Anstelle des Aus-Tasters kann hier alternativ via Taster mit der Masse (GND = 0V) verbunden werden.

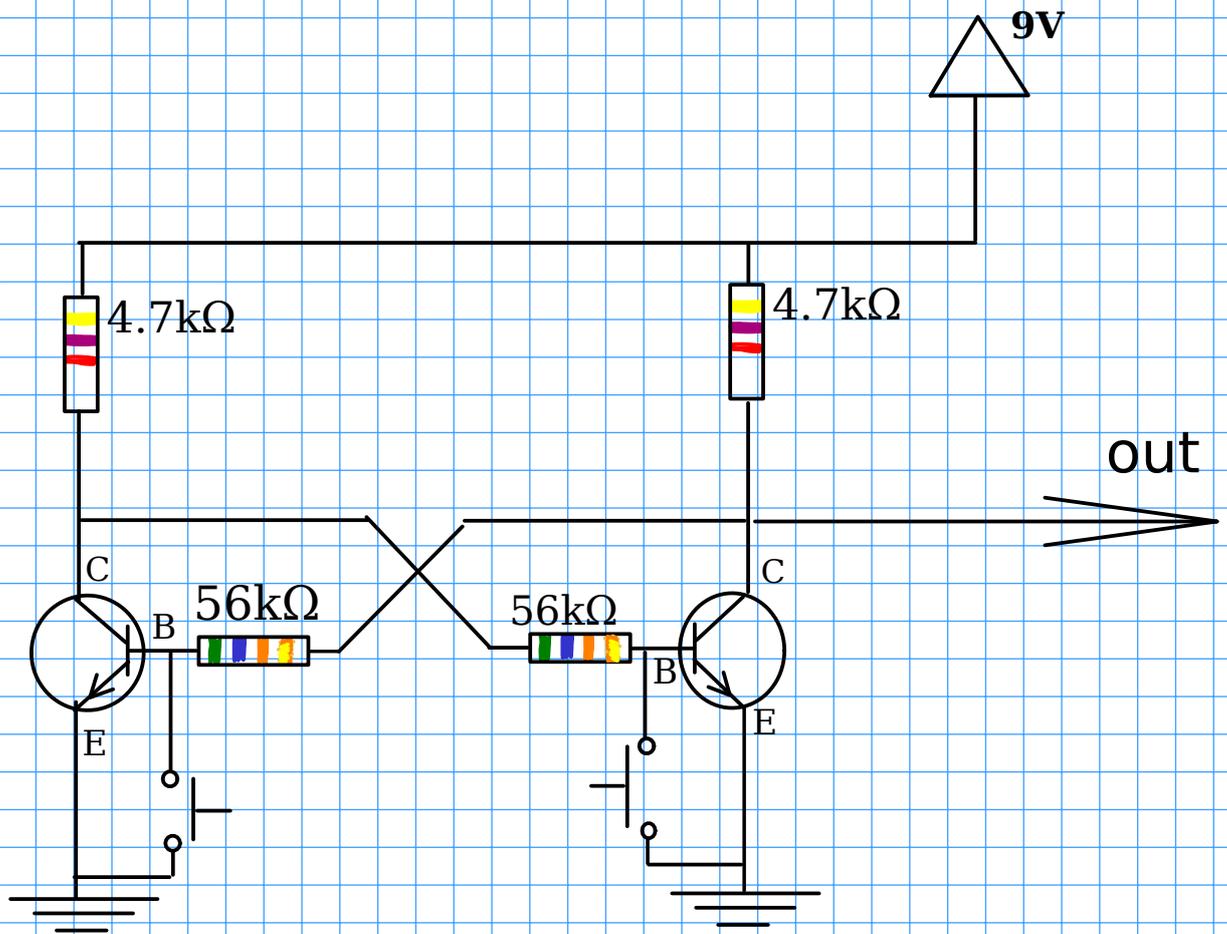
* Sind die Dioden an dieser Stelle, so leuchten sie evtl. schwach weiter.

* Sind die Vorwiderstände an dieser Stelle, so fließt durch die Transistoren zu wenig Strom ab, sodass nun beide Basen mit Strom versorgt werden: Beide Lampen leuchten.

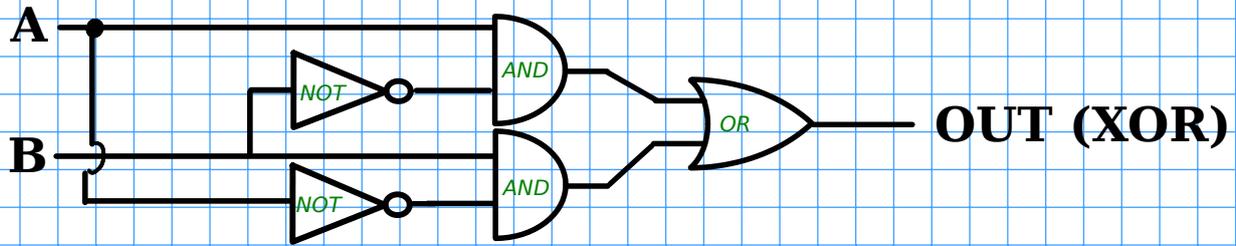
Das Flip-Flop wurde bei den Relais bereits behandelt. Dieses hier kann ein Bit-Speichern und den Zustand "links" oder "rechts" mit je einer Diode "ausgeben".

Ein SET-Taster braucht es hier nicht: Der Transistor, der zuerst schaltet, nimmt dem anderen den Basisstrom weg und ist solange der "Alleinherrscher", bis der "RESET" Taster geschaltet wird und im anderen Transistor die Basis geöffnet wird; nun sind die Rollen vertauscht.

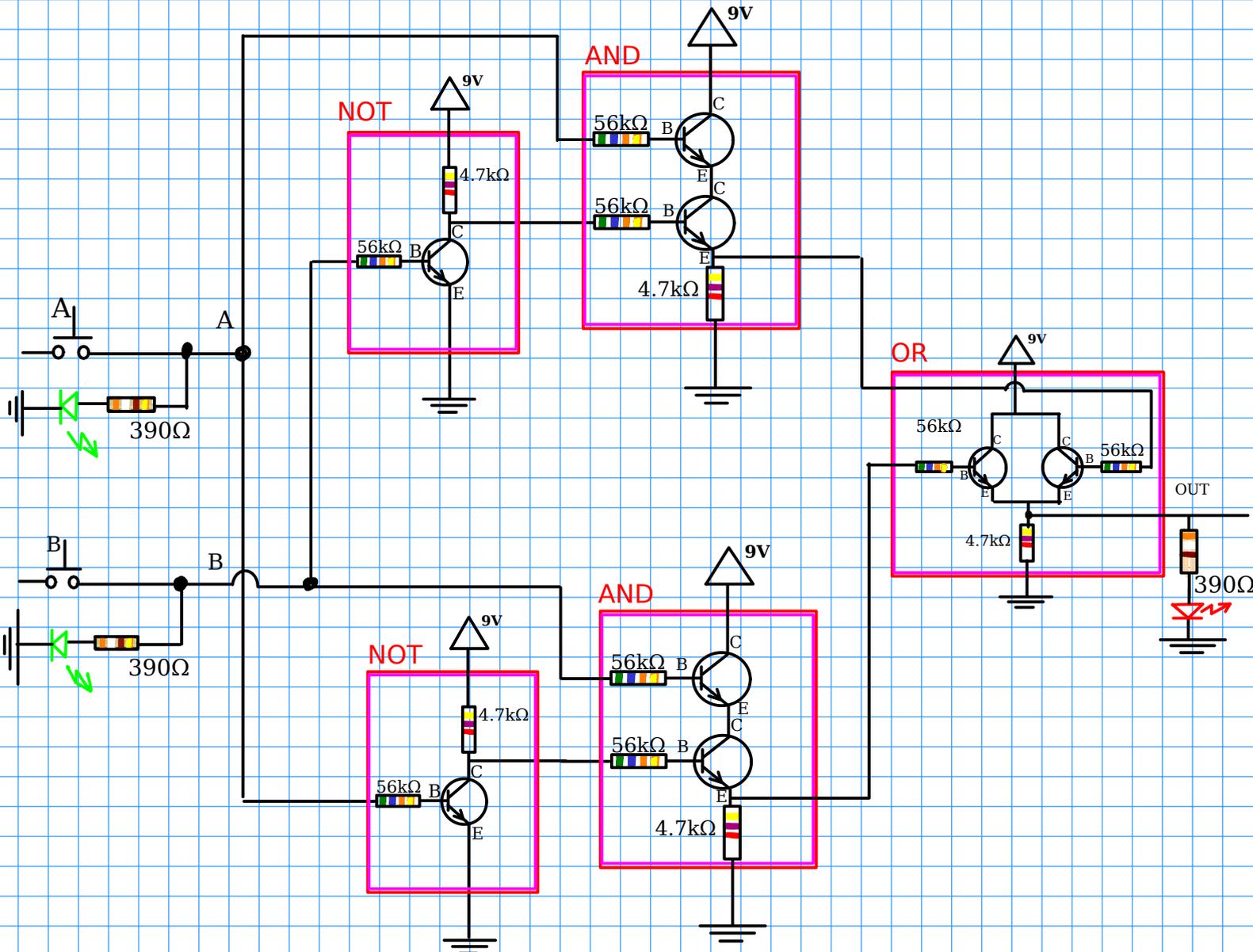
Flip Flop mit Ein-Tastern und ohne LED



XOR mit Transistoren



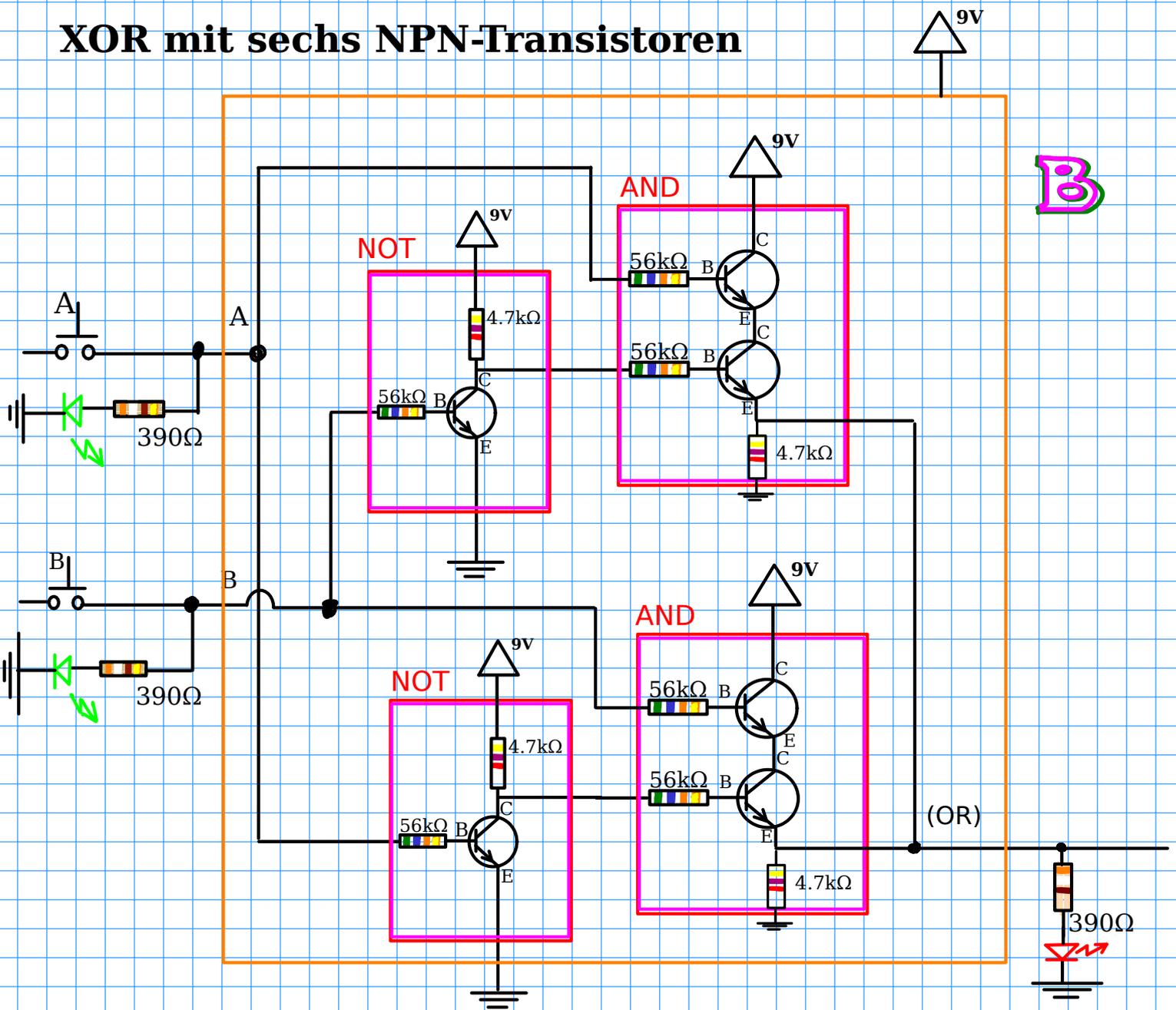
Logische Herleitung: $A \text{ XOR } B = (A \text{ AND NOT } B) \text{ OR } (B \text{ AND NOT } A)$



Bem.: Auf das OR rechts kann verzichtet werden, denn es können nicht beide "AND" gleichzeitig durchgeschaltet sein. Ein einfaches Verbinden der beiden AND-Ausgänge sieht man auch oft in Schaltungen. Ich habe es allerdings in zusammengesetzten Schaltungen noch nicht ausprobiert, ob es auch ohne das rechte OR wirklich funktioniert....

Das XOR verwendet zwei NOT, zwei AND und eine OR Schaltung. Mit dem XOR können zwei Binärziffern addiert werden ($0+0=0$; $0+1=1$, $1+0=0$ und $1+1 = 0$). Dabei wird der Übertrag auf das nächsthöhere Bit vernachlässigt. Der Übertrag kann einfach mit einem AND später hinzugefügt werden.

XOR mit sechs NPN-Transistoren

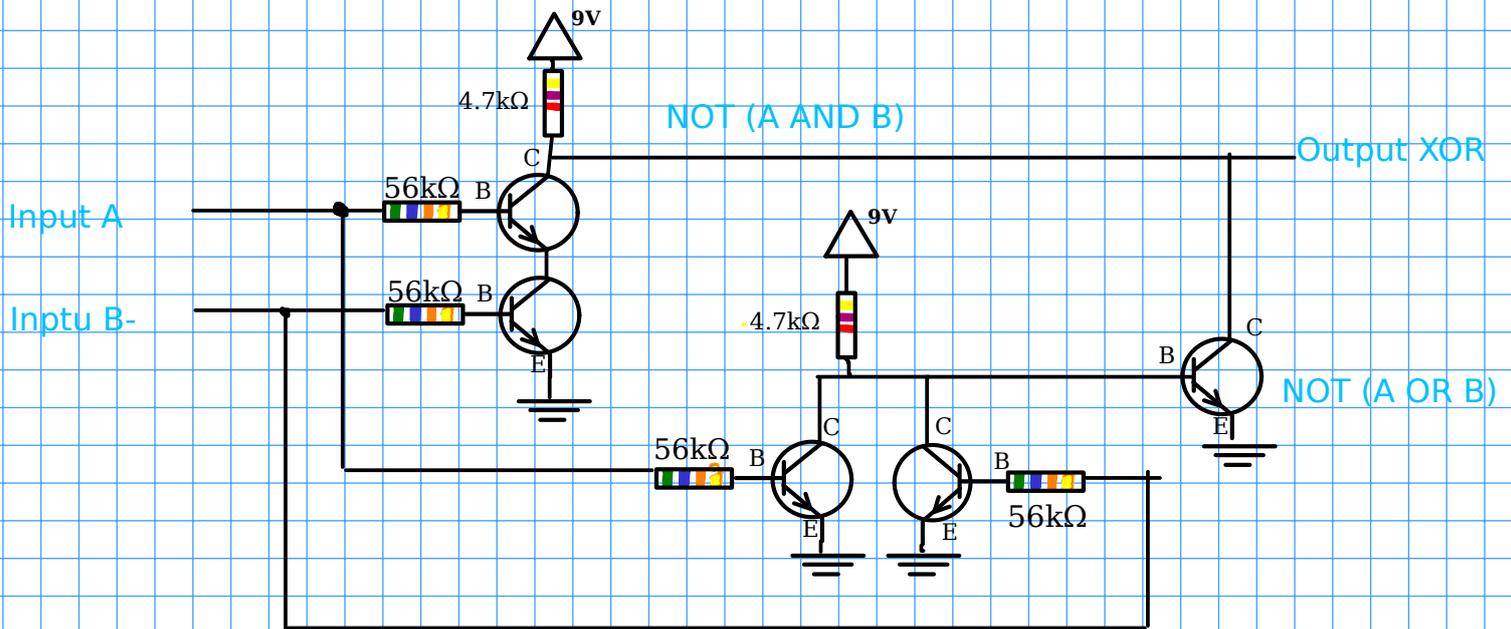


In dieser Abgekürzten Schaltung wurde das rechte OR einfach durch eine Verbindung der Kabel (beim Punkt über dem rechtesten 4.7 Ohm Widerstand) verdrahtet.

Unbedingt noch testen und damit einen Halbaddierer bauen!

Diese abgekürzte Schaltung funzt für sich alleine.
Ob sie im Halbaddierer dann auch geht, muss noch von der Klasse im Projekt "Addierer" getestet werden.
Ansonsten den obigen (eine Seite vorher) Halbaddierer verwenden.

Die folgende XOR Schaltung mit nur 5 Transistoren und nur 6 Widerständen ist etwas schwieriger zu verstehen, funktioniert aber auch!



Warum sollte das auch ein XOR geben?

HIGH an A and B resultiert NOT (A AND B).

HIGH an A or B resultiert NOT (A OR B)

NOT (A OR B) wird noch verstärkt und von NOT (A AND B) subtrahiert.

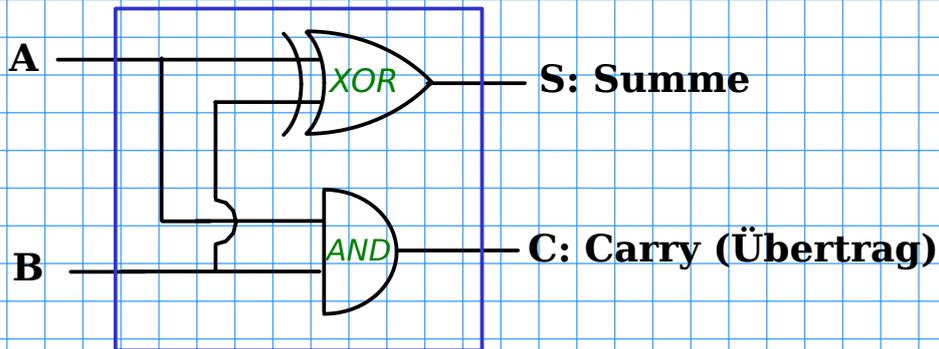
Daraus resultiert (NOT (A AND B) - NOT (A OR B)).

Dies liefert genau das NAND minus das NOR, was eben dem XOR entspricht.

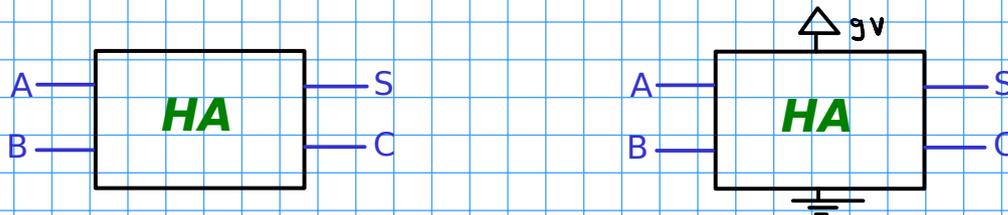
Die Schaltung wurde auch in einem 4-Bit-Addierer getestet. Da im 4-Bit Addierer sieben XOR-Schaltungen vorkommen, kann mit gutem Gewissen behauptet werden, dass obiges XOR stabil läuft.

Zeit für den Volladdierer

Nochmals der Halbaddierer:

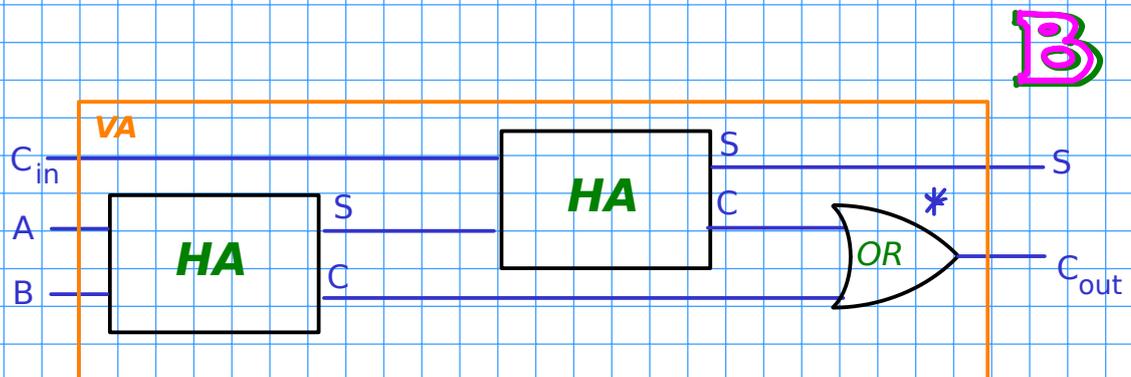


Abgekürzt wird der Halbaddierer (HA) nun wie folgt dargestellt:



Auftrag 1: Baue den Halbaddierer mit Transistoren (mit obigem AND und XOR)

Der Volladdierer (VA)



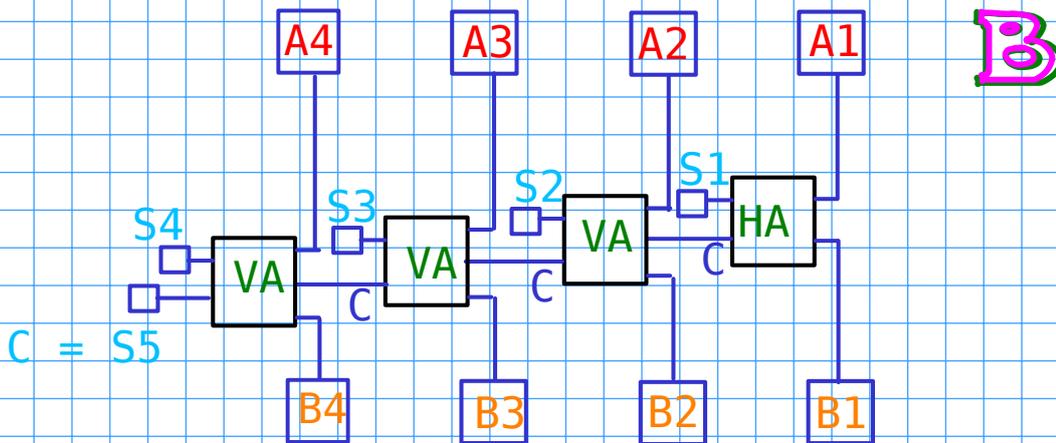
Auftrag 2: Baue einen Volladdierer (mit zwei Halbaddierern und einem OR)

IN			out		
C _{in}	A	B	C _{out}	S	(dezimal)
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1
0	1	0	0	1	1
0	1	1	1	0	2
1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	0	2
1	1	0	1	0	2
1	1	1	1	1	3

* das OR in der Transistorschaltung verzichtet auf die Dioden. Hier können einfach die beiden C (Carry) miteinander verbunden werden.

4-Bit Adder

http://www.waitingforfriday.com/index.php/4-Bit_Computer



Bauen Sie obige Schaltung wie folgt:

A1-A4 sind die Eingänge der ersten Zahl

A1 ist das niederwertigste Bit (1er)

A2 sind die 2er

A3 sind die 4er

A4 sind die 8er

Verbinden Sie diese je mit einer Diode und einem Taster

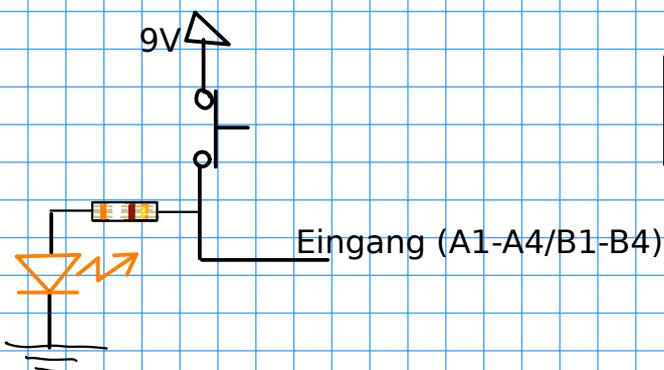
Analog mit den Eingängen B.

Das Resultat ist die Zahl

S5/S4/S3/S2/S1 (S1 sind wieder die 1er)

Verbinden Sie auch die Ausgänge je mit einer Diode.

Jeder Taster:



Jede Ausgabediode:

