

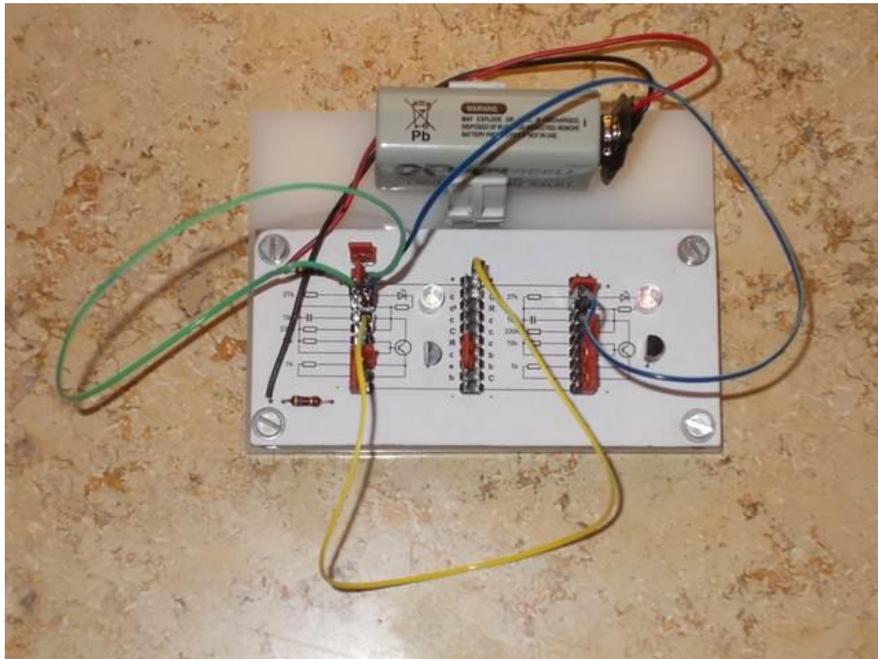
# Own Design and the Basics of Digital Technology

Contribution to the Easter competition 2017 - by Wolfgang Triebig  
In this version v3 I have added the changed design of a Single In Line design, that can be used on a breadboard, and connections via wires. J. Pintaske Nov 2024

## Nachbau und Grundlagen der Digitaltechnik

Beitrag zum Oster-Wettbewerb 2017 von Wolfgang Triebig  
[Home](#) [Labor](#) [Bastelecke](#) [Elektronik-Experimente](#) [Contest](#)

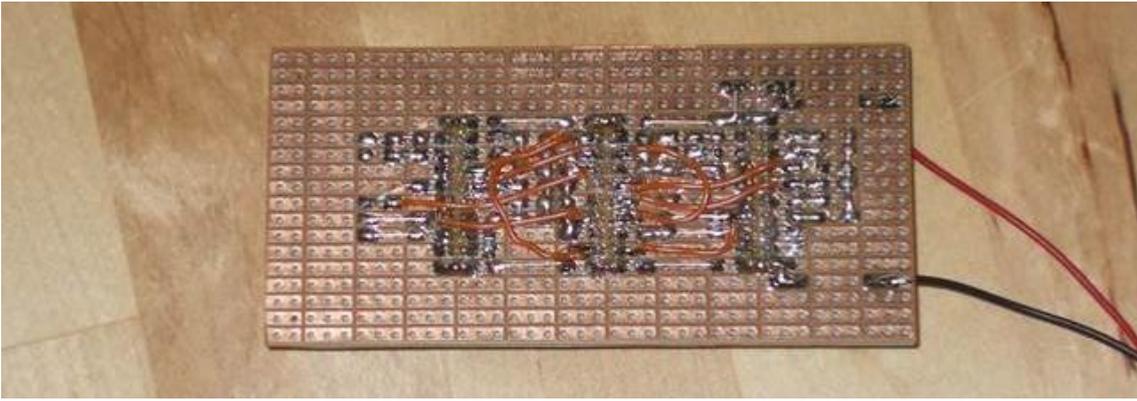
---



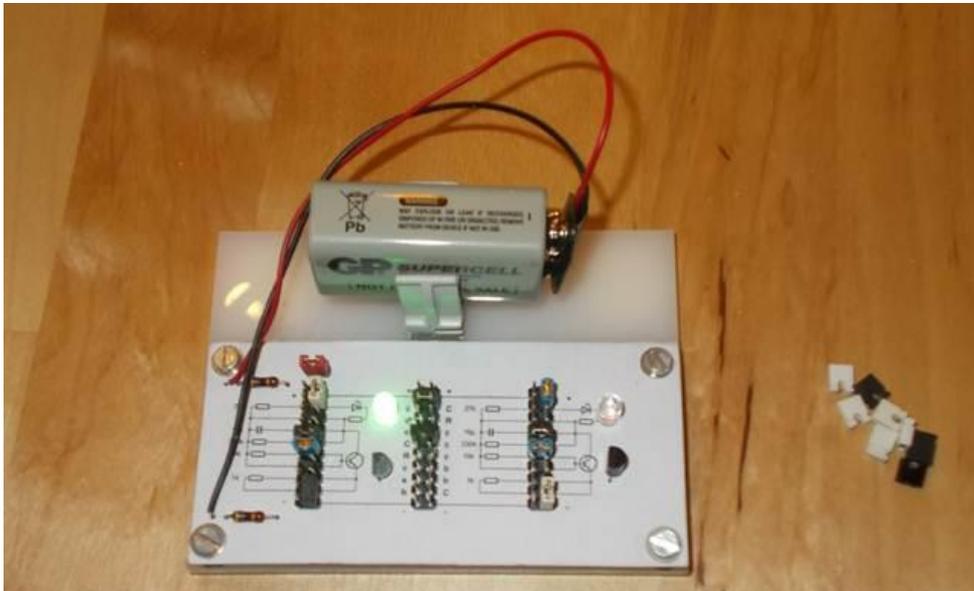
### Construction

When building it, I basically stuck to the original. LEDs and transistors are implemented with wired components, the resistors and capacitors are implemented in SMD. Only the 47  $\Omega$  resistors are also designed as wired components, so that in the event of a short circuit, the resulting power of over 400 milliwatts per resistor can be permanently taken. I find the lack of a switch-off option for the battery to be a shortcoming, which I have supplemented with two more posts, that can be connected via a jumper as well.

Since I had no experience with SMD components before, the soldering work was very fiddly for me. But I still managed without a magnifying glass. I got the best results when I first tinned a copper surface and then "glued" the SMD component to it. Then I first soldered the second side and finally soldered the first side.



I then screwed the circuit board together with a clamp as a battery holder onto a leftover piece of acrylic. Finally, four felt parts were glued on as feet, resulting in a stable, non-slip overall system. I did the first tests with jumpers that were just within reach. It turned out that jumpers with a "grip" are much easier to handle.

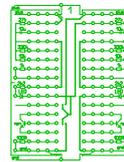
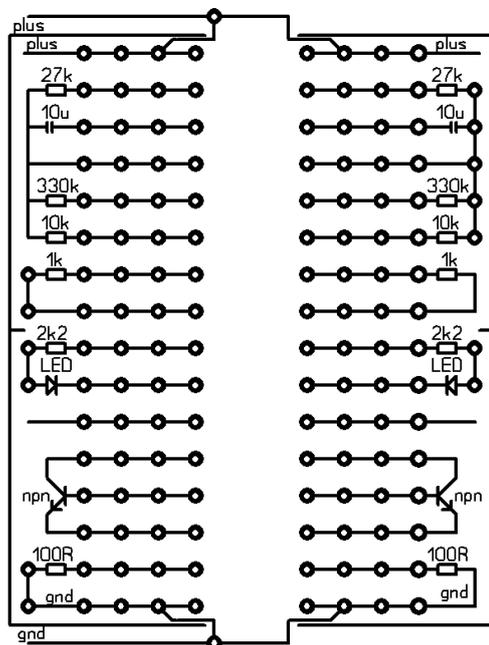
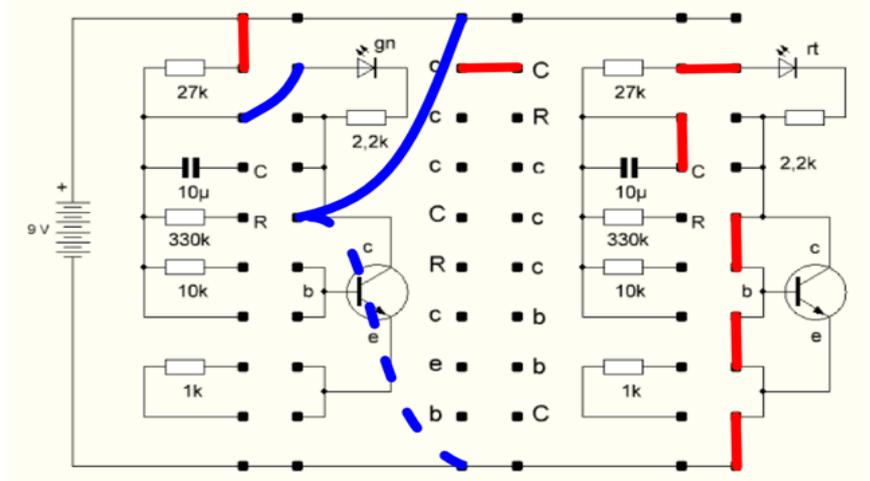
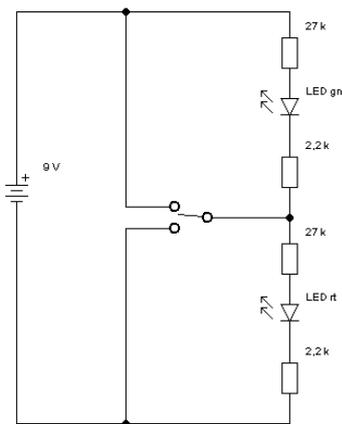


Motivated by the manual, I not only built the circuits, but also described a small introduction to digital technology with the system.

## Introduction to digital technology

### Allowed Voltage Levels

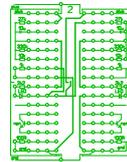
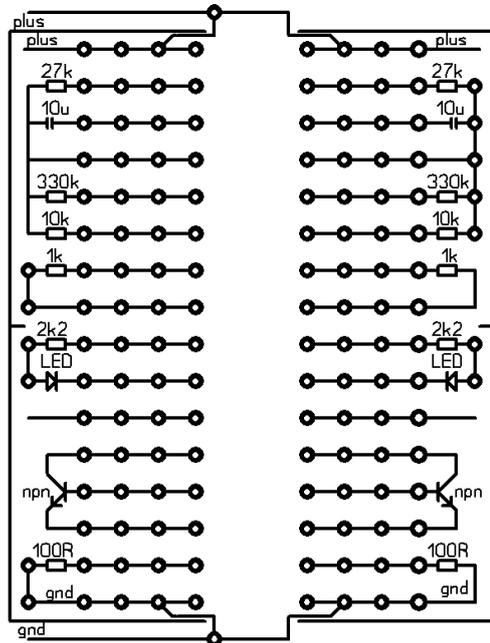
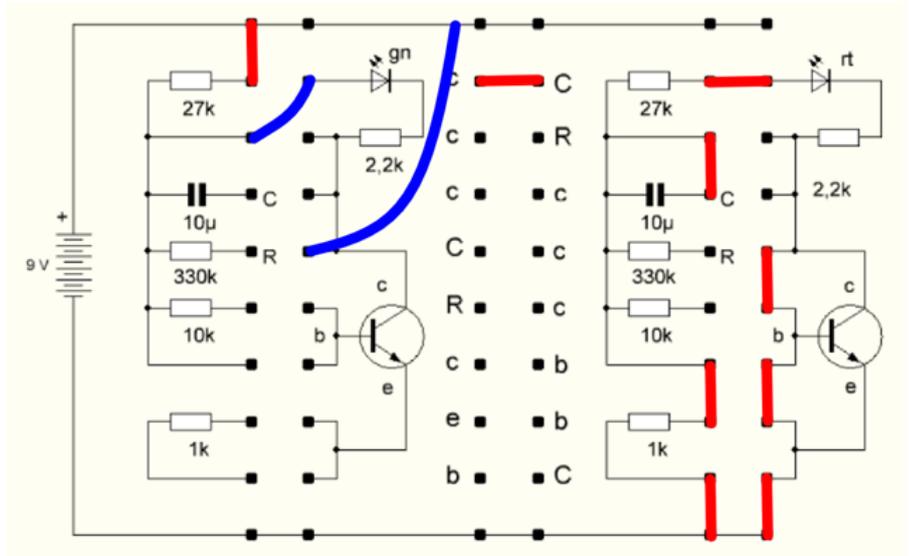
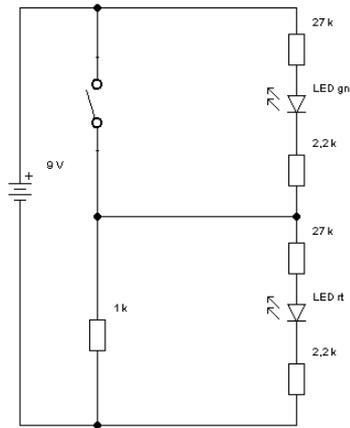
In contrast to analog technology, where every voltage level between minimum and maximum is processed, only the states 0 and 1 are permitted in digital technology. The first test should clarify this. The circuit consists of a series connection of the two LEDs together with the two  $27\text{k}\Omega$  resistors as additional series resistors. There is a jumper wire between the two LEDs as a switch, which is initially connected to +. A voltage close to the operating voltage is defined as level 1. As a result, the red LED should be on and the green LED should be off. This is also understandable since the green LED is connected to + via the resistors on both sides and therefore there is no voltage on the LED. If the jumper is connected to -, the green LED lights up while the red LED is dark.



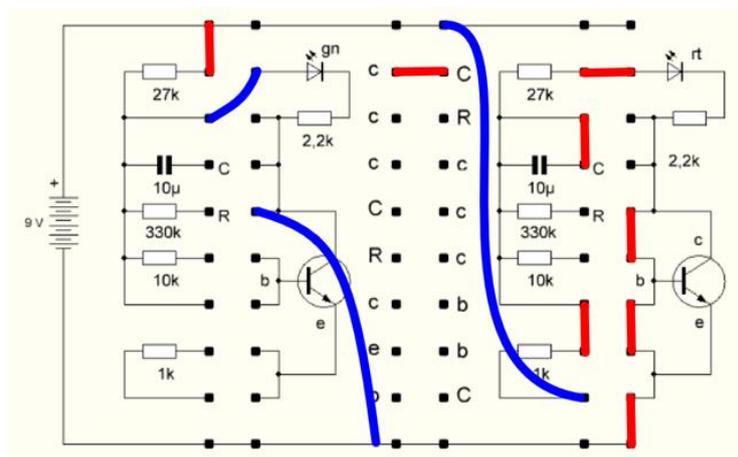
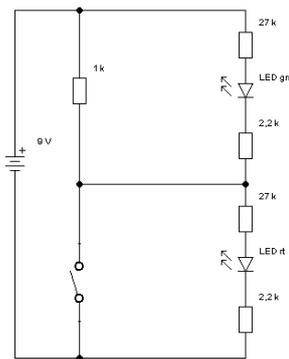
Both LEDs will light up while the wire jumper is being repositioned, because the current can flow through both LEDs as no LED is shortened. This state is not permitted in digital technology since neither level 0 nor level 1 is present. Even when using digital ICs, care must be taken to ensure that there are no open inputs, as this can result in malfunction.

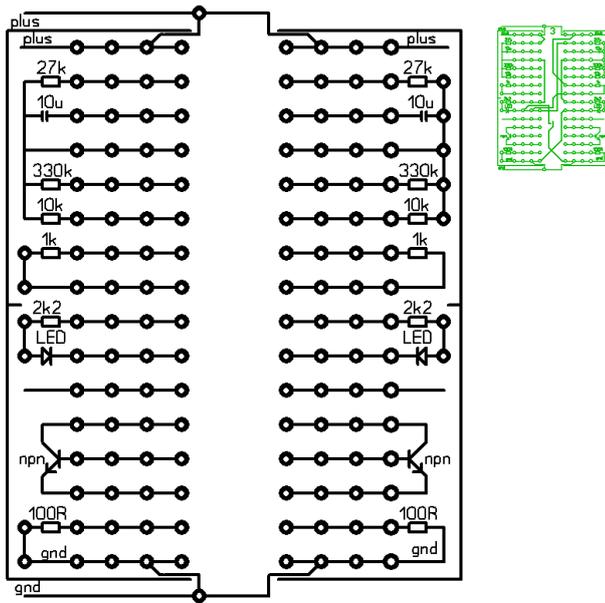
### Pull up or pull down?

The circuit is supplemented according to the construction plan so that the wire jumper is only connected to +. The connection to - is established via a resistor of 1 k $\Omega$ . Now there are always clear signals. If the jumper is plugged in, the LED chain is at level 1. If the wire jumper is pulled, the LED chain is pulled to level 0 via the additional resistor. As a result, only one LED will light up at a time. Such resistors are called pull down, since they pull an open line (switch not inserted) down to level 0.



Of course, this structure can also be reversed. In this case, the jumper is connected to - and the 1 kΩ resistor to +. And there is always a defined state. Since the resistor now pulls the open line up to level 1, it is called a pullup.



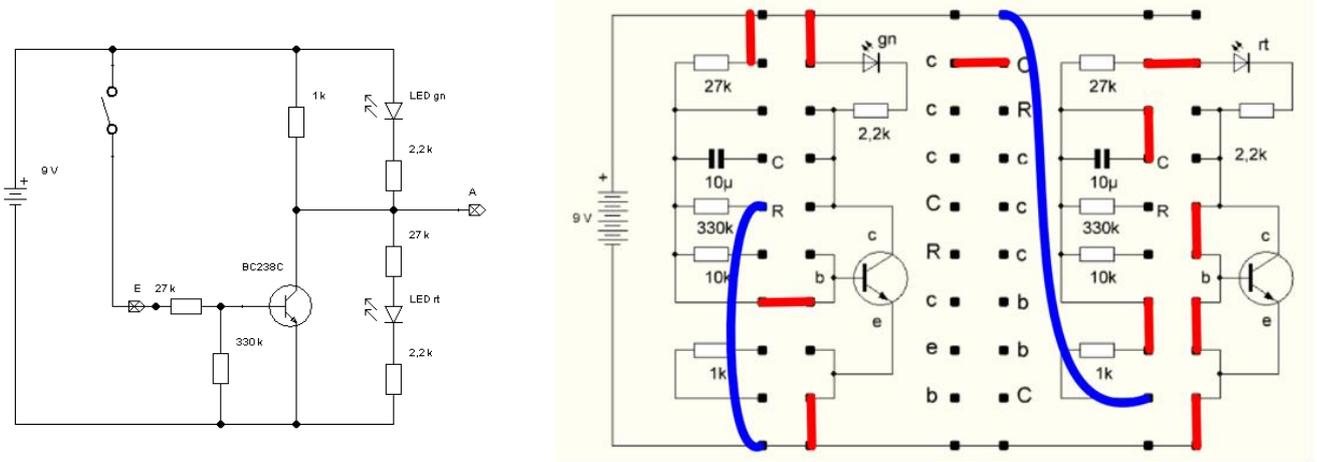


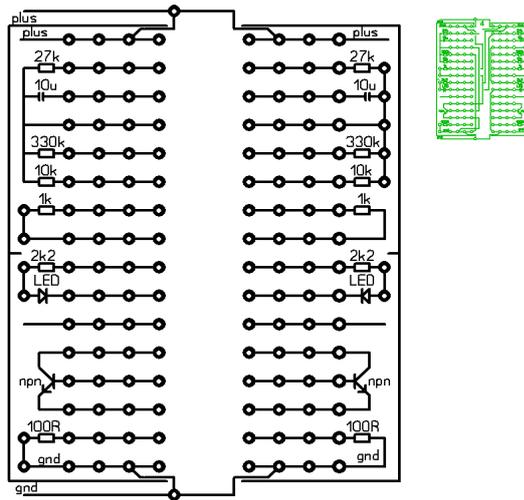
In designs, resistance values between 10 and 100 kΩ are used.

### NOT Gate

In digital technology, assemblies are used where the behavior of one or more outputs depends on the levels or level changes at the inputs. Such function groups are called gates. One of the simplest gates is the NOT gate. It essentially consists of a transistor stage. The pull-up and pull-down resistors are omitted in this design and the following examples to keep the structure simple. The actual NOT gate consists of the transistor, the 27 kΩ resistor as a series resistor and the 1 kΩ resistor as a load resistor. The 330 kΩ ensures that the transistor blocks safely.

As long as level 0 is present at input E, the transistor is blocked. Level 1 is present at output A via the 1 kΩ resistor. The red LED lights up. If the switch is closed, level 1 is present at input E. As a result, the transistor is switched on and level 0 is present at the output. The green LED lights up. The gate thus changes the respective input level to the opposite level. Hence the name "not-gate" or English NOT.





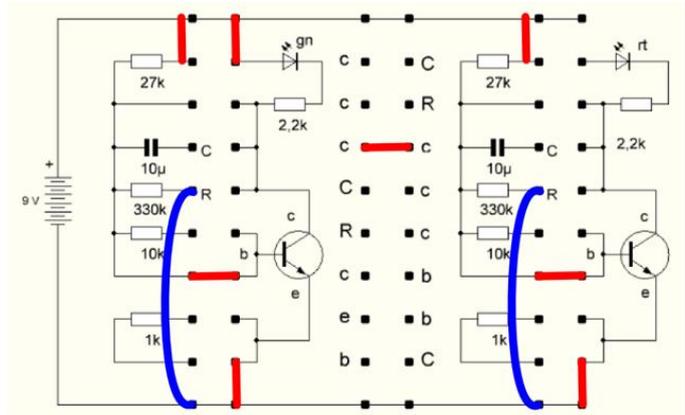
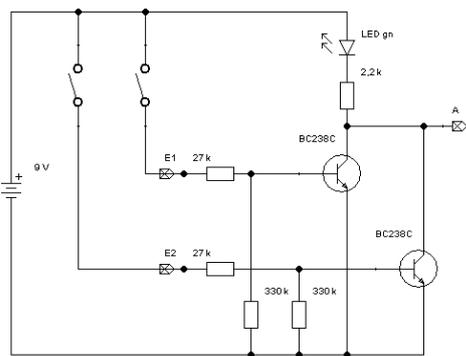
The result at the output based on the input can be represented in a truth table. For each possible state at the input, the respective result is given at the output.

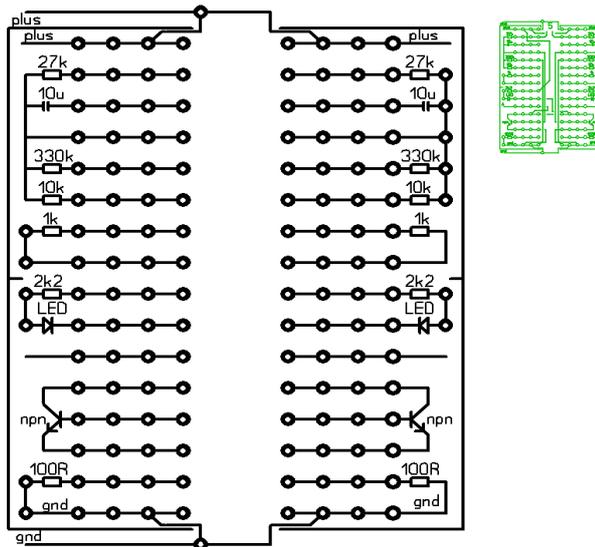
NOT	
Input	Output
0	1
1	0

### NOR Gate

The next gate has two inputs. The circuit is an extension of the previous circuit. The second transistor is connected in parallel to the first transistor. The circuit has two inputs. At the output, the output level is not displayed with the LEDs. Together with the 2.2 kΩ resistor, the green LED forms the load resistance of the transistor.

In the basic state, the green LED is dark. As soon as one of the two switches is closed, the LED lights up. When measuring at output A, it turns out that the output works in exactly the opposite way. As long as both inputs are at level 0, the output is at level 1. If input A or input B is at level 1, the output is at level 0. The gate is therefore called NOT-OR, or NOR gate in short.





A truth table can also be set up for this gate:

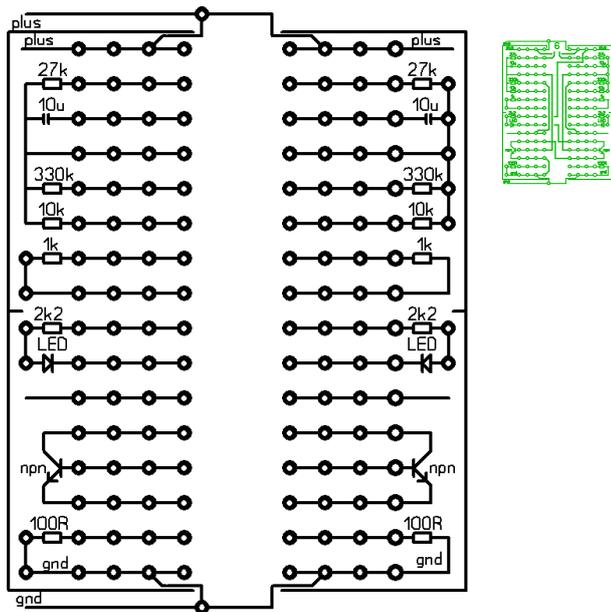
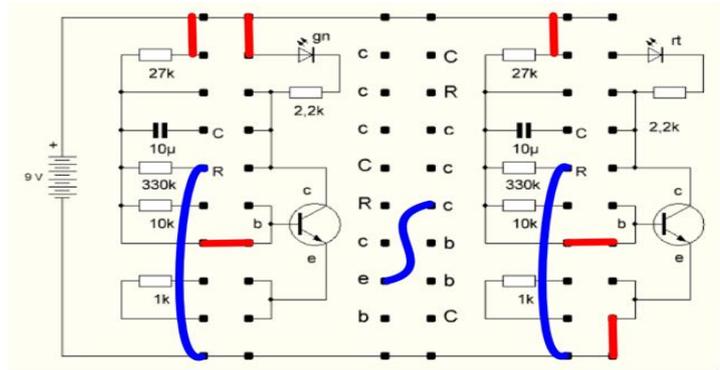
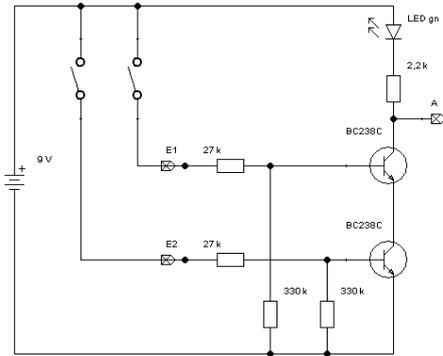
NOR		
Input 1	Input 2	Output
0	0	<b>1</b>
0	1	0
1	0	<b>0</b>
1	1	<b>0</b>

### Measurements

At output A there is a level 0 of about 0.04 volts against battery minus and a level 1 of about 7 volts against battery minus. In our setup, the deviation at level 1 comes from the LED, which has a forward voltage even at the lowest currents. This means that there must always be an area below the supply voltage that is still clearly recognized as level 1 and an area above 0 volts that is recognized as level 0.

### NAND Gate

This time the two transistors are connected in series. The current must flow through both transistors via the green LED with a series resistor. In order for the LED to light up, both transistors must be conducting when connected to level 1. As with the NOR gate, the level at the output is exactly the opposite of the status of the LED. Only when both inputs are at level 1 does the output go to level 0.

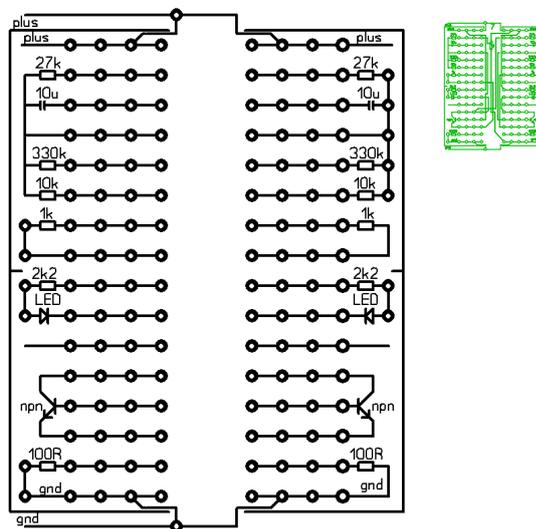
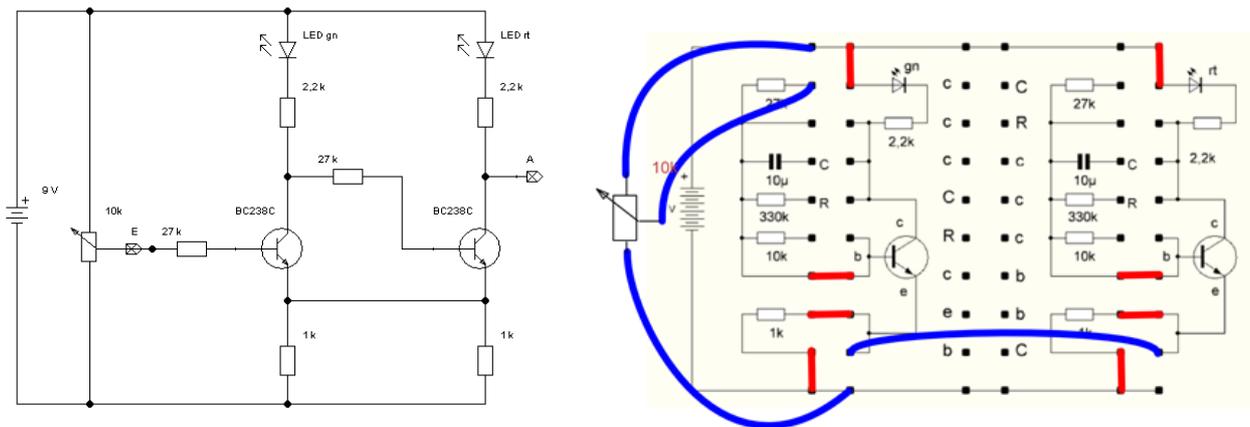


NAND		
Input 1	Input 2	Output
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

### From Analog to Digital

If measured values are recorded electronically, they are usually available as analogue values. For example, on a temperature sensor, the output voltage can change proportionally to the measured temperature. As already described, such measured values cannot be directly processed digitally, but must first be converted into a digital signal. A very simple form of digitization is a threshold switch. Depending on the input voltage, the value changes between the levels 0 and 1. The circuit described here was called Schmitt trigger after its inventor.

For the test I added a potentiometer from a learning package to the input. This makes it very easy to set different input voltages.

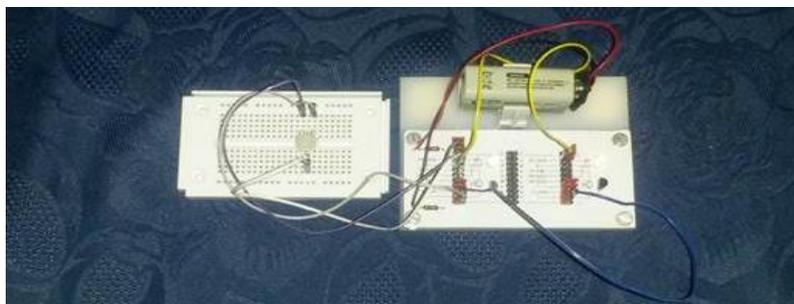


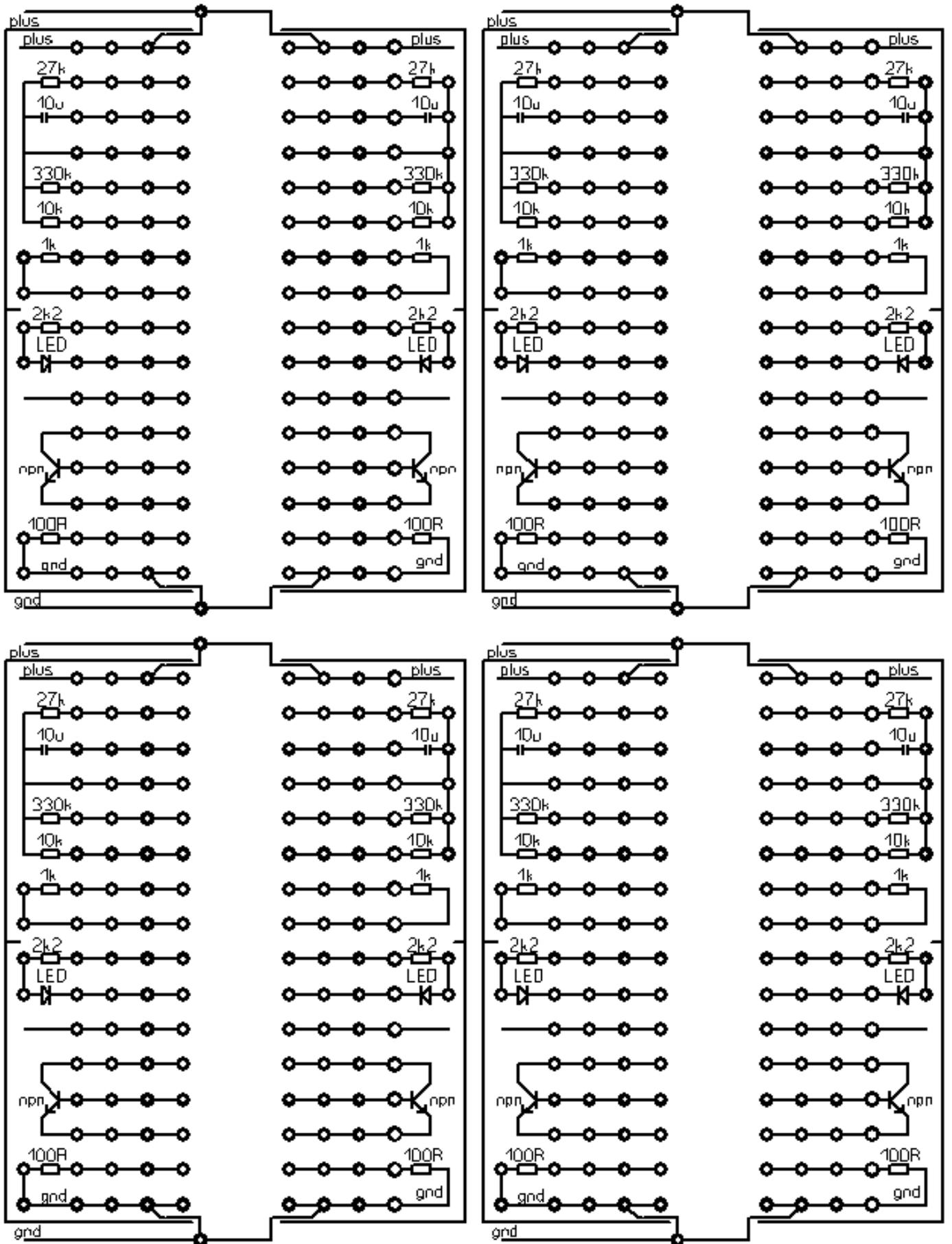
When the input voltage changes, the output, recognizable via the red LED, will jump from one level to the other.

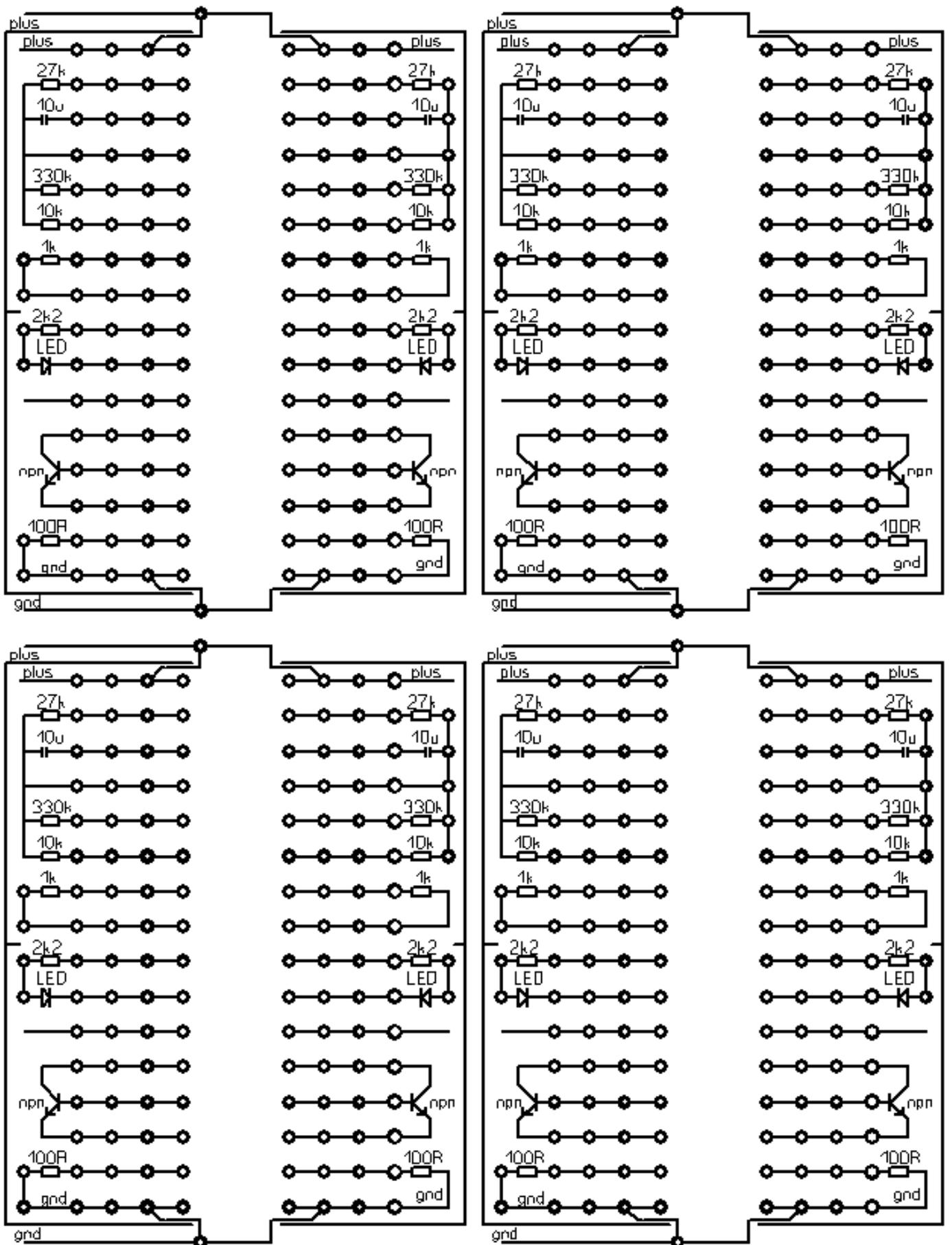
## Measurement

If the voltage rises above 2.6 volts, the red LED goes out. If the input voltage drops below 1.8 volts, the red LED starts to light up again. This difference between the switch-on and switch-off point is called hysteresis. It prevents the Schmitt trigger from constantly changing between the two output states when the input voltage is exactly at the switching point.

By changing the resistance values, the switching behavior of the Schmitt trigger can be adapted to the respective application.



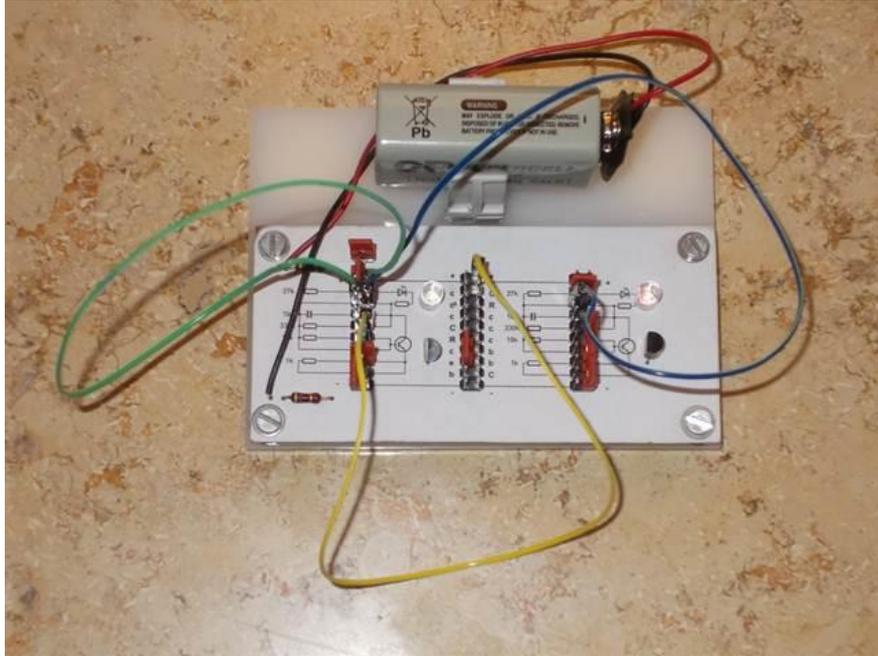




# Nachbau und Grundlagen der Digitaltechnik

Beitrag zum Oster-Wettbewerb 2017 von Wolfgang Triebig  
[Home](#) [Labor](#) [Bastelecke](#) [Elektronik-Experimente](#) [Contest](#)

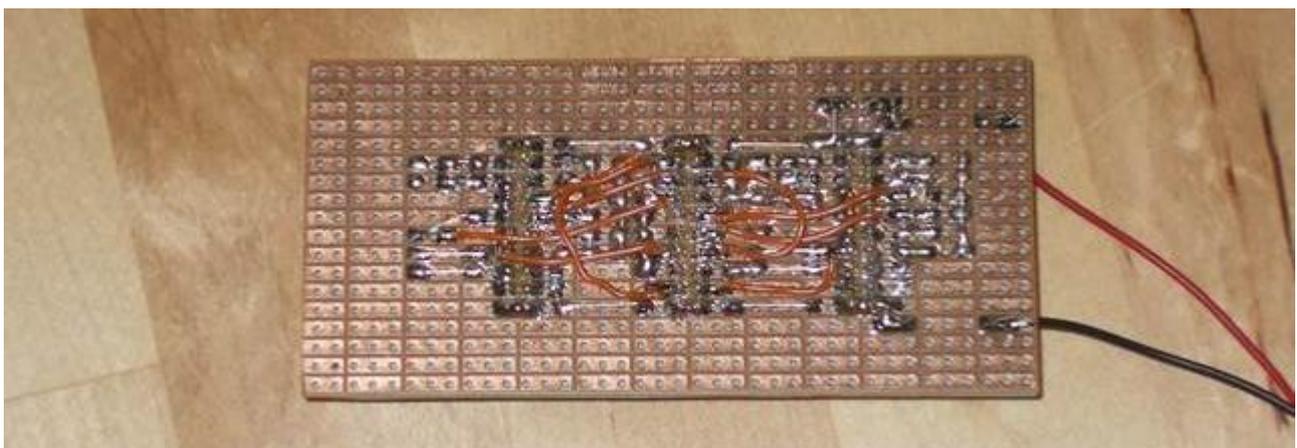
---



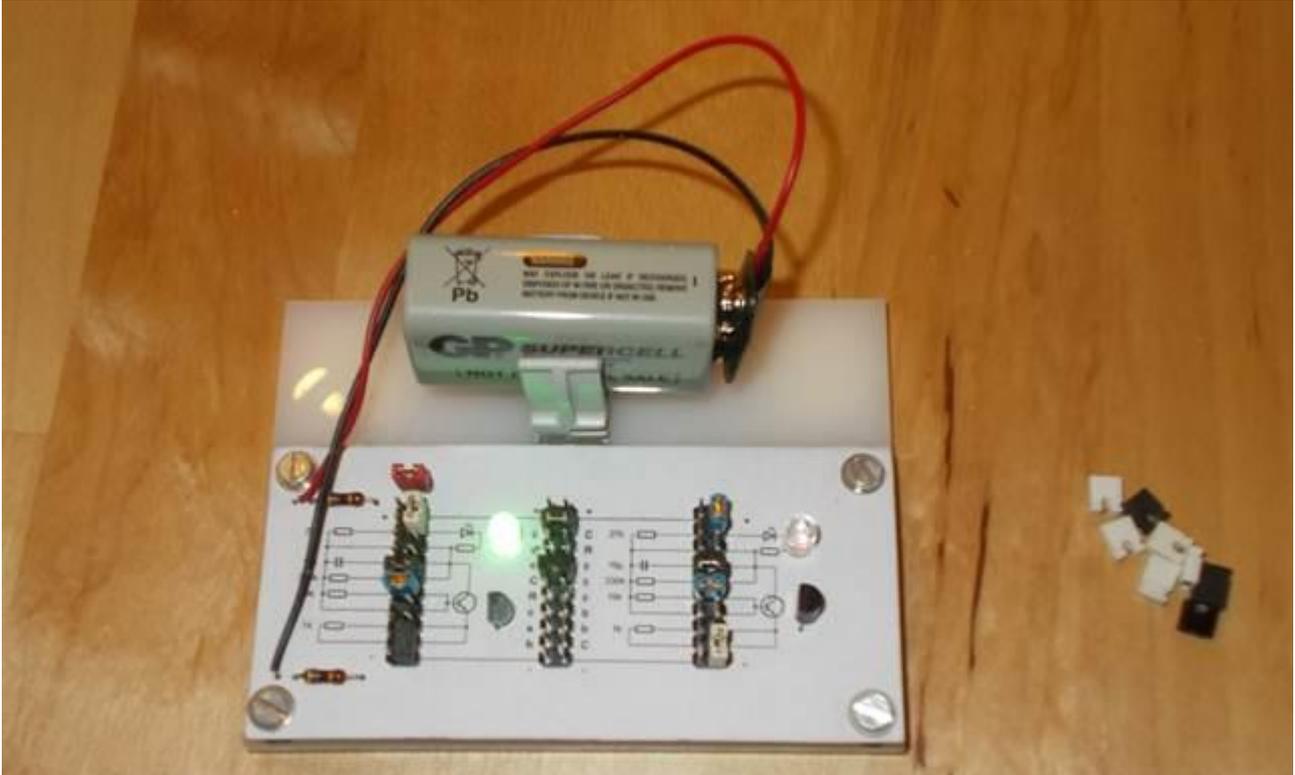
## Aufbau

Beim Aufbau habe ich mich im Wesentlichen an das Original gehalten. LEDs und Transistoren sind mit bedrahteten Bauteilen ausgeführt, die Widerstände und Kondensatoren sind in SMD ausgeführt. Lediglich die  $47\ \Omega$  Widerstände sind ebenfalls als bedrahtete Bauteile ausgeführt, um im Kurzschlussfall dauerhaft die entstehende Leistung von über 400 Milliwatt je Widerstand verheizen zu können. Als Mangel empfinde ich die fehlende Abschaltmöglichkeit für die Batterie, diese habe ich durch zwei weitere Pfostenstecker ergänzt.

Da ich bisher keine Erfahrungen mit SMD-Bauteilen hatte, waren die Lötarbeiten für mich schon sehr filigran. Aber ich bin noch ohne Lupe ausgekommen. Die besten Ergebnisse habe ich erzielt, wenn ich zunächst eine Kupferfläche verzinnt habe und dann das SMD-Bauteil darauf „festgeklebt“ habe. Danach habe ich erst die zweite Seite verlötet und zum Schluss die erste Seite nach gelötet.



Die Platine habe ich dann zusammen mit einer Rohrschelle als Batteriehalter auf ein Reststück Plexiglas geschraubt. Zum Schluss noch vier Filzgleiter als Füße aufgeklebt so ist ein stabiles rutschfestes Gesamtsystem entstanden. Die ersten Tests habe ich mit Jumpern durchgeführt, die gerade in Griffweite waren. Dabei stellte sich heraus, dass Jumper mit „Griff“ wesentlich leichter zu hantieren sind.



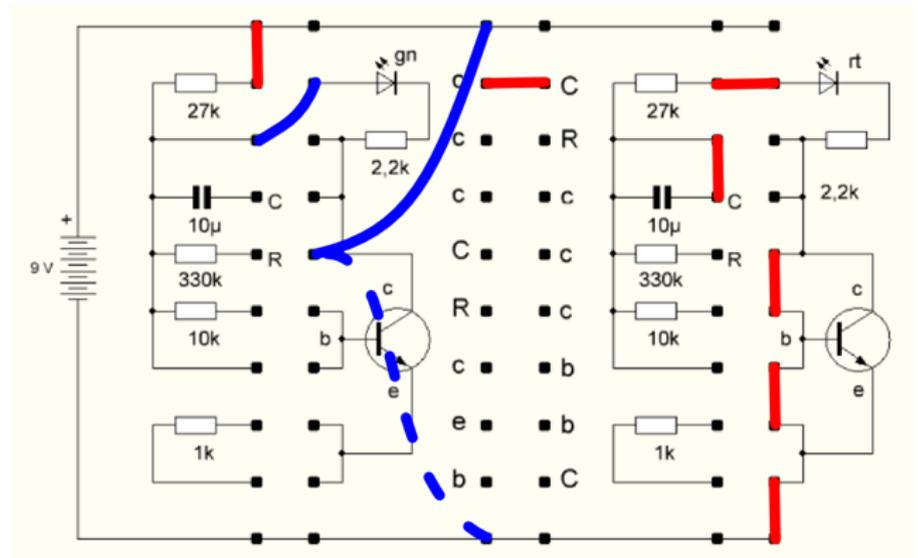
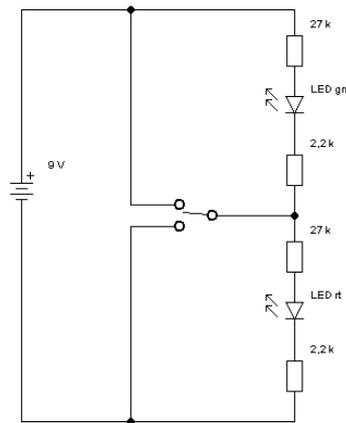
Durch das Handbuch motiviert habe ich nicht nur eine Schaltung aufgebaut, sondern mit dem System eine kleine Einführung in die Digitaltechnik beschrieben.

## **Einführung in die Digitaltechnik**

### Zulässige Pegel

Im Gegensatz zur Analogtechnik, bei der jede Spannung zwischen Minimum und Maximum verarbeitet wird, sind in der Digitaltechnik nur die Zustände 0 und 1 zulässig. Der erste Versuch soll dies verdeutlichen. Die Schaltung besteht aus einer Reihenschaltung der beiden LED zusammen mit den beiden  $27\text{k}\Omega$  Widerständen als zusätzliche Vorwiderstände. Zwischen den beiden LEDs befindet sich eine Drahtbrücke als Schalter, die zunächst mit + verbunden ist.

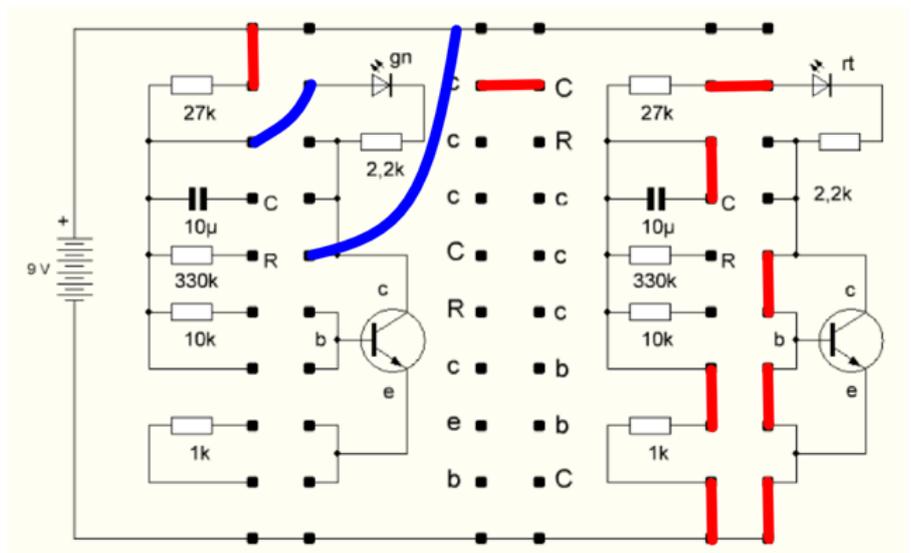
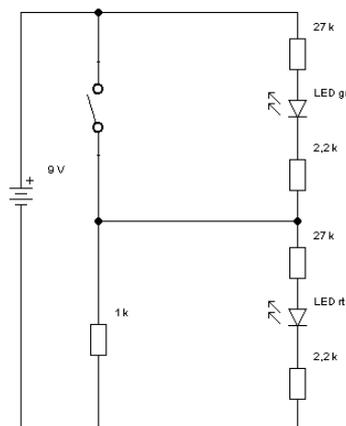
Eine Spannung nahe der Betriebsspannung wird als Pegel 1 definiert. Als Ergebnis sollte die rote LED leuchten und die grüne LED dunkel sein. Dies ist auch verständlich, da die grüne LED über die Widerstände an beiden Seiten mit + verbunden ist und damit keine Spannung an der LED anliegt. Wird die Drahtbrücke mit – verbunden leuchtet die grüne LED, während die rote LED dunkel ist.



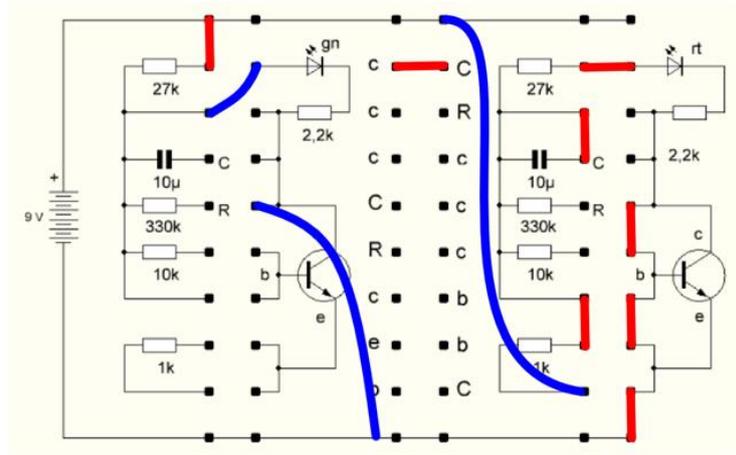
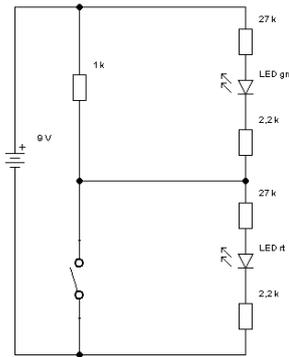
Während des Umstecken der Drahtbrücke leuchten beide LED, da der Strom durch beide LED fließen kann und keine LED überbrückt ist. Dieser Zustand ist in der Digitaltechnik unzulässig, da jetzt weder Pegel 0 noch Pegel 1 anliegt. Auch bei der Verwendung von digitalen IC muss darauf geachtet werden, dass keine offenen Eingänge vorhanden sind, da dadurch Fehlfunktionen auftreten können.

### Hoch- oder runterziehen?

Die Schaltung wird gemäß Aufbauplan ergänzt, so dass die Drahtbrücke nur noch mit + verbunden ist. Über einen Widerstand von 1 k $\Omega$  wird die Verbindung nach - hergestellt. Jetzt sind immer eindeutige Signale vorhanden. Ist die Brücke gesteckt, liegt die LED-Kette an Pegel 1. Wird die Drahtbrücke gezogen, wird die LED-Kette über den zusätzlichen Widerstand nach Pegel 0 gezogen. Im Ergebnis wird immer nur eine LED leuchten. Solche Widerstände nennt man Pulldown, da sie eine offene Leitung (Schalter nicht gesteckt) nach Pegel 0 herunterziehen.



Natürlich lässt sich der Aufbau auch umkehren. In diesem Fall wird die Brücke mit - und der Widerstand 1 k $\Omega$  mit + verbunden. Auch jetzt ist immer ein definierter Zustand vorhanden. Da der Widerstand nun die offene Leitung nach Pegel 1 hochzieht wird er Pullup genannt.

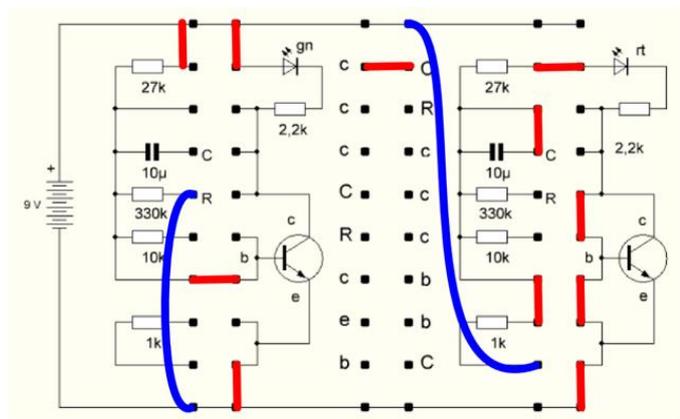
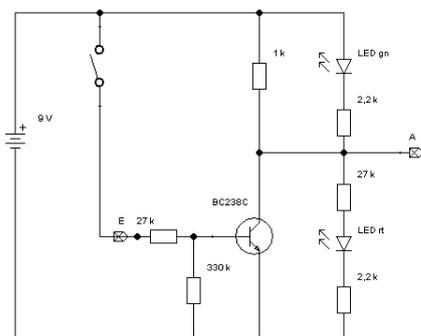


In der Praxis werden Widerstandswerte zwischen 10 und 100 k $\Omega$  verwendet.

### NOT-Gatter

In der Digitaltechnik werden Baugruppen eingesetzt, bei denen das Verhalten des einen oder der mehreren Ausgänge von den Pegeln oder der Pegeländerungen der Eingänge abhängt. Solche Funktionsgruppen nennt man Gatter. Eines der einfachsten Gatter ist das NOT-Gatter. Es besteht im Wesentlichen aus einer Transistorstufe. Auf die Pullup- und Pulldown-Widerstände wird in diesen und den folgenden Beispielen verzichtet, um den Aufbau einfach halten zu können. Das eigentliche NOT-Gatter besteht aus dem Transistor, dem 27 k $\Omega$  Widerstand als Vorwiderstand und dem 1 k $\Omega$  Widerstand als Lastwiderstand. Der 330 k $\Omega$  sorgt dafür das der Transistor sicher sperrt.

Solange am Eingang E Pegel 0 anliegt, ist der Transistor gesperrt. Über den 1 k $\Omega$  Widerstand steht am Ausgang A Pegel 1 an. Die rote LED leuchtet. Wird der Schalter geschlossen, steht am Eingang E Pegel 1 an. Dadurch wird der Transistor durchgeschaltet und am Ausgang steht Pegel 0 an. Die grüne LED leuchtet. Das Gatter wechselt also den jeweiligen Eingangspegel in den gegensätzlichen Pegel. Daher auch der Name „Nicht-Gatter“ oder englisch NOT.



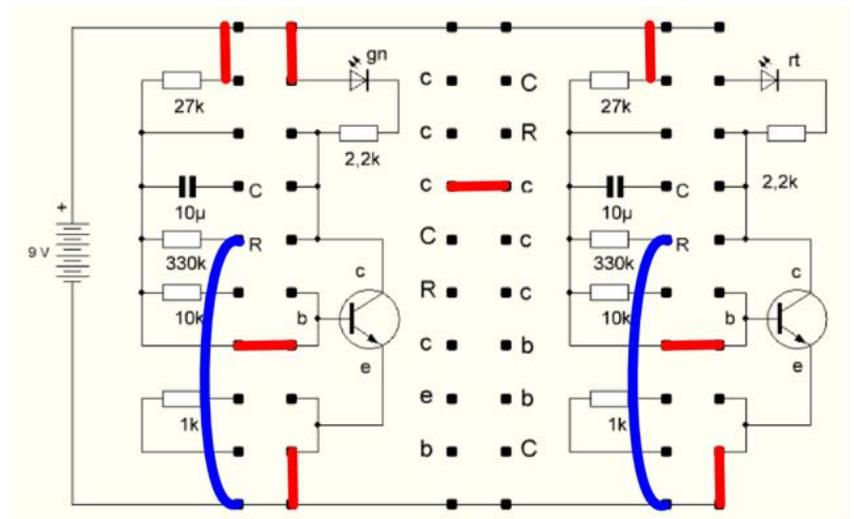
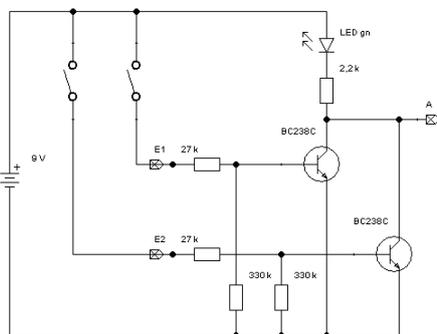
Die Abhängigkeit des Ausganges vom Eingang kann in einer Wahrheitstabelle dargestellt werden. Für jeden möglichen Zustand am Eingang wird das jeweilige Resultat am Ausgang angegeben.

NOT	
E	A
0	1
1	0

### NOR-Gatter

Das nächste Gatter hat zwei Eingänge. Die Schaltung ist eine Erweiterung der vorherigen Schaltung. Der zweite Transistor wird parallel zum ersten Transistor geschaltet. Damit hat die Schaltung zwei Eingänge. Am Ausgang wird auf die Anzeige des Ausgangspegels mit den LED verzichtet. Die grüne LED bildet zusammen mit dem 2,2 k $\Omega$  Widerstand den Arbeitswiderstand des Transistor.

Im Grundzustand ist die grüne LED dunkel. Sobald einer der beiden Schalter geschlossen wird, leuchtet die LED. Beim Nachmessen am Ausgang A stellt sich heraus, dass der Ausgang genau gegensätzlich arbeitet. Solange beide Eingänge Pegel 0 haben, ist der Ausgang Pegel 1. Wenn Eingang A oder Eingang B Pegel 1 führt, hat der Ausgang Pegel 0. Das Gatter hat daher die Bezeichnung NICHT-ODER, in englischer Kurzform NOR-Gatter.



Auch für dieses Gatter kann eine Wahrheitstabelle aufgestellt werden:

NOR		
E1	E2	A
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

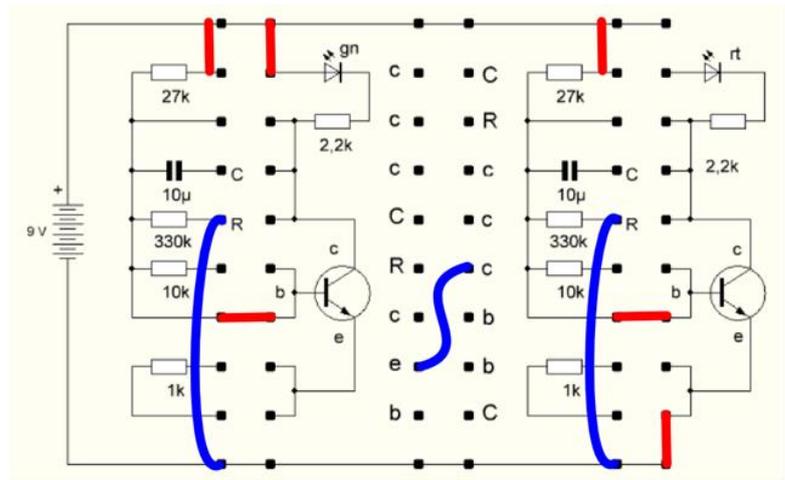
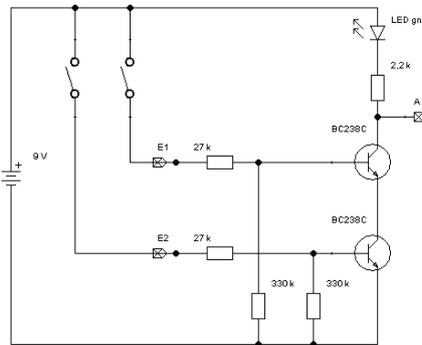
### Messung

Am Ausgang A stellen sich ein Pegel 0 von etwa 0,04 Volt gegen Batterieminus und ein Pegel 1 von ca. 7 Volt gegen Batterieminus ein. Die Abweichung bei Pegel 1 kommt in

unserem Aufbau von der LED, die auch bei niedrigsten Strömen ein Durchlassspannung hat. Das heißt, es muss immer einen Bereich unterhalb der Versorgungsspannung geben, der noch eindeutig als Pegel 1 erkannt wird und einen Bereich, oberhalb von 0 Volt, der als Pegel 0 erkannt wird.

### NAND-Gatter

Diesmal werden die beiden Transistoren in Reihe geschaltet. Der Strom muss über die grüne LED mit Vorwiderstand durch beide Transistoren fließen. Damit die LED leuchtet, müssen beide Transistoren leiten, als mit Pegel 1 beschaltet werden. Wie schon beim NOR-Gatter ist der Pegel am Ausgang genau entgegengesetzt zum Zustand der LED. Nur wenn beide Eingänge Pegel 1 erhalten, geht der Ausgang auf Pegel 0.

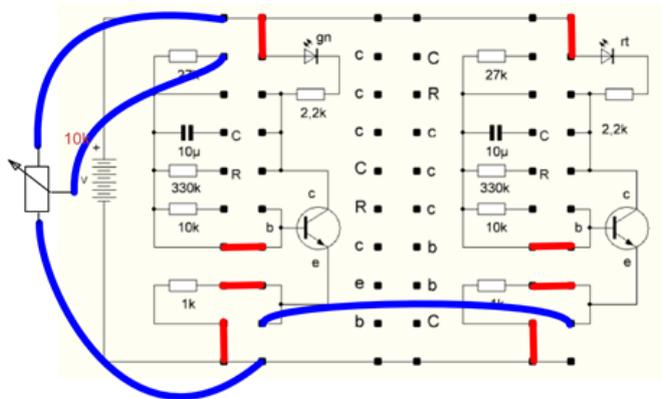
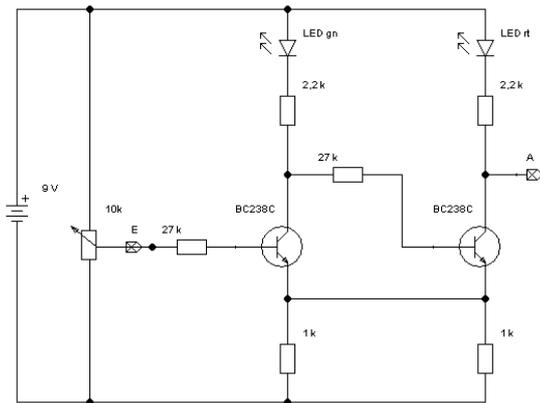


NAND		
E1	E2	A
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

### Aus Analog mach Digital

Werden Messwerte elektronisch erfasst, liegen diese meistens als analoge Werte vor. Zum Beispiel kann sich an einem Temperatursensor die Ausgangsspannung proportional zur gemessenen Temperatur verändern. Wie schon beschrieben, können solche Messwerte nicht direkt digital verarbeitet werden, sondern müssen erst in ein digitales Signal umgewandelt werden. Eine sehr einfache Form der Digitalisierung ist ein Schwellwertschalter. Der Wert wechselt je nach Eingangsspannung zwischen den Pegeln 0 und 1. Die hier beschriebene Schaltung wurde nach ihrem Erfinder Schmitt-Trigger genannt.

Zum Test habe ich einen Potentiometer aus einem Lernpaket an den Eingang geschaltet. Damit lassen sich sehr leicht verschiedene Eingangsspannungen einstellen.



Bei der Veränderung der Eingangsspannung wird der Ausgang, erkennbar an der roten LED, sprunghaft von einem zum anderen Pegel wechseln.

### Messung

Steigt die Spannung über 2,6 Volt verlischt die rote LED. Sinkt die Eingangsspannung unter 1,8 Volt beginnt die rote LED wieder zu leuchten. Diesen Unterschied zwischen Ein- und Ausschaltpunkt nennt man Hysterese. Sie verhindert, dass bei einer Eingangsspannung genau auf dem Umschaltpunkt der Schmitt-Trigger nicht ständig zwischen den beiden Ausgangszuständen wechselt.

Durch Veränderung der Widerstandswerte kann das Schaltverhalten des Schmitt-Triggers dem jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden.

