



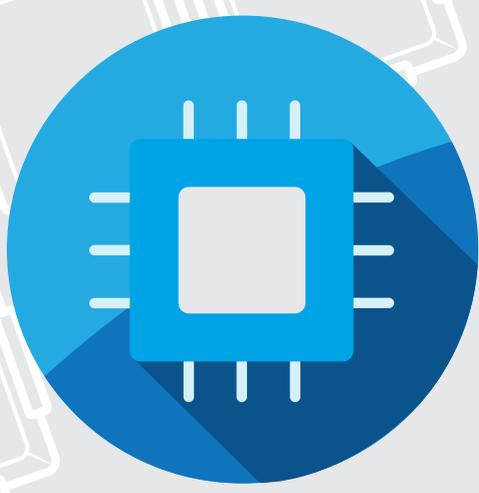
# Advanced Set

## Elektronik Experimentierkasten

Kreativität fördern - Entwicklung stärken

## Electronics experiments box

Promote creativity - strengthen development





1.	Inhaltsverzeichnis	3
2.	Sicherheitshinweise	6
3.	Bricks (Bausteine) des Advanced Sets	7
3.1.	Verbindungsstücke	8
3.2.	Grundbausteine	9
3.3.	Widerstände	11
3.4.	Kondensatoren	13
3.5.	Induktivitäten/Spulen	16
3.6.	Dioden und Optoelemente	17
3.7.	Antennen & Audioelemente	21
3.8.	Schalter und Transistoren	22
3.9.	Verstärker	24
3.10.	Spezial Module	
4.	Versuchsaufbauten zum Stromkreis	25
4.1.	LED Leuchte	
4.2.	Unterbrochener Stromkreis	26
4.3.	Zwei LEDs - Parallelschaltung	27
4.4.	Batterie Polung messen	28
4.5.	Masse und Brick	29
4.6.	Vereinfachte Schaltung mit Masse-Brick	31
4.7.	Stromkreis mit Taster	32
4.8.	Stromkreis mit Umschalter	33
5.	Digitale Logik mit Tastern	34
5.1.	UND Schaltung	
5.2.	ODER Schaltung	35
5.3.	NICHT Schaltung	36
5.4.	Exklusiv ODER Schaltung	37
6.	Der Widerstand	38
6.1.	Berechnen des Widerstandswertes	
6.2.	Lichtempfindlicher Widerstand	39
6.3.	Die Parallelschaltung	40
6.4.	Reihenschaltung oder Serienschaltung	41
6.5.	Das Potentiometer	42
6.6.	Die Schwellspannung	43
7.	Kondensator	
7.1.	Laden und Entladen	44
7.2.	Kondensator mit 10 $\mu$ F	45
7.3.	Kondensator umladen	46
8.	Induktivität	
8.1.	Laden und Entladen einer Spule	47
8.2.	Induktion	48
8.3.	Induktionsspannung	49
8.4.	Energy Harvesting	50
9.	Transistoren	51
9.1.	Der Transistor als Schalter	
9.2.	Touch-Sensoren mit Transistoren in Darlingtonschaltung	52
9.3.	Capazitive Touch in Darlingtonschaltung	53
9.4.	LDR und Transistor	54
9.5.	LDR in Dunkelschaltung mit Transistor und Widerstand	55

9.6	LED als Photodiode	56
9.7	Transistor als Inverter	57
9.8	LED einmal invertiert	58
9.9	LED mit Konstantstrom bei 9V Versorgungsspannung	59
9.10	LED mit Konstantstrom bei 18V Versorgungsspannung	60
9.11	Astabiler Multivibrator	61
9.12	Monostabiler Multivibrator	62
9.13	Bistabiler Multivibrator	63
10.	JFET (Feld-Effekt-Transistor mit verbundenem Gate("J" für Junction))	64
10.1	J310-n-Kanal JFET	
11.	MOSFET	65
11.1	MOSFET Funktion	
11.2	MOSFET als Schalter	66
11.3	Simple NMOS touch Sensor	67
12.	Spezial-Halbleiter	68
12.1	PUT - programmable Unijunction Transistor	
12.2	Thyristor im Ersatzschaltbild	69
13.	Timer 555	70
13.1	Timer astabil	
13.2	Timer monostabil	71
13.3	Timer bistabil	72
13.4	Timer 555 bistabil alternativ -Alternative 1	73
13.5	Timer 555 bistabil alternativ 2	74
13.6	Timer 555 als Spannungsgenerator	75
14.	Logikschaltungen	76
14.1	Ein "And" mit Dioden	
14.2	Ein OR mit Dioden	77
14.3	NAND-Schaltung mit Transistoren	78
14.4	NOR-Schaltung	79
14.5	AND-Schaltung	80
14.6	OR-Schaltung	81
15.	Oszillatoren	82
15.1	HF Generator 13,56 MHz ISM Band	
15.2	Quarzoszillator mit Abstimmung (Trimmung)	83
15.3	Quarzoszillator mit Kapazitätsdiode zur Trimmung	84
15.4	Oszillator-Schwingkreis mit Kondensator und Spule	85
16.	Der Operationsverstärker	86
16.1	Funktion des OPAMP (OperationAmplifier)	
16.2	OPV als Spannungsfolger	87
16.3	OPV nicht invertierend 11:1 Verstärkung	88
16.4	OPV invertiert 10:1 mit virtueller Masse	89
16.5	OPV als Integrator	90
16.6	OPV als Differenzierer	91
16.7	OPV als Oszillator mit Spule und Kondensator	92
16.8	OPV Wien-Robinson-Oszillator	93
16.9	Wien-Robinson Oszillator mit Stabilisierung	94

17.	Audioverstärker mit LM386	95
17.1	Mikrofon und Verstärker	
17.2	Rauschgenerator	96
17.3	Rauschgenerator 2	97
17.4	Licht-Verstärker	98
17.5	OP als Brummdetektor	99
17.6	Lichtschanke zur Audioübertragung	100
17.7	Phototransistor mit Vorverstärker	101
17.8	Phototransistor mit Infrarot (IR) Übertragung	102
17.9	Photodiode zur IR-Übertragung	103
18.	Relaisschaltungen	104
18.1	Relais	
18.2	Das Relais als Umschalter	105
18.3	Relais in Serie	106
18.4	Relais in Serie	107
18.5	Relais in Parallelschaltung	108
18.6	Relais in der Selbsthaltung	109
18.7	Relais in der Selbsthaltung mit Unterbrecher	110
18.8	Relais mit Selbstunterbrecher	111
18.9	Relais mit Selbstunterbrecher über zweites Relais	112
18.10	Relais-Selbsthaltung langsam	113
18.11	Relais (Nicht-Verknüpfung)	114
18.12	Relais (UND-Verknüpfung)	115
18.13	Relais (NICHTUND (NAND) -Verknüpfung)	116
18.14	Relais (ODER (OR)-Verknüpfung)	117
18.15	Relais (NICHTODER (NOR)-Verknüpfung)	118
18.16	Relais (Exklusiv-ODER (XOR)-Verknüpfung)	119
19.	Reed Relais	120
19.1	Reed Relais	
20.	Buzzer (Summer) Morseschaltung	121
21.	Alarmanlagen	122
21.1	Alarmschaltung 1	
21.2	Alarmschaltung 2	123
21.3	Alarmschaltung 3	124
21.4	Lichtschanke 1	125
21.5	Lichtschanke 2	126
22.	Thermoelemente	127
22.1	Thermoelemente mit PTC (Kaltleiter)	
22.2	Versuche mit NTC (Heißeiter)	128
22.3	NTC mit MOSFET (n-Kanal, normal sperrend)	129
22.4	NTC mit Bipolartransistor (BC817)	130
23.	Ein Ausblick in die Zukunft	131

## 2. Sicherheitshinweise

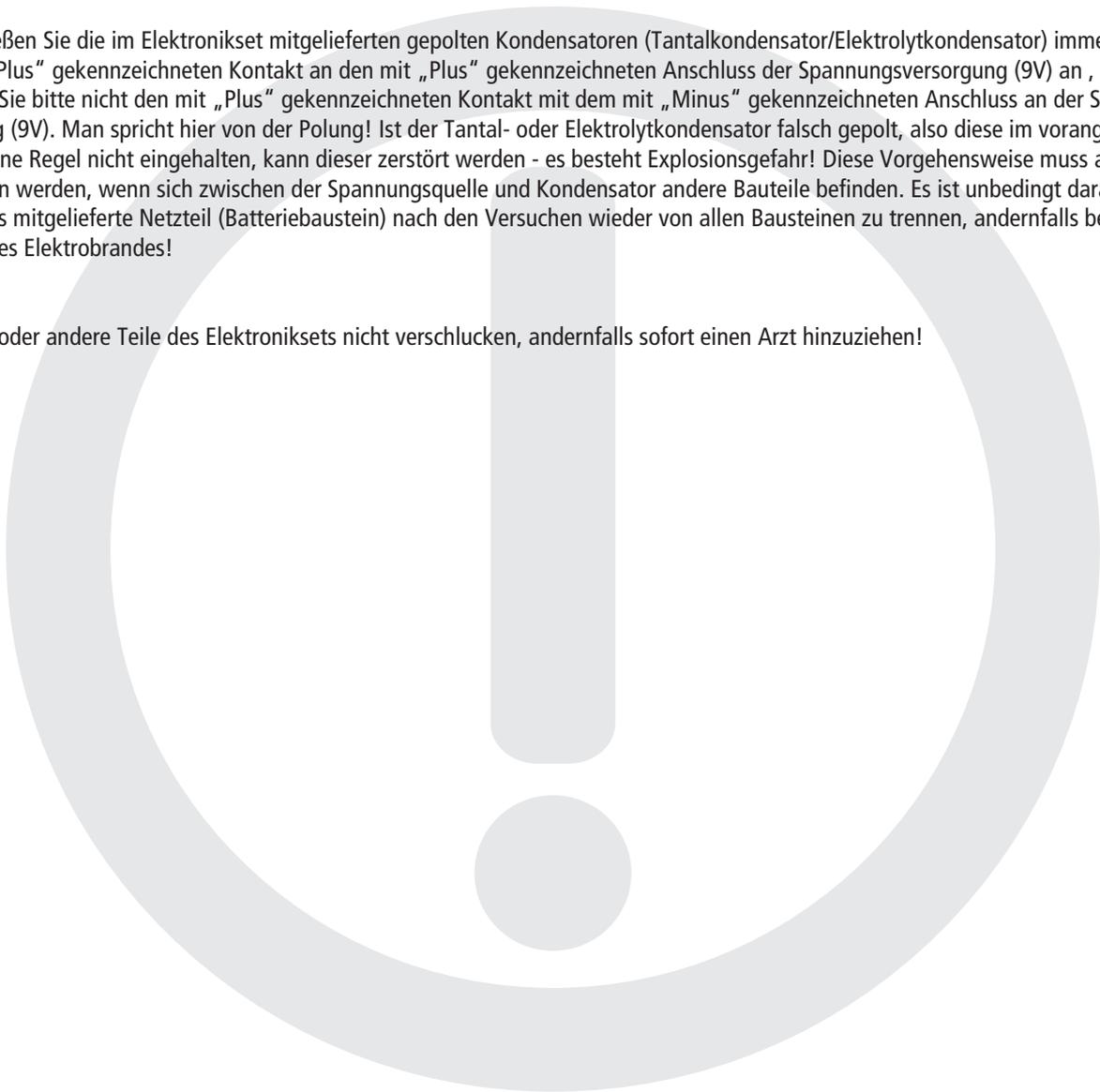
Achtung, die Bausteine des Elektroniksets NIE direkt an das Stromnetz (115V/230V) anschließen, andernfalls besteht Lebensgefahr!

Zur Spannungsversorgung (9V) ausschließlich das mitgelieferte Netzteil (Batteriebaustein) verwenden. Die Versorgungsspannung beträgt hier gesundheitsungefährliche 9 Volt bei einem Stromfluss von ca. 1 Ampere. Bitte tragen Sie auch dafür Sorge, dass offen herumliegende Drähte nicht in Berührung oder Kontakt mit Steckdosenleisten (gewöhnliche Zimmerverteiler) kommen bzw. in diese hineinfallen. Auch hier besteht andernfalls die Gefahr eines gesundheitsgefährdenden Stromschlags bzw. elektrischen Schocks.

Schauen Sie niemals direkt in eine Leuchtdiode (LED), da hier die Gefahr besteht, die Netzhaut zu schädigen. Die Netzhaut befindet sich im Auge und hat die Aufgabe, die einfallenden Lichtreize durch die auf ihr befindlichen Zapfen (das Farbsehen) und die ebenfalls auf ihr befindlichen Stäbchen (Hell-, Dunkelsehen) in für das Gehirn verwertbare Reize umzuwandeln.

Bitte schließen Sie die im Elektronikset mitgelieferten gepolten Kondensatoren (Tantalkondensator/Elektrolytkondensator) immer nur mit dem mit „Plus“ gekennzeichneten Kontakt an den mit „Plus“ gekennzeichneten Anschluss der Spannungsversorgung (9V) an, und verbinden Sie bitte nicht den mit „Plus“ gekennzeichneten Kontakt mit dem mit „Minus“ gekennzeichneten Anschluss an der Spannungsversorgung (9V). Man spricht hier von der Polung! Ist der Tantal- oder Elektrolytkondensator falsch gepolt, also diese im vorangegangenen beschriebene Regel nicht eingehalten, kann dieser zerstört werden - es besteht Explosionsgefahr! Diese Vorgehensweise muss auch eingehalten werden, wenn sich zwischen der Spannungsquelle und Kondensator andere Bauteile befinden. Es ist unbedingt darauf zu achten, das mitgelieferte Netzteil (Batteriebaustein) nach den Versuchen wieder von allen Bausteinen zu trennen, andernfalls besteht die Gefahr eines Elektrobrandes!

Bausteine oder andere Teile des Elektroniksets nicht verschlucken, andernfalls sofort einen Arzt hinzuziehen!

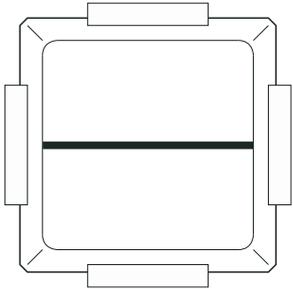


## 3 Bricks (Bausteine) des Advanced Sets

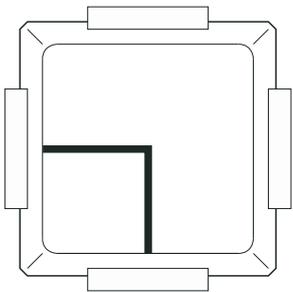
Die Bricks sind kompakte Bausteine aus der Welt der Elektrotechnik. Sie eignen sich zum Ausprobieren neuen Wissens für junge Forscher, die den Umgang mit komplexen Schaltungen kennenlernen wollen. Das Set beinhaltet neben allgemeinen Elementen wie z.B. Verbindungsstücken oder Versorgungsblöcken auch passive und aktive Bauelemente, für deren Beschreibung die angegebenen Einheiten mit ihren jeweiligen Abkürzungen verwendet werden.

Wert	Einheit	Symbol/Abkürzung
Strom	Ampere	A
Spannung	Volt	V
Leistung	Watt	W
Widerstandswert	Ohm	$\Omega$
Kapazitätswert (Kondensator)	Farad	F
Induktivitätswert (Spule)	Henry	H
Frequenz	Hertz	Hz
Präfix für $\times 10^3$	Kilo	k
Präfix für $\times 10^6$	Mega	M
Präfix für $\times 10^9$	Giga	G
Präfix für $\times 10^{12}$	Tera	T
Präfix für $\times 10^{-3}$	Milli	m
Präfix für $\times 10^{-6}$	Mikro	$\mu$
Präfix für $\times 10^{-9}$	Nano	n
Präfix für $\times 10^{-12}$	Piko	p
Präfix für $\times 10^{-15}$	Femto	f

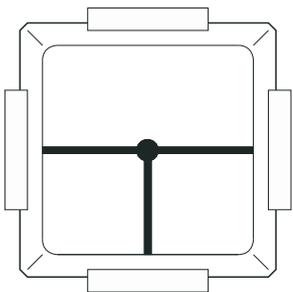
## 3.1. Verbindungsstücke



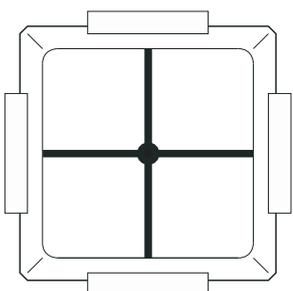
Die gerade Leitung verbindet zwei gegenüberliegende Bricks miteinander. Das ist bei komplexen Schaltungen nötig, um Lücken zwischen den Bricks zu schließen.



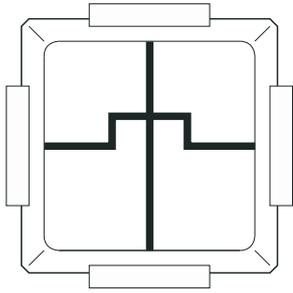
Mit dem Eck-Brick werden zwei angrenzende Seiten miteinander verbunden.



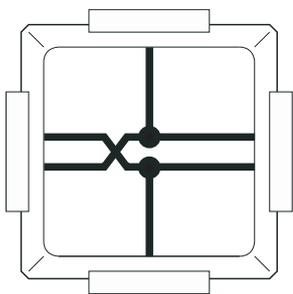
Mit dem T-Brick werden Abzweigungen hergestellt.



Der Kreuz-Brick verbindet alle vier Seiten miteinander. Am Rand der Schaltung kann er wie ein T-Brick oder Eck-Brick verwendet werden.

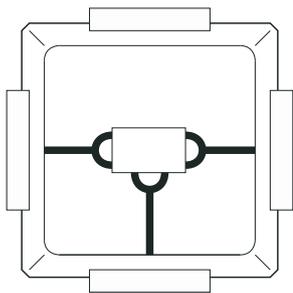


Im Gegensatz zum Kreuz-Brick verbindet der doppelt gerade Brick nur die gegenüberliegenden Seiten miteinander, also oben mit unten und rechts mit links, ohne einen Kontakt über Eck herzustellen.

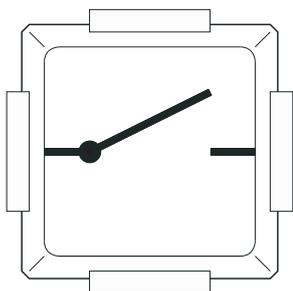


Mit diesem Brick werden separat belegte Mittelabgriffe kontaktiert. Durch die Trennung und Überkreuzung der Leitungen können diese zum Wechseln der Verbindungen genutzt werden.

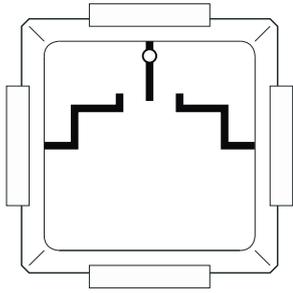
## 3.2 Grundbausteine



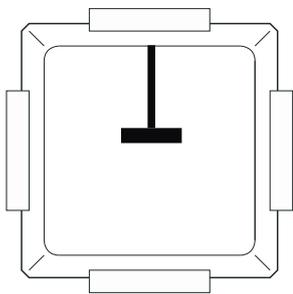
Der Universal-Brick kann verwendet werden, um externe Bauelemente in einen Stromkreis einzubringen. Dies kann für Widerstände mit z.B.  $9,8k\Omega$  nötig sein. Dieser wird auch zum Schließen von Abzweigungen im Stromkreis, wie ein Schalter verwendet



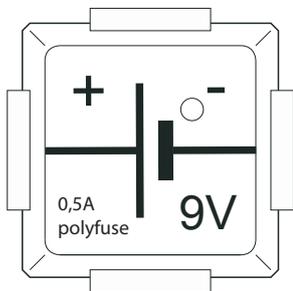
Der Taster-Brick ist ein elektromechanisches Bedienelement, das eine leitende Verbindung nur während des Gedrückhaltens ermöglicht. Im Moment des Loslassens öffnet sich diese wieder und der Taster kehrt in seine Ausgangslage zurück.



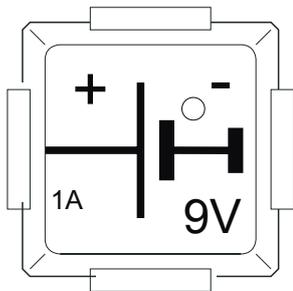
Der Umschalter-Brick verbindet entweder den rechten oder den linken Kontakt mit dem mittleren. In Mittelstellung sind alle Anschlüsse voneinander getrennt. Der maximale Stromfluss liegt bei 6A.



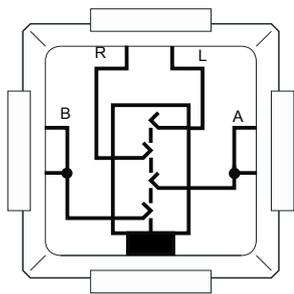
Der Masse-Brick schließt die Stromkreise, damit diese einfacher verwirklicht werden können. Hiervon können mehrere in einem Versuchsaufbau eingefügt werden. Der Masse-Brick verbindet den mittleren Kontakt des Anschlusses mit den beiden außen liegenden Masseleitungen.



Die Versorgungs-Bricks sind jeweils als letztes in eine Schaltung einzubauen. Es empfiehlt sich, die Schaltung vorher nochmals zu kontrollieren, da ansonsten die Gefahr eines Kurzschlusses besteht! Der Batterie-Brick verwendet eine Blockbatterie und versorgt die Schaltung mit einer Versorgungsspannung von 9V. Die Kontroll-LED gibt ein optisches Feedback über die Bereitstellung der Energie.

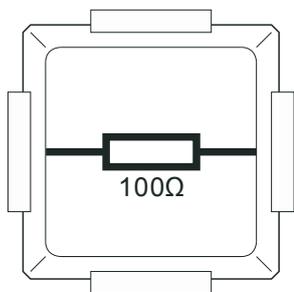


Ein weiterer Versorgungs-Brick ist der abgesicherte Netzteiladapter. Er liefert eine stabilisierte Gleichspannung von 9V und einen maximal möglichen, kurzschlussicheren Stromfluss von 1A. Die Masse ist auf der Seite der Anode, dem Minuspol, durchverbunden, so dass kein weiterer Masse-Brick verwendet werden muss. Eine LED leuchtet, wenn der Netzteil-Brick eine Spannung bereitstellt. Das Netzteil ist am Ende der Versuchsdurchführung sofort vom Stromnetz zu trennen!

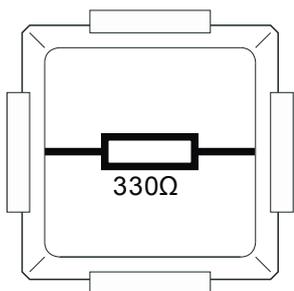


Dieser Brick enthält vier 3,5mm Stereo- oder Mikrofonanschlüsse als Klinkenbauform. Jede Buchse verfügt über einen vierpoligen Anschluss, der für eine Kombination aus Kopfhörer und Mikrofon geeignet ist.

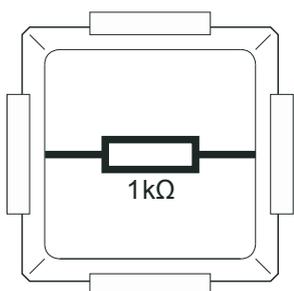
### 3.3 Widerstände



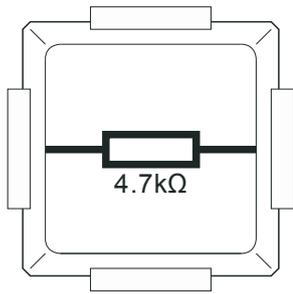
Dieser Brick ist ein elektrischer Widerstand der Höhe 100Ω. Dieser Wert entspricht einem Stromfluss von 10mA bei einer Spannung von 1V. Wie bei allen unseren Widerständen, darf die dabei entstehende Wärme  $\frac{1}{8}W$  nicht übersteigen.



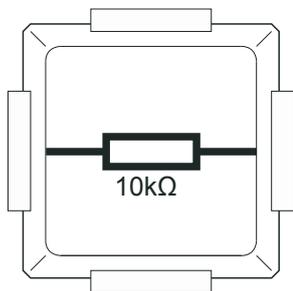
Dieser Brick ist ein elektrischer Widerstand der Höhe 330Ω. Dieser Wert entspricht einem Stromfluss von ca. 3,03 mA bei einer Spannung von 1V. Wie bei allen unseren Widerständen, darf die dabei entstehende Wärme  $\frac{1}{8}W$  nicht übersteigen.



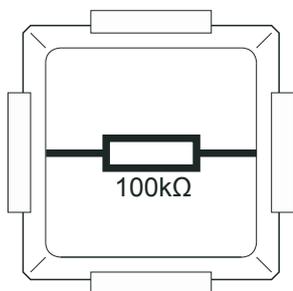
Dieser Brick ist ein elektrischer Widerstand der Höhe 1kΩ. Dieser Wert entspricht einem Stromfluss von 1mA bei einer Spannung von 1V. Wie bei allen unseren Widerständen, darf die dabei entstehende Wärme  $\frac{1}{8}W$  nicht übersteigen.



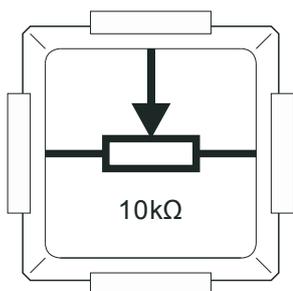
Dieser Brick ist ein elektrischer Widerstand der Höhe  $4,7k\Omega$ . Dieser Wert entspricht einem Stromfluss von ca.  $213\mu A$  bei einer Spannung von  $1V$ . Wie bei allen unseren Widerständen, darf die dabei entstehende Wärme  $\frac{1}{8}W$  nicht übersteigen.



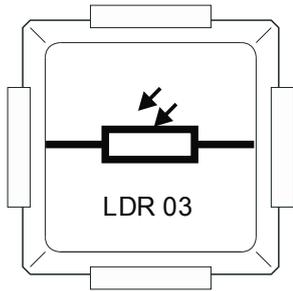
Dieser Brick ist ein elektrischer Widerstand der Höhe  $10k\Omega$ . Dieser Wert entspricht einem Stromfluss von  $100\mu A$  bei einer Spannung von  $1V$ . Wie bei allen unseren Widerständen, darf die dabei entstehende Wärme  $\frac{1}{8}W$  nicht übersteigen.



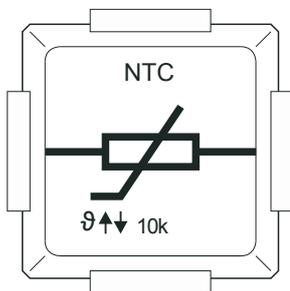
Dieser Brick ist ein elektrischer Widerstand der Höhe  $100k\Omega$ . Dieser Wert entspricht einem Stromfluss von  $10\mu A$  bei einer Spannung von  $1V$ . Wie bei allen unseren Widerständen, darf die dabei entstehende Wärme  $\frac{1}{8}W$  nicht übersteigen.



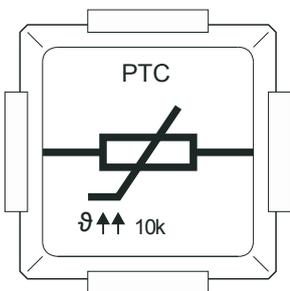
Das Potentiometer ist ein manuell veränderbarer Widerstand. Hier fährt ein dritter Kontakt (Schleifer) die Länge des Widerstandes ab und ändert so die Höhe des elektrischen Widerstandswertes an seinem Anschluss. Er ist im Bereich  $0\Omega$  bis  $10k\Omega$  einstellbar. Ist der Schleifer oder einer der anderen Kontakte direkt mit der Spannungsversorgung verbunden, so kommt es zu einem Kurzschluss. Dies ist unbedingt zu vermeiden! Das Potentiometer hat eine maximale Leistung von ca.  $\frac{1}{8}W$ .



Der LDR 03 (Light-Dependent-Resistor) ist ein lichtabhängiger Widerstand. Je mehr Licht auf den Sensor fällt, desto kleiner ist der Widerstand. Die Werte variieren von einigen  $100\Omega$  bei Helligkeit und mehreren  $k\Omega$  bei Dunkelheit. Die Veränderung des Widerstandswertes ist kontinuierlich.

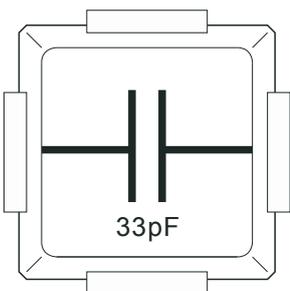


Ein NTC-Widerstand (Negative-Temperature-Coeffizient) ist ein temperaturabhängiger Widerstand. Die Wertänderung des Widerstandes erfolgt hierbei entgegengesetzt zum Temperaturgradienten. D.h. beispielsweise, wenn die Temperatur steigt, dann sinkt der elektrische Widerstand. Im deutschen werden NTC-Widerstände daher auch Heißleiter genannt. Bei Raumtemperatur beträgt der Widerstandswert  $10k$ . Er eignet sich gut als Temperatursensor.

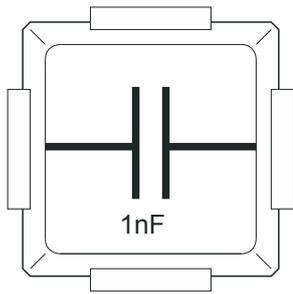


Der PTC-Widerstand (Positive-Temperature-Coeffizient) hingegen ändert seinen Wert mit dem Temperaturgradienten. D.h. beispielsweise, wenn die Temperatur steigt, dann steigt der elektrische Widerstand ebenso. Im deutschen werden PTC-Widerstände daher auch Kaltleiter genannt. Bei Raumtemperatur beträgt der Widerstandswert  $10k$ . Er eignet sich gut als Temperatursensor im Bereich von  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $40^{\circ}\text{C}$ , da hier die Widerstandsänderung pro Temperaturänderung sehr empfindlich ist.

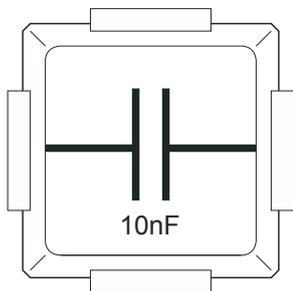
## 3.4 Kondensatoren



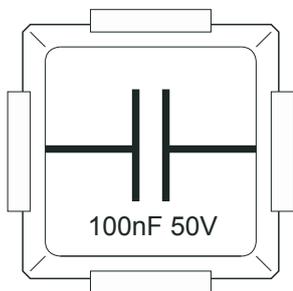
Das Set enthält einen Kondensator mit der Kapazität  $33\text{pF}$ . Er kann elektrische Energie speichern und sehr schnell wieder abgeben, so wie ein Gummiband es mit mechanischer Energie macht.  $1\text{F}$  bedeutet, dass eine Spannung von  $1\text{V}$  erreicht wird, wenn er  $1\text{s}$  lang mit einem Strom von  $1\text{A}$  aufgeladen wird. Kondensatoren haben meist sehr kleine Kapazitäten. Kondensatoren dürfen ihre Maximalspannung nicht überschreiten!



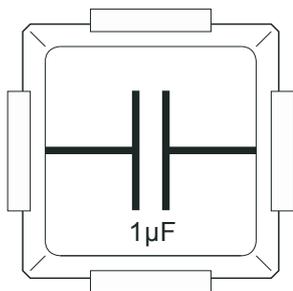
Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 1nF. Eine Ladespannung von 1V wird somit schon nach 1ns erreicht, wenn er mit einem Strom von 1A geladen wird. Kondensatoren dürfen ihre Maximalspannung nicht überschreiten!



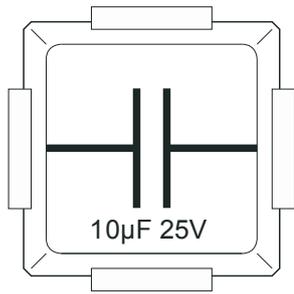
Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 10nF. Er kann damit das Zehnfache an elektrischer Energie speichern, als die 1nF Variante. Eine Ladespannung von 1V wird somit schon nach 10ns erreicht, wenn er mit einem Strom von 1A geladen wird. Kondensatoren dürfen ihre Maximalspannung nicht überschreiten!



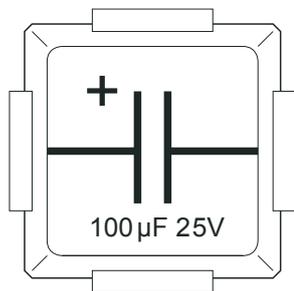
Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 100nF. Er kann damit das Hundertfache an elektrischer Energie speichern, als die 1nF Variante. Eine Ladespannung von 1V wird somit schon nach 100ns erreicht, wenn er mit einem Strom von 1A geladen wird. Der Kondensator darf seine Maximalspannung von 50V nicht überschreiten!



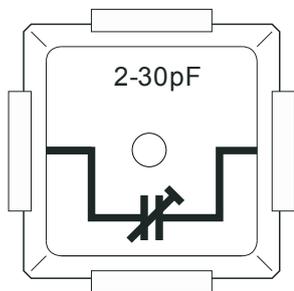
Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 1µF. Er kann damit das Tausendfache an elektrischer Energie speichern, als die 1nF Variante. Eine Ladespannung von 1V wird somit schon nach 1µs erreicht, wenn er mit einem Strom von 1A geladen wird. Kondensatoren dürfen ihre Maximalspannung nicht überschreiten!



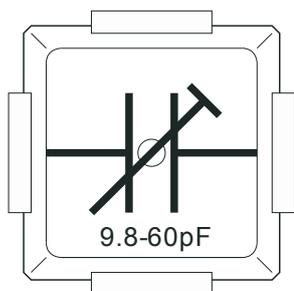
Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 10µF. Er kann damit das Zehntausendfache an elektrischer Energie speichern, als die 1nF Variante. Eine Ladespannung von 1V wird somit schon nach 10µs erreicht, wenn er mit einem Strom von 1A geladen wird. Der Kondensator darf seine Maximalspannung von 25V nicht überschreiten!



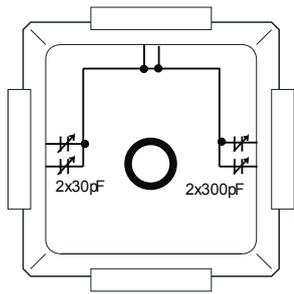
Das Set enthält auch einen Elektrolyt-Kondensator mit 100µF, der nur bis zu einer Spannung von 25 Volt betrieben werden darf. Bei diesem Elektrolytkondensator ist auf die Anode (+) zu achten. Diese darf nur mit dem positiven Anschluss (+) der Spannungsversorgung (9V) direkt oder indirekt verbunden werden. Er kann das Hunderttausendfache an Energie speichern, als die 1nF Variante. Eine Ladespannung von 1V wird somit schon nach 100µs erreicht, wenn der Ladestrom 1A beträgt.



Der Trimmer-Brick beinhaltet einen Kondensator, dessen Kapazitätswert zwischen 2pF und 30pF einstellbar ist. Durch Drehen des Knopfes im Uhrzeigersinn erhöht sich seine Kapazität. Dieser Brick kann damit z.B. für die Abstimmung von Schwingkreisen oder Filter-Schaltungen verwendet werden.

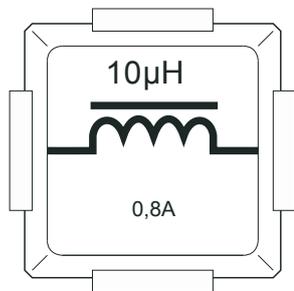


Dieser Trimmer besitzt einen Stellbereich von 9,8pF bis 60pF. Der Kapazitätswert lässt sich durch Drehen des Knopfes im Uhrzeigersinn erhöhen. Der Trimmer-Brick kann damit z.B. für die Abstimmung von Schwingkreisen oder Filter-Schaltungen verwendet werden.

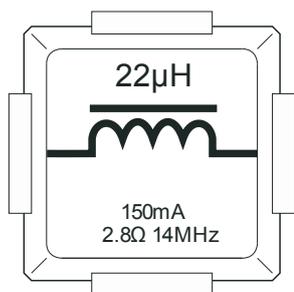


In diesem Trimmer-Brick sind vier veränderbare Kondensatoren verbaut. Diese sind doppelt zusammen geschaltet. Zwei zusammen mit  $2 \times 30 \text{pF}$  und zwei zusammen mit  $2 \times 300 \text{pF}$ . Alle werden gemeinsam durch den Drehknopf variiert. Je nach Beschaltung, können jetzt mehrere Kapazitäten kombiniert werden.

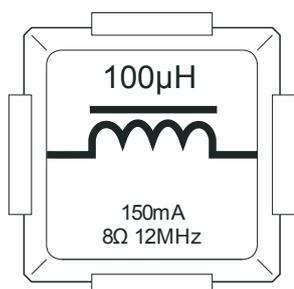
## 3.5 Induktivitäten/Spulen



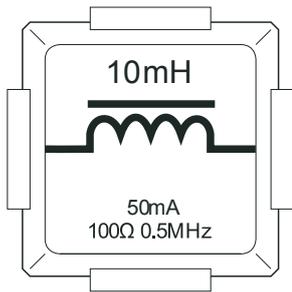
Dieser Brick enthält eine Spule mit einer Induktivität von  $10 \mu\text{H}$ . Eine Induktionsspannung von  $1 \text{V}$  wird nach  $10 \mu\text{s}$  erreicht, wenn die Stromflussänderung  $1 \text{A}$  beträgt. Spulen können zum Aufbau von Schwingkreisen und Frequenzfiltern verwendet werden. Da Spulen jeder Stromflussänderung entgegenwirken, stabilisieren sie die Schaltung.



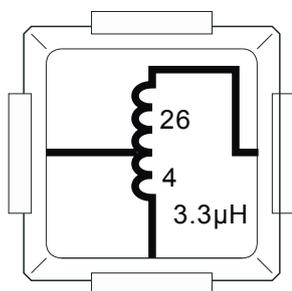
Dieser Brick enthält eine Spule mit einer Induktivität von  $22 \mu\text{H}$ . Eine Induktionsspannung von  $1 \text{V}$  wird nach  $22 \mu\text{s}$  erreicht, wenn die Stromflussänderung  $1 \text{A}$  beträgt. Spulen können zum Aufbau von Schwingkreisen und Frequenzfiltern verwendet werden. Da Spulen jeder Stromflussänderung entgegenwirken, stabilisieren sie die Schaltung. Diese Eigenschaft wird zum Umformen (Transformieren) von Spannungen genutzt.



Dieser Brick enthält eine Spule mit einer Induktivität von  $100 \mu\text{H}$ . Eine Induktionsspannung von  $1 \text{V}$  wird nach  $0,1 \text{ms}$  erreicht, wenn die Stromflussänderung  $1 \text{A}$  beträgt. Spulen können zum Aufbau von Schwingkreisen und Frequenzfiltern verwendet werden. Da Spulen jeder Stromflussänderung entgegenwirken, stabilisieren sie die Schaltung. Diese stromstabilisierende Eigenschaft wird zum Umformen (Transformieren) von Spannungen genutzt.

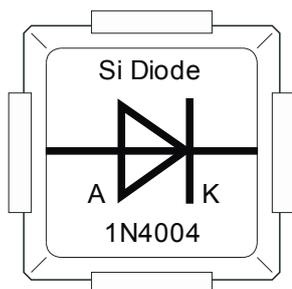


Dieser Brick enthält eine Spule mit einer Induktivität von 10mH. Eine Induktionsspannung von 1V wird nach 10ms erreicht, wenn die Stromflussänderung 1A beträgt. Spulen können zum Aufbau von Schwingkreisen und Frequenzfiltern verwendet werden. Da Spulen jeder Stromflussänderung entgegenwirken, stabilisieren sie die Schaltung. Diese stromstabilisierende Eigenschaft kann zum Umformen (Transformieren) von Spannungen genutzt werden.

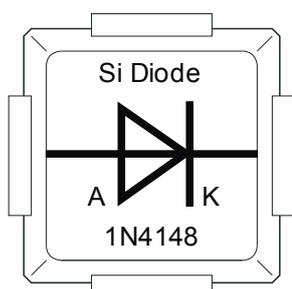


Das Elektronik-Set enthält eine Spule mit einer Induktivität von 3,3µH. Die Induktivität einer Spule ist deren physikalische Eigenschaft. Induktivitäten treten nur dann auf, wenn sich der Stromfluss verändert. Bei konstanter Spannung verhält sich eine Spule wie ein ohmscher Widerstand. Eine Induktivität von 1H gibt an, dass bei einer Stromflussänderung von 1A innerhalb einer Sekunde eine Spannung von 1V induziert wird. Bei dieser Spule wird eine Induktionsspannung von 1V nach 3,3µs erreicht, wenn die Stromänderung 1A beträgt. Die Anzapfung wird für die Verwendung von Teilinduktivitäten beschaltet.

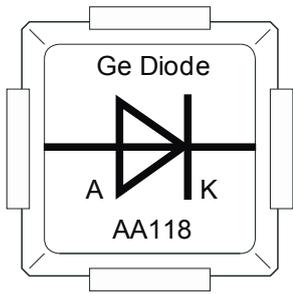
## 3.6 Dioden und Optoelemente



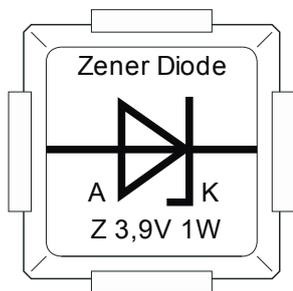
Dieser Brick beinhaltet eine Leistungsdiode. Sie hat die besondere Eigenschaft, eine sehr hohe Spannungsfestigkeit in Sperrrichtung zu besitzen. Sie wird wie eine normale Diode in Durchlassrichtung betrieben, dient aber auch bei moduliertem Gleichstrom als Wechselstromwiderstand.



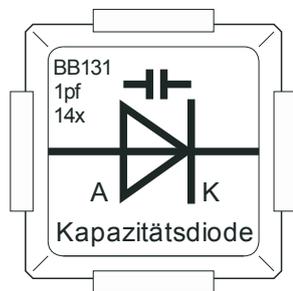
Die besondere Eigenschaft dieses Dioden-Bricks liegt darin, dass er Spannungen bis zu 100V gleichrichten und sehr hohe Frequenzen von bis zu 100MHz schalten kann. Er wird in Durchlassrichtung betrieben. In Sperrrichtung kommt kein Stromfluss zustande.



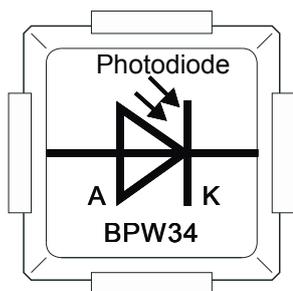
Eine Germaniumdiode erlaubt, wie normale Dioden auch, den Stromfluss nur in Durchlassrichtung. Ihre Besonderheit liegt in dem verwendeten Halbleitermaterial Germanium. Dieses erlaubt eine wesentlich geringere zu überbrückende Diffusionsspannung als das sonst verwendete Silizium. Die Diffusionsspannung dieses Dioden-Bricks liegt bei nur 0,2V. Daher eignet er sich sehr gut zum Gleichrichten hoher Frequenzen von bis zu 1GHz.



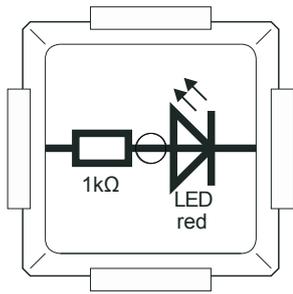
Dieser Brick enthält eine Zener-Diode. Sie hat die besondere Eigenschaft, die Spannung zu stabilisieren. Die Spannungsstabilisierung findet an diesem Bauteil in Sperrrichtung statt. Ist die Spannung groß genug, um einen Strom gegen die Durchlassrichtung fließen zu lassen, spricht man von einer genau definierten Durchbruchspannung. Diese ist auf jedem Bauteil angegeben und beträgt bei diesem Brick 3,9V.



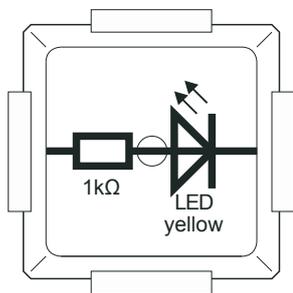
Dieser Brick enthält eine Kapazitätsdiode. Sie hat in Sperrrichtung betrieben, eine steuerbare Kapazität. Wird eine Spannung in Sperrrichtung angelegt, entsteht zwischen den leitenden Schichten in dieser Diode eine isolierte Zone. Diese vergrößert sich mit zunehmender Sperrspannung und die Kapazität nimmt ab. So können Schwingungen in Stromkreisen gesteuert werden.



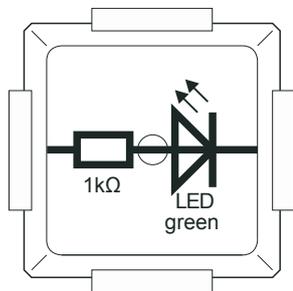
Dieser Brick ist eine Photodiode. Hier ist besonders auf die Polung zu achten. Photodiode leiten den Strom, wie andere Dioden auch, nur in Durchlassrichtung. Um sie allerdings als Lichtsensor einzusetzen, müssen sie in Sperrrichtung in einen Stromkreis eingebracht werden. In diesem Fall werden sie unter Lichteinfall leitend. Die Anode muss hierfür an den Minuspol der Spannungsquelle angeschlossen sein und die Kathode an ihren Pluspol.



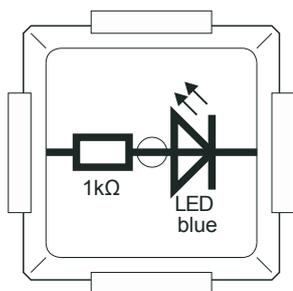
Dieser LED-Brick hat eine rote Leuchtdiode mit einem Vorwiderstand von  $1\text{k}\Omega$  verbaut. Sie ist in Durchlassrichtung zu betreiben. Aber auch richtig verbaut (in Durchlassrichtung) kommt erst ein Stromfluss zustande, wenn eine Mindestspannung von ca.  $1,5\text{V}$  erreicht wird. Die Mindestspannung von Leuchtdioden ist von ihrer Farbe abhängig.



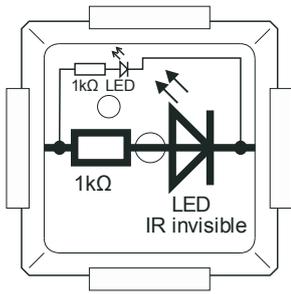
Der Brick hat eine gelbe Leuchtdiode mit einem Vorwiderstand von  $1\text{k}\Omega$  verbaut. Sie ist in Durchlassrichtung zu betreiben. Aber auch in Durchlassrichtung kommt erst ein Stromfluss zustande, wenn eine Mindestspannung von ca.  $1,7$  Volt erreicht wird. Die Mindestspannung von Leuchtdioden ist von ihrer Farbe abhängig.



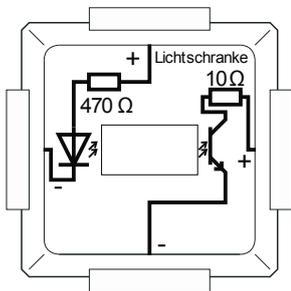
Dieser LED-Brick hat eine grüne Leuchtdiode mit einem Vorwiderstand von  $1\text{k}\Omega$  verbaut. Sie ist in Durchlassrichtung zu betreiben und benötigt eine Mindestspannung von ca.  $1,8$  Volt. Die Mindestspannung von Leuchtdioden ist von ihrer Farbe abhängig.



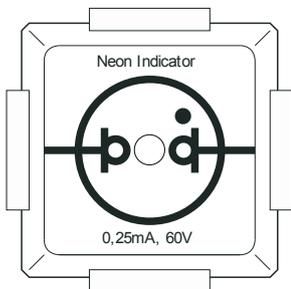
Dieser LED-Brick hat eine blaue Leuchtdiode mit einem Vorwiderstand von  $1\text{k}\Omega$  verbaut. Sie ist in Durchlassrichtung zu betreiben und benötigt eine Mindestspannung von ca.  $2,7$  Volt. Die Mindestspannung von Leuchtdioden ist von ihrer Farbe abhängig.



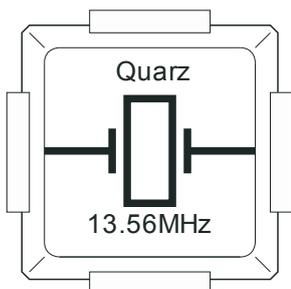
Dieser Brick enthält eine Infrarot-Diode. Ist sie in Betrieb, kann das menschliche Auge die Wellenlängen des emittierten Lichtes nicht mehr wahrnehmen, da es unterhalb (lateinisch: infra) des sichtbaren Bereiches von ca. 780nm liegt. Als Aktivitätssignal ist zusätzlich eine rote Kontroll-LED vorhanden. Diese leuchtet immer dann, wenn die Infrarot-LED in Betrieb ist. Vorsicht: Unsichtbare Strahlung.



Dieser Brick enthält eine Lichtschranke. Die Funktionsweise beruht darauf, dass eine LED einen Phototransistor bestrahlt. Wenn die optische Verbindung zwischen LED und Phototransistor unterbrochen ist, dann sperrt der Transistor. Lichtschranken werden in Alarmanlagen oder in der Industrie z.B. als Inkrementalsensoren verwendet. Da die Signalübertragung ausschließlich optisch erfolgt, können Informationen elektrisch getrennt und ohne mechanischen Verschleiß von einem Stromkreis auf einen anderen übermittelt werden.

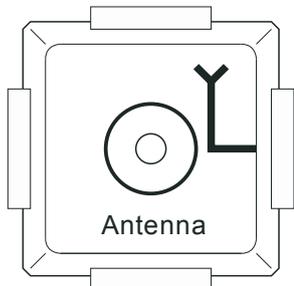


Die Glimmlampe gehört, wie z.B. die Leuchtstofflampe, zu den Gasentladungslampen. An sie wird eine hohe Spannung von etwa 70V angelegt, was zur Ionisierung der Edelgasatome im Innern der Lampe führt. Dieser Vorgang nennt sich Stoßionisation. Die hierbei frei werdenden Ladungsträger suchen sich neue Orte in den Atomen und geben die aufgenommene Energie in Form von Licht wieder ab, sie rekombinieren. Um ein weiteres Reagieren der Atome zu verhindern werden bei Gasentladungslampen Edelgase verwendet. Die Leuchterscheinung ist immer an der Kathode zu beobachten. Bei Wechselspannung leuchten folglich beide Elektroden

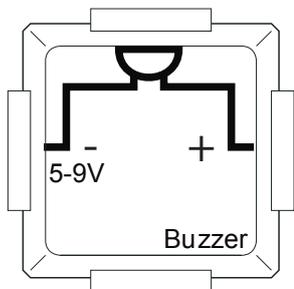


Ein Schwingquarz erzeugt eine genaue Schwingung durch ein von außen angelegtes Wechselfeld. Er kann dazu seriell oder parallel in eine Schaltung eingebracht werden. Jeder Schwingquarz hat eine Eigen- oder Resonanzfrequenz. Der in diesem Brick verbaute Quarz schwingt bei 13,56MHz. Die Qualität der so erzeugten Schwingung ist sehr hoch.

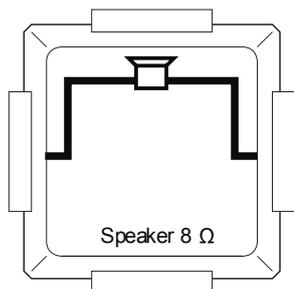
## 3.7 Antennen & Audioelemente



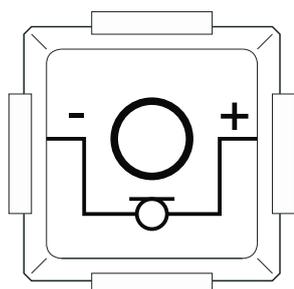
Eine Antenne empfängt oder sendet elektromagnetische Schwingungen.



Der Buzzer (Summer) wandelt elektrische Signale in akustische um. Er verfügt allerdings nicht über ein breites Frequenzspektrum, wie z.B. ein Lautsprecher. Die Erzeugung differenzierter Tonsignale ist daher nicht möglich. Seine Aufgabe ist es hingegen einfache, akustische Meldungen zu geben. Der Buzzer besteht aus einem Piezoelement oder einem Elektromagneten und wird mit einer Wechselspannung betrieben. Bei uns ist eine elektronische Schaltung eingebaut, daher muss man die Polung (+,-) beachten!

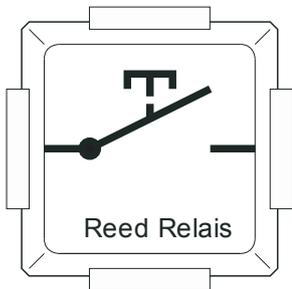


Der Lautsprecher wandelt elektrische Signale in differenzierte Töne um. Lautsprecher sind, je nach Aufgabe, für ein bestimmtes Frequenzspektrum entworfen. Ein Breitbandlautsprecher z.B. hat ein Spektrum von 40-20.000Hz. Lautsprecher dürfen nur mit entsprechender Leistung an dem richtigen Widerstandswert betrieben werden. Ist die Ansteuerung zu stark, wird der Lautsprecher zerstört. Ist die Ansteuerung zu hochfrequent, kann diese durch den niedrigeren Innenwiderstand, bzw. den erhöhten Stromfluss den Lautsprecher zerstören. Für unseren Lautsprecher gilt die Formel:  $\sqrt{(P \cdot R)} = U$ ,  $\sqrt{(0,25W \cdot 8\Omega)} = 1,4V$ . Daher darf der Lautsprecher niemals direkt an unsere Spannungsversorgung von 9V angeschlossen werden.

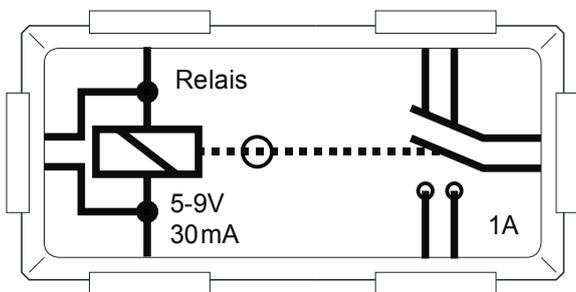


Unser Mikrofon-Brick wandelt akustische Schwingungen in elektrische Signale um. Das Mikrofon kann als Gegenteil des Lautsprechers beschrieben werden. Viele Mikrofone nutzen die Eigenschaft der veränderbaren Kapazität von Kondensatoren, um die Druckwellen des Schalls in eine elektrische Schwingung umzuwandeln. Da unser Mikrofon einen Feldeffekttransistor zur Verstärkung enthält, muss auf die richtige Polung geachtet werden (Siehe + und -). Das Frequenzspektrum reicht von 20-20.000Hz. Die Empfindlichkeit liegt bei ca.  $5-10 \frac{mV}{Pa}$ .

## 3.8 Schalter und Transistoren



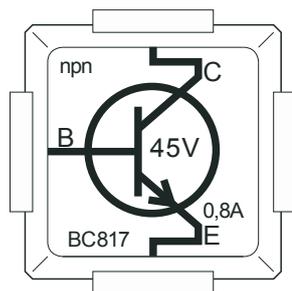
Ein Reed-Kontaktschalter (Reed, englisch für dünnes Rohr) wird durch ein von außen herangebrachtes Magnetfeld betätigt. Dieses Magnetfeld kann durch einen Dauer- oder Elektromagneten erzeugt werden. Reedschalter haben eine geringe Eigenmagnetisierung. Sie schalten immer dann, wenn das äußere Magnetfeld in gleicher Richtung addiert wird und trennen, wenn es die Eigenmagnetisierung aufhebt, es entgegengesetzt gerichtet ist. Sie finden als Näherungsschalter Verwendung.



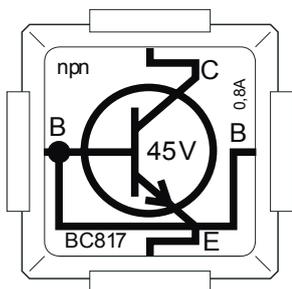
Der Relais-Brick ist ein elektromagnetischer Schalter. Der Steuerstromkreis und der Arbeitsstromkreis sind galvanisch getrennt. Die Mindestspannung beträgt ca. 5V bei einem Stromfluss von 30mA. Ein Relais kann wesentlich größere Ströme schalten als es zur Auslösung benötigt. Unser Relais kann bis zu 1A schalten. In unserem Baustein ist zusätzlich ein Gleichrichter und eine Stabilisierung eingebaut, so daß man das Relais auch bis zu 9V betreiben kann und die Polung keine Rolle spielt. Eine LED signalisiert, wenn das Relais angezogen ist.

### Achtung:

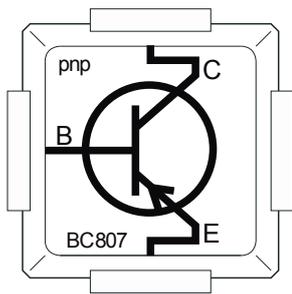
Transistoren können zerstört werden, wenn zwischen den Anschlüssen B (Basis) und E (Emitter) oder den Anschlüssen C (Kollektor) und E direkt, ohne Widerstand, eine Spannung angelegt wird! Transistoren sind elektronische Schalter, die nicht wie ein Lichtschalter, manuell betätigt werden, sondern durch einen Stromfluss an ihrem B-Anschluss. Der geschaltete Stromfluss ist dann zwischen dem C- und E-Kontakt zu erfahren. Der geschaltete Stromfluss (C zu E) darf eine Höhe von 0,8A nicht überschreiten, um eine Zerstörung des Bauelementes zu vermeiden. Ein npn-Transistor ist dem Emitter gegenüber an seiner Basis positiv anzusteuern.



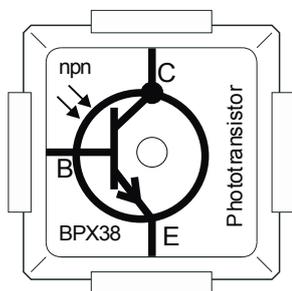
Dieser Brick enthält einen npn-Transistor. Er steuert den Stromfluss zwischen Kollektor (C) und Emitter (E) über den wesentlich kleineren Stromfluss an seinem Basiskontakt (B). Der Basiskontakt ist dem Emitterkontakt gegenüber positiv anzusteuern. Das ist bei jedem npn-Transistor gleich.



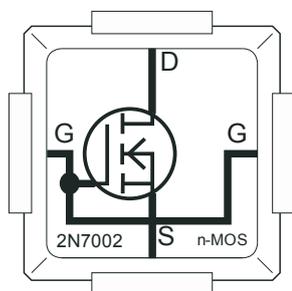
Dieser Brick enthält den gleichen npn-Transistor. Er steuert den Stromfluss zwischen Kollektor (C) und Emitter (E) über den wesentlich kleineren Stromfluss an seinem Basiskontakt (B). Der Basiskontakt ist dem Emitterkontakt gegenüber positiv anzusteuern. Das ist bei jedem npn-Transistor gleich. Zusätzlich ist hier der Basiskontakt zur gegenüberliegenden Seite des Bricks durch verbunden, so dass er leichter in komplexe Schaltungen eingebracht werden kann.



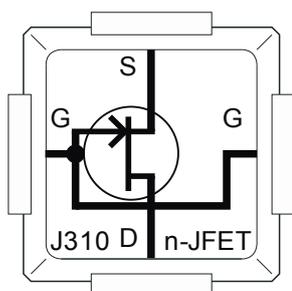
Bei dem hier verwendeten pnp-Transistor steuert ein geringer Stromfluss am Basiskontakt (B) weit höhere Ströme zwischen Emitter- (E) und Kollektorkontakt (C). Die Basis muss (anders als beim npn-Transistor) negativ zum Emitter angesteuert werden.



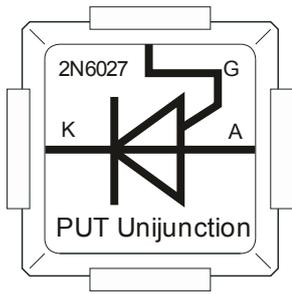
Der Phototransistor steuert den Kollektor-Emitter-Strom über die an seiner Basis angelegte Spannung, wie ein konventioneller Transistor. Zusätzlich aber wird dieser Stromfluss auch ermöglicht, wenn ausreichend Licht auf den Transistor trifft. Er verhält sich so ähnlich wie ein Photowiderstand, nur dass er die Widerstandsänderung durch seinen Verstärkungsfaktor deutlicher macht.



Unser Feldeffekt Transistor steuert den Stromfluss zwischen Drain und Source über die am Gate angelegte Spannung. Das Besondere an diesem Bauelement ist, dass die Verbindung zwischen Gate und Source sehr hochohmig ist. Feldeffekttransistoren werden als "MOSFET" (Metall-Oxid-Semileitender Feldeffekttransistor) bezeichnet oder kurz als "MOS". Es gibt unterschiedliche Arten von MOS, dieser ist ein normal sperrender n-Kanal. Dies bedeutet, dass die Schwellspannung am Gate (Tor) anliegen muss, damit ein Stromfluss zwischen Drain (Abfluss) und Source (Quelle) erfahren wird. Die Spannung muss am Gatekontakt positiv zum Sourcekontakt sein.

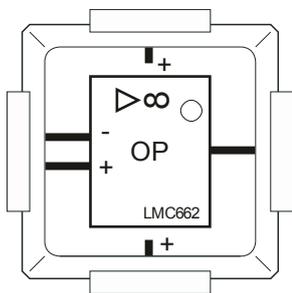


Ein JFET (Junktion-Feldeffekt-Transistor) leitet ohne eine angelegte Spannung am Gatekontakt zwischen dem Source- und Drainkontakt. Er verhält sich solange wie ein ohmscher Widerstand, bis die Abschnürspannung erreicht ist. Diese liegt bei ca. 2,5 Volt. Der Stromfluss zwischen Drain und Source bleibt mit deren Erreichen konstant. Die Abschnürspannung kann durch eine am Gatekontakt angelegte dem Sourcekontakt gegenüber negative Spannung verringert werden, so dass eine Stromflussbegrenzung variabel einstellbar ist.

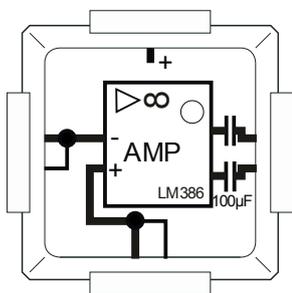


Dieser Brick enthält einen PUT (Programmable Unijunction Transistor). Das Besondere an diesem Bauelement ist die über eine am Gatekontakt "einstellbare" Schwellspannung zwischen Anode und Kathode. Wird eine Spannung in Durchlassrichtung angelegt, ist der Widerstand zwischen Anode und Kathode bis zum Erreichen der Schwellspannung sehr hoch. Wird jetzt am Gatekontakt eine zur Kathode positive Spannung geschaltet, kann die Schwellspannung gesenkt werden, der PUT wird "früher" niederohmig. Mit einem PUT lassen sich leicht Oszillatorschaltungen aufbauen.

### 3.9 Verstärker

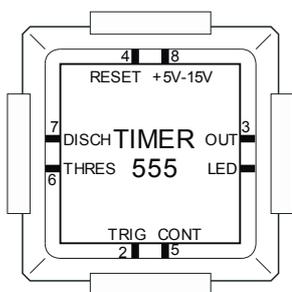


Dieser Brick enthält einen Operationsverstärker (OPV) mit sehr niedrigem Eingangsstrom von 2 milliardstel Ampere ( $10^{-15}A$ ). Damit liegt der Eingangswiderstand im Umkehrschluss über 1 Teraohm ( $10^{12} \Omega$ ). Je nach Beschaltung kann der OPV die Spannungsdifferenzen an seinem Eingang bis um das 2.000.000-fache Verstärken. Der Verstärkungsfaktor wird durch das Verhältnis der Widerstände zwischen seinem Eingang und Ausgang bestimmt. Der Pegel der Verstärkung wird in Bel (B) bzw. DeziBel (dB), seinem zwanzigsten Teil, logarithmisch bestimmt. Die Spannungsverstärkung von 2.000.000 entspricht ca. 126 dB.



Der LM386 dient zur Verstärkung von schwachen Audiosignalen. Er hat eine Leistung von maximal 0,25 Watt bei einem Ausgangswiderstand von 8  $\Omega$ . Seine dem Operationsverstärker ähnlichen Eigenschaften machen es möglich einen Spannungspegel am Eingang um den Faktor 200 zu verstärken..

### 3.10 Spezial Module



Der Timer 555 wird als Zeitgeber oder zum Erzeugen von Frequenzen benutzt. Dabei können Einschalt-, Ausschaltdauer oder Form des Ausgangssignals in Abhängigkeit der Eingangssignale genau definiert werden. Er hat vom Oszillator bis Pulsgeber verschiedene Funktionen.

# 4. Versuchsaufbauten zum Stromkreis

## 4.1. LED leuchtet

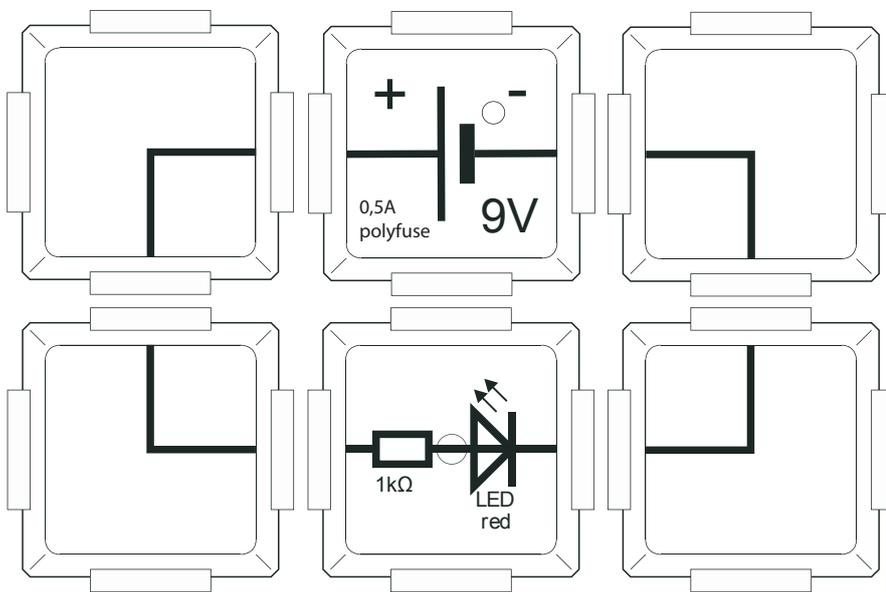
Unsere erste Schaltung besteht aus einer Spannungsquelle und einer LED. Die Spannungsquelle kann z.B. eine Batterie oder auch ein Netzteil sein. Eine LED ist eine moderne Form eines Leuchtmittels.

Sie hat nur etwa  $\frac{1}{100}$  des Energieverbrauchs einer vergleichbaren Glühlampe, da in ihr kein Draht zum Glühen gebracht werden muss. Ein Rekombinationsprozess der Elektronen im p-dotierten Halbleiter setzt das zu erzeugende Licht frei. Das erzeugte Licht wird bei der Rekombination der Elektronen im p-dotierten Halbleiter frei. Auch LEDs erwärmen sich während des Betriebs, sie produzieren allerdings wesentlich weniger Verlustwärme als beispielsweise Glühlampen bei Erzeugung der gleichen Lichtmenge.

**Achtung:** Beim Aufbau des Stromkreises ist genau auf die richtige Anordnung des LED-Bricks zu achten. Die LED leuchtet im Gegensatz zu einer Glühlampe nur dann, wenn sie mit der richtigen Polung in die Schaltung eingebracht ist. Die Kathode (Minuspol) der LED muss hierzu wie in untenstehender Abbildung dargestellt an den Minuspol der Spannungsquelle angeschlossen sein. Die Anode (Pluspol) der LED hingegen ist mit dem Pluspol der Spannungsquelle zu verbinden. Somit fließt der Strom durch die Leuchtdiode von Plus nach Minus - in sogenannter technischer Stromrichtung. Der LED-Brick hat noch einen Vorwiderstand an Bord. Dieser ist sehr wichtig, da er die Zerstörung der LED verhindert. Würde die LED ohne ihn an der Spannungsquelle von 9V anliegen, brennt diese nach kurzem Aufleuchten durch.

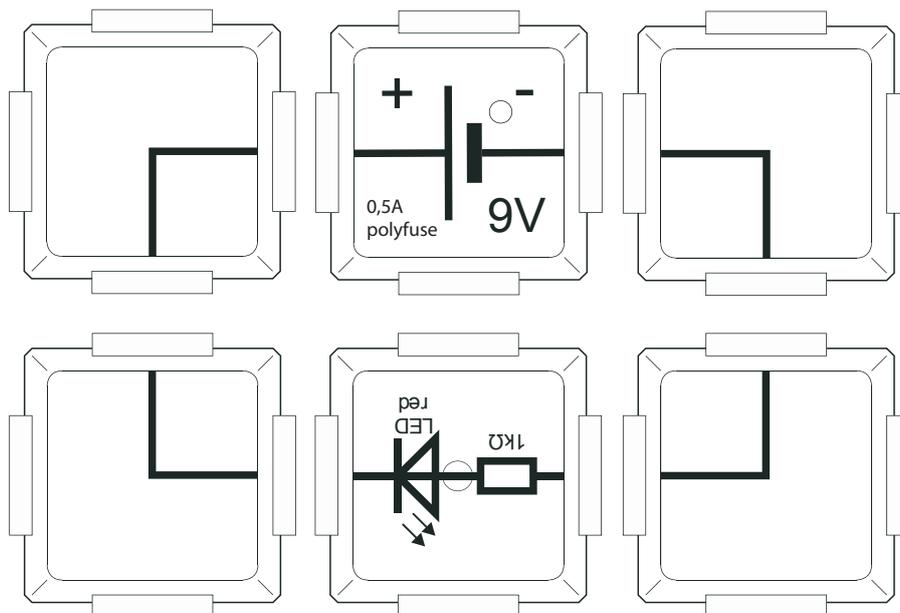
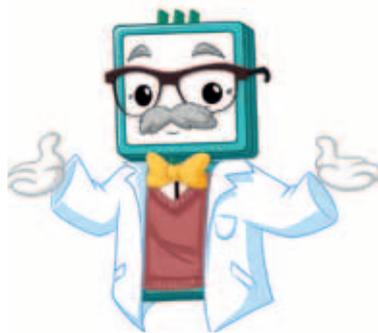
Der Widerstand sorgt für eine Begrenzung des Stromes.

**Achtung:** Die Bricks sind exakt zu verbinden. Leuchtet die LED nicht, sind die Kontakte zwischen den Bricks noch einmal genau zu kontrollieren. Es empfiehlt sich grundsätzlich Polarisierungen und Steckverbindungen vor Aktivierung der Schaltung, also vor dem Einbau der Batterie zu überprüfen.



## 4.2. Unterbrochener Stromkreis

Bei diesem Versuchsaufbau wird die LED in Sperrrichtung in den Stromkreis eingebracht und leuchtet daher nicht. Dabei ist es immer wichtig, sich die genaue Funktionsweise einer LED zu vergegenwärtigen. Diese leuchtet nur dann, wenn sie in Durchlassrichtung in den Stromkreis eingesetzt wurde. Das Schaltsymbol einer LED deutet einen Pfeil an. Dieser muss von dem positiven Potential (Plus) zum negativen Potential (Minus) der Spannungsquelle zeigen, um einen Stromfluss zu ermöglichen, bzw. die LED zum Leuchten zu bringen. Der Pfeilanfang wird als Anode und das Pfeilende als Kathode bezeichnet. Der Balken an der Kathode deutet an, dass der Strom nicht fließen kann, wenn das positive Potential der Spannungsquelle hier anliegt. Die Leuchtdiode verhält sich dabei wie jede andere Diode auch. Sie ist vergleichbar mit einer Tür, die nur in eine Richtung schwenken kann und auch nur in dieser durchschritten werden darf. Möchte ich diese Tür in Sperrichtung durchschreiten, drücke ich sie durch meine eigene Bewegungsrichtung fest in Schloss und Rahmen, so dass sie mir dem Weg versperrt. Die Kathode ist auf allen Bauelementen mit einem Balken markiert. In Durchlassrichtung wird sie an den Minuspol der Spannungsquelle angeschlossen. Dieser Strich oder Balken deutet an, dass hier das positive Potential geblockt wird.



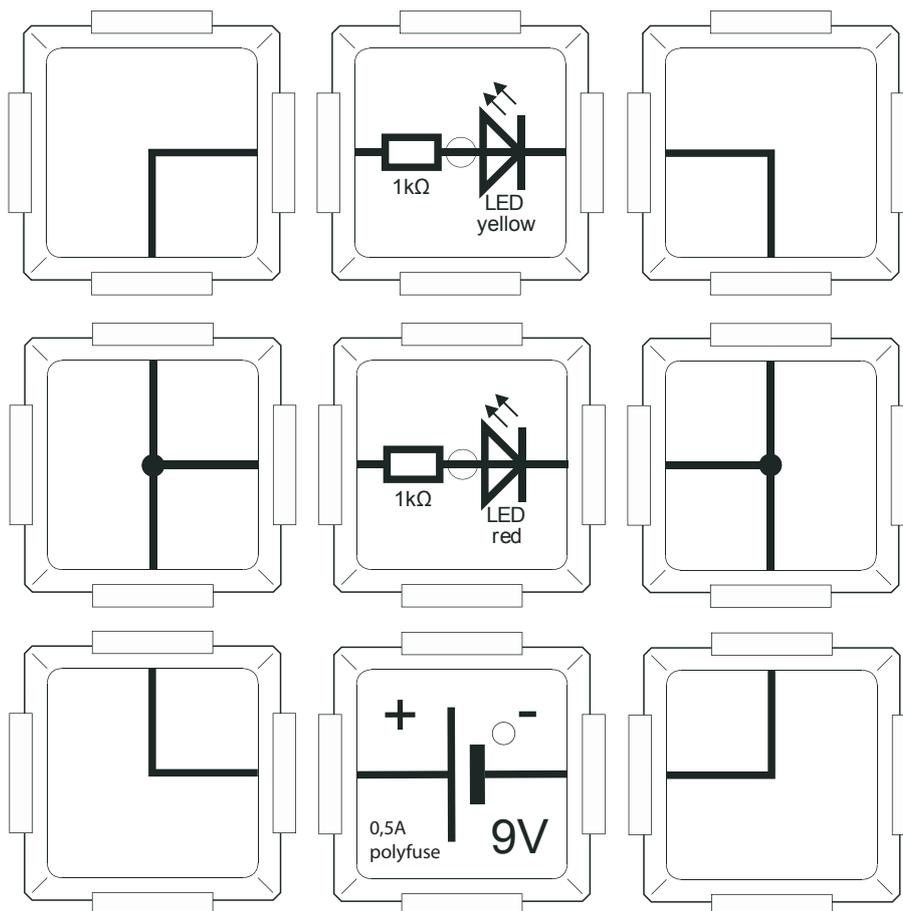
**LED leuchtet nicht!**

### 4.3. Zwei LEDs - Parallelschaltung

Unser Elektronikset hat mehrere LED-Bricks, z.B. einen roten und einen gelben. Diese kann man gemeinsam in eine Schaltung einbringen. Beide LED-Bricks leuchten nur dann, wenn sie richtig angeschlossen sind, d.h. mit der Anode am positiven Potential der Spannungsquelle. Eine Parallelschaltung ist immer dann vorhanden, wenn der Stromfluss zwei oder mehr Möglichkeiten hat den Weg vom Plus- zum Minuspol zu finden. In unserem Beispiel leuchten die LEDs sozusagen gleichzeitig, da der Stromfluss durch beide LED-Bricks auf unterschiedlichen Wegen gleich fließt. Unsere mitgelieferten LED-Bricks haben einen Vorwiderstand von  $1\text{k}\Omega$ .

Die LEDs haben abhängig von der Leuchtfarbe unterschiedliche Betriebsspannungen. Beispielsweise leuchten rote und blaue LEDs bei gleichem Vorwiderstand nicht gleichzeitig. Da die rote Leuchtdiode eine niedrigere Betriebsspannung als die blaue hat, würde sie zuerst leuchten und dann zerstört werden, wenn die blaue LED zu leuchten beginnt. Dabei muss die Versorgungsspannung in einer Parallelschaltung weiter ansteigen. LEDs haben eine verhältnismäßig kleine Betriebsspannung, sodass sie kaum ohne Vorwiderstand Verwendung finden.

Wird eine LED versehentlich ohne Vorwiderstand betrieben, geht sie in der Regel kaputt.



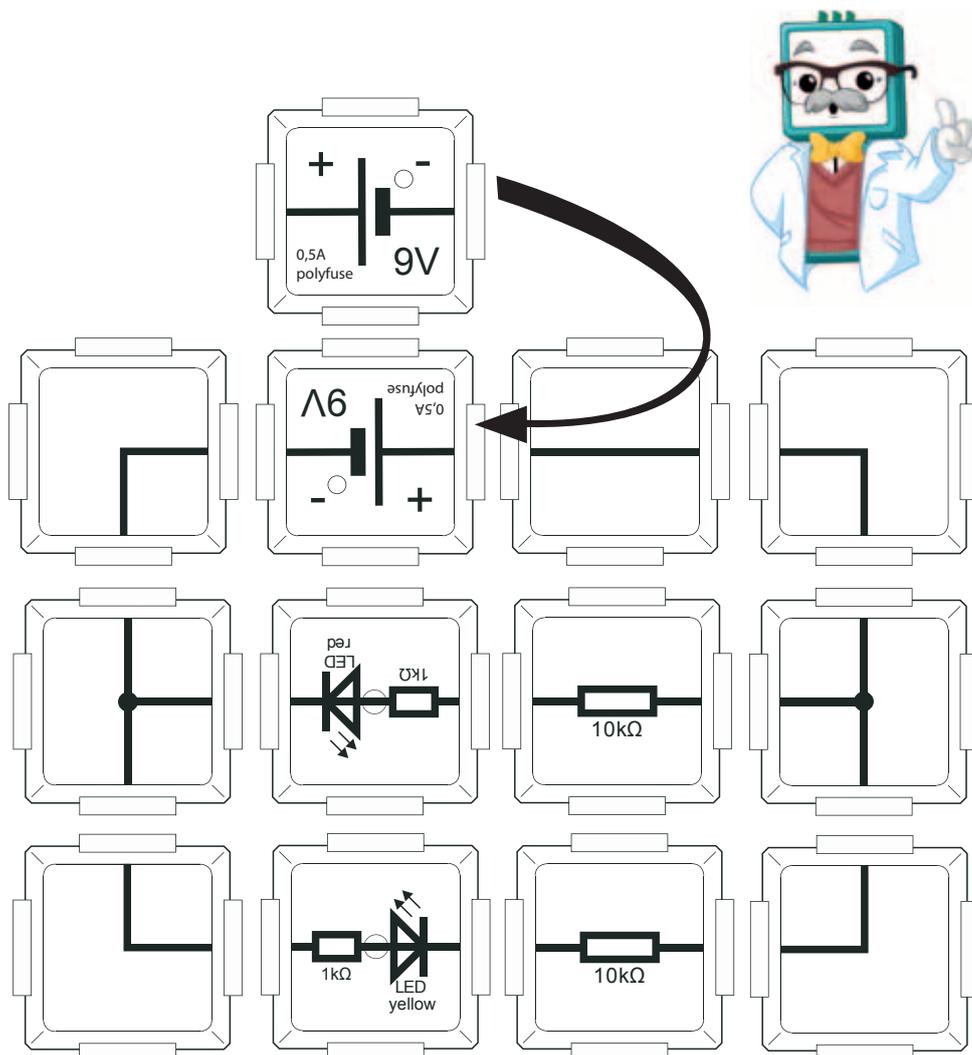
## 4.4. Batterie Polung messen

Bei unserem nächsten Versuch kann die Eigenschaft der Leuchtdiode, den Stromfluss nur in eine Richtung zu ermöglichen, genutzt werden, um die Polung einer Spannungsquelle bzw. Batterie zu bestimmen. Dafür bringen wir die LED-Bricks so in den Stromkreis ein, dass die Anode des roten LED-Bricks und Kathode des gelben LED-Bausteins an das positive Potential der Spannungsquelle angeschlossen ist.

Es leuchtet nur die rote Leuchtdiode, obwohl der Pluspol der Spannungsquelle an beide LED-Bricks angeschlossen ist. Dreht man die Polarität der Spannungsquelle um, bringt also das negative Potential an die Anode der roten Leuchtdiode und an die Kathode der gelben Leuchtdiode, beginnt nur die gelbe Leuchtdiode zu leuchten. Die Minuspol der Spannungsquelle ist also an beide LED-Bricks angeschlossen! Wenn eine Spannungsquelle angeschlossen ist, leuchtet immer nur eine Leuchtdiode, nie beide gleichzeitig. Man spricht hier von einer antiparallelen Schaltung. Vor die beiden LED-Bricks ist jeweils ein  $10\text{k}\Omega$ -Widerstand eingebracht, um den Stromfluss abermals zu begrenzen. Hierdurch könnten auch Polungen von Netzteilen bestimmt werden, die eine höhere Spannung als 9V haben. Die Anzahl der möglichen Vertauschungen ist zwei, daher genügen zwei Leuchtdioden um Stromflussrichtungen zu bestimmen.

**Achtung:** Die maximale Spannung des Netzteils sollte kleiner als 24 Volt sein. Bitte stecken Sie niemals ein Brick direkt an die Netzspannung von 230V! Es besteht dann Lebensgefahr!

**Achtung:** Die Pole von Netzteil oder Batterie sind nie direkt miteinander zu verbinden, also kurzzuschließen! Hierbei besteht die Gefahr, dass Leitungen durchglühen oder Akkus explodieren!

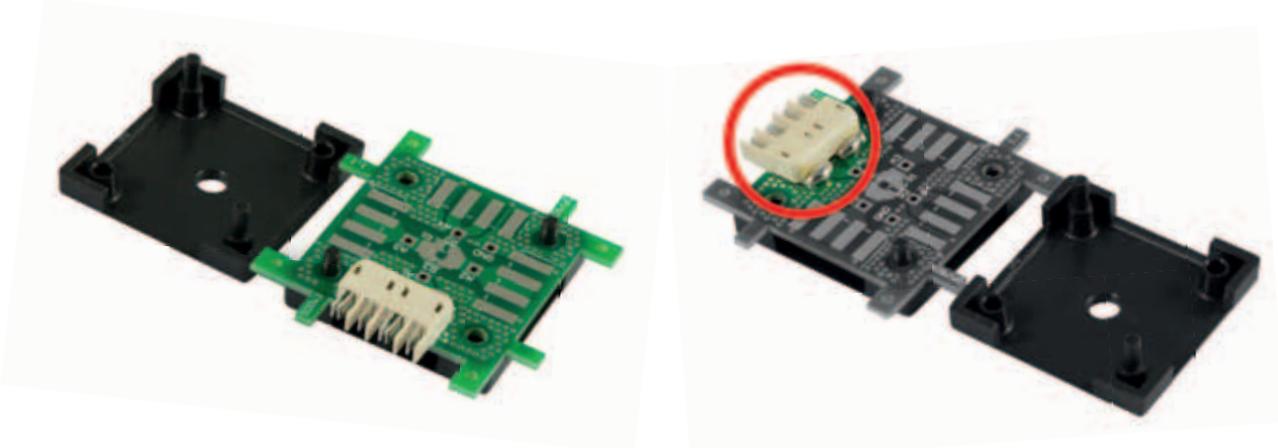


## 4.5 Masse und Brick

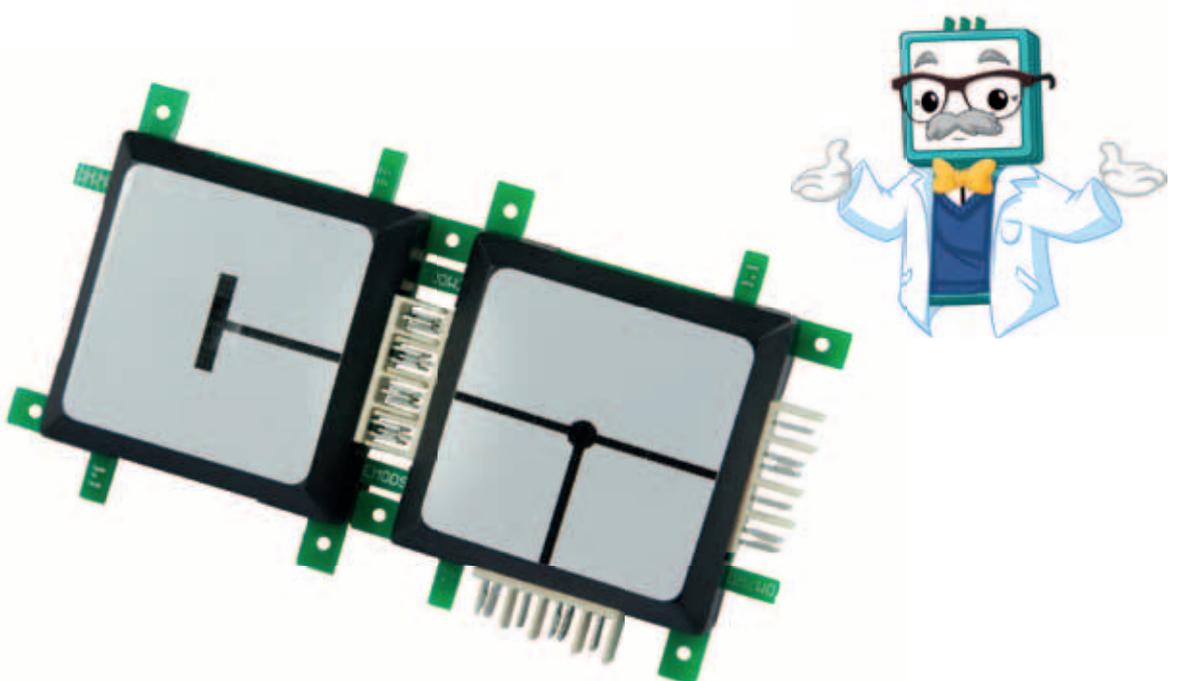
Der Masse-Brick ist ein besonderer Bestandteil unseres Elektroniksets. Er spart zusätzliche Verbindungen mit Hilfe anderer Bricks oder Leitungen. Hier wird das Geheimnis unserer vierpoligen Verbindungen offenbart. Die mittleren zwei Kontakte sind für die Signalübertragung reserviert, so wie es der Aufdruck verrät. Die äußeren Kontakte werden zum Schließen des Stromkreises, also die Rückführung des Stromflusses zur Spannungsquelle benutzt. Das realisiert der Masse-Brick. Dieser Brick heißt deshalb Masse-Brick, weil in der Elektronik mit der Bezeichnung "Masse" nicht das träge Gewicht des Gegenstandes selbst beschrieben ist, sondern das Vergleichspotential zum dem alle anderen Potentiale bezeichnet sind. Unser Masse-Brick stellt also genau diese Verbindung zu 0V her.

In unserer Schaltung sind das 9 Volt gegenüber 0 Volt: Man spricht einfach nur "Neun Volt". Man erstellt in der Elektronik Schaltungen so, dass nachdem alle Bauelemente in ihrer Funktionsweise in die mehr oder weniger komplexen Stromkreise eingebracht sind, diese mit der "Masse" verbunden werden. Schaltpläne sind nur so zu lesen.

Unser Masse-Brick verbindet die mittleren beiden Kontakte mit den beiden äußeren. Wir verursachen damit keinen Kurzschluss, denn der Strom durchfließt noch die Bauelemente im Inneren der Bricks.



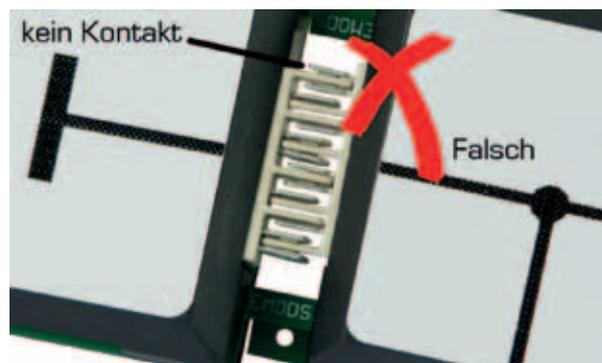
Beim Zusammenstecken der Bricks muss darauf geachtet werden, dass sich die Kontakte richtig berühren, da sonst die Gefahr von Unterbrechungen oder sogar Kurzschlüssen besteht!



Hier ist ein Beispiel einer richtig gesteckten Verbindung. Die Verbindung besteht jeweils aus kleinen Stiften, die sich mechanisch verklemmen und dabei ebenfalls elektrisch leiten. Um eine Isolation zwischen den Kontakten zu gewährleisten und einen Kurzschluss zu verhindern sind Stege aus Kunststoff eingebracht, welche den elektrischen Strom nicht leiten.



Ein Beispiel einer fehlerhaften Verbindung ist im Bild darunter zu sehen. Hier sind noch Abstände zwischen den Kontakten, die einen sicheren Stromfluss nicht gewährleisten können. Der Stromkreis bleibt "offen" oder ist instabil und die Funktion der Schaltung nicht gegeben.



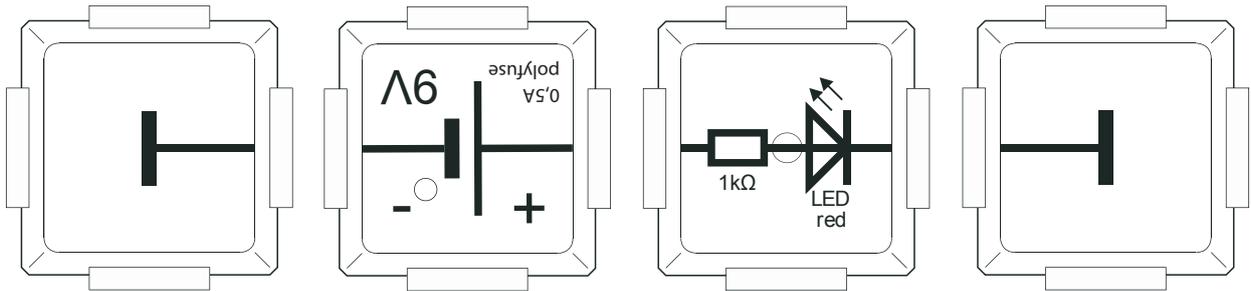
**Achtung:** Es ist wichtig, grundsätzlich immer den richtigen Sitz der Kontaktstifte zu kontrollieren. Weichen diese zu weit voneinander ab, kann es zu einem Kurzschluss kommen. Dann findet der Stromfluss nicht durch unsere Bauelemente mit der erhofften Wirkung statt, sondern sucht sich den kürzesten Weg zurück zur Spannungsquelle. Ein Kurzschluss führt zum Maximalstromfluss, da der einzige Widerstand den elektrischen Strom überwinden muss, der Innen-Widerstand der Spannungsquelle ist. Dieser Widerstand ist anschaulich sehr klein, so kann der Kurzschlussstrom bei längerer Dauer zur Überhitzung führen. Es besteht Brandgefahr!



**Wichtig: Immer die richtige Stellung der Kontakte überprüfen!**

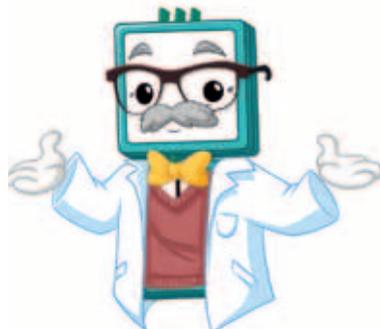
## 4.6. Vereinfachte Schaltung mit Masse-Brick

An dieser Stelle folgt ein Beispiel für einen Stromkreis mit Masse-Brick. Die erste Abbildung zeigt den finalen Aufbau der Schaltung, die zweite stellt den eigentlichen Lauf der Masseleitung durch die Bricks dar.

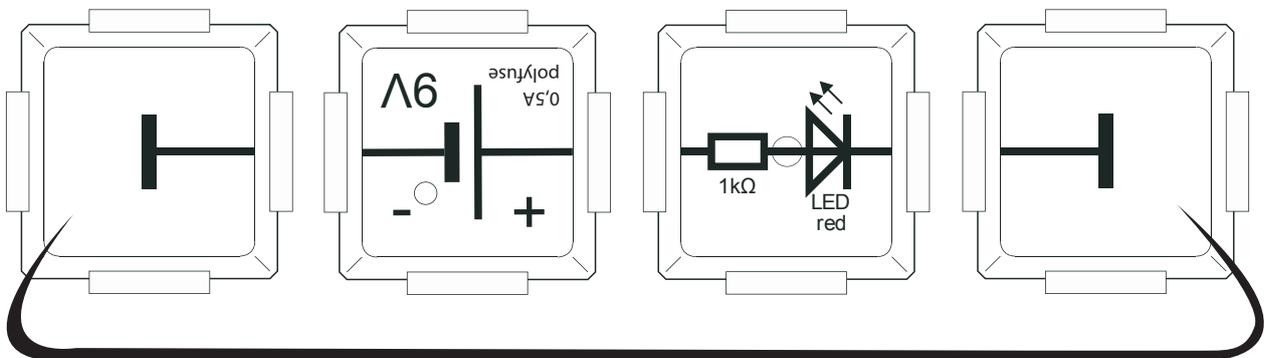


Der aktuelle Versuchsaufbau zeigt sich durch die Masse-Bricks wesentlich übersichtlicher gegenüber dem Aufbau aus Kapitel 4.1. Es werden nur noch vier, statt der bisherigen sechs Bricks benötigt. Die Masse-Bricks schließen den Stromkreis, auch wenn sie links und rechts neben den mittleren Bricks scheinbar ins Leere gehen. Die Masse-Bricks gewährleisten die Verbindung zwischen den Enden.

Merke: Das Massesymbol spart bei der professionellen Anwendung in der Technik beim Zeichnen der Schaltung Zeit und trägt auch zur besseren Übersicht bei komplexen Schaltplänen bei.



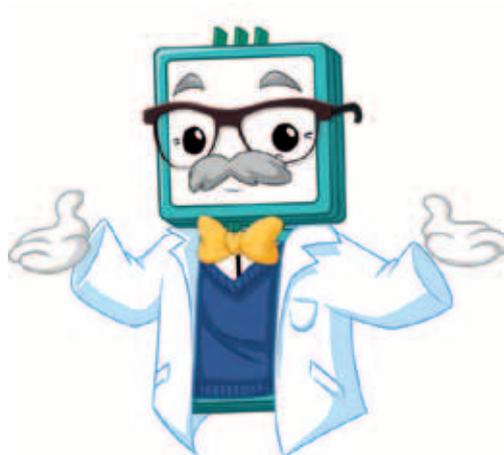
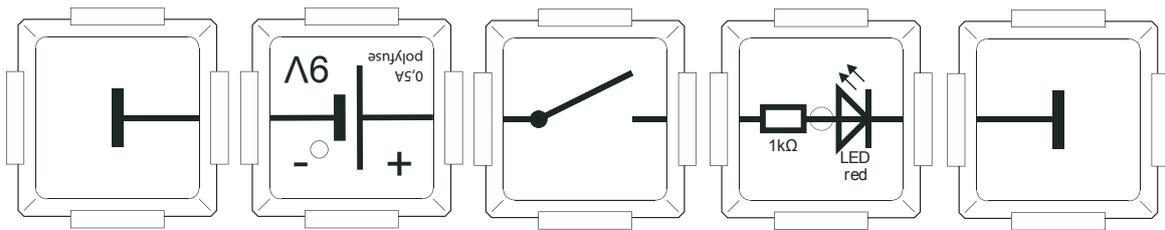
### Lauf der Masseleitung



## 4.7. Stromkreis mit Taster

Bei unserem nächsten Versuchsaufbau wird ein Taster in den Stromkreis eingebracht. Er hat die Funktion, nur dann einen Stromfluss zu ermöglichen, wenn er betätigt ist, bzw. gedrückt gehalten wird. Auch hier wird der zurückzuführende Strom über die Masse-Bricks an den Enden der Schaltung realisiert. Der Stromkreis wird somit geschlossen, so wie im vorangegangenen Punkt 4.6 geschrieben.

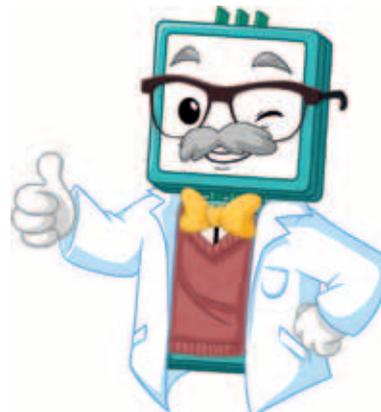
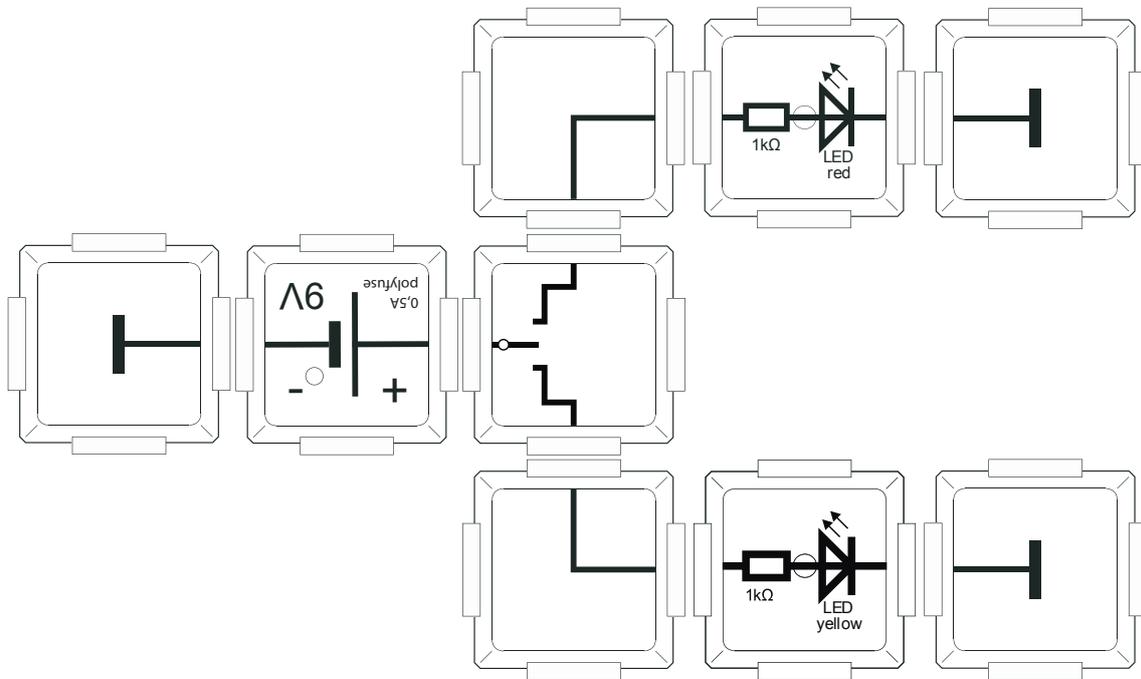
Der Taster ist das einfachste fest verbaute Element in einer elektrischen Schaltung. Er findet z.B. auch zum Einschalten des Innenlichtes in einem Kühlschrank in derselben Art und Weise Verwendung wie in der hier vorgestellten Schaltung.



## 4.8. Stromkreis mit Umschalter

Eine weitere Möglichkeit einen Stromkreis zu schalten, ist ein Umschalter. Hier wird der Stromfluss, wie bei einer Weiche im Zugverkehr, entweder auf einen Stromzweig oder auf einen anderen gebracht, aber nie auf beide gleichzeitig. Unser Umschalter hat zusätzlich eine Mittelstellung, bei der an keinem Stromzweig eine Spannung anliegt. Ist der Umschalter nach oben gestellt, leuchtet die rote LED, zeigt er nach unten, leuchtet die gelbe LED.

**Achtung:** Bei diesem Versuch ist besonders auf die richtige Polung der LED-Bricks zu achten!



# 5. Digitale Logik mit Tastern

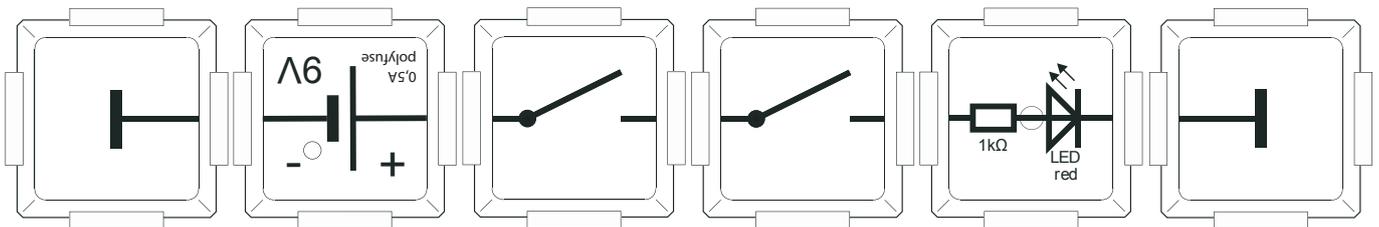
## 5.1. UND-Schaltung

In der Digitaltechnik ermöglicht eine intelligente Verschaltung von Bauelementen die Realisierung von komplexeren Funktionen. Der Begriff "Digit" ist abstrakt und aus dem Englischen entlehnt. Er bedeutet in diesem Zusammenhang: Kleinstes einfaches Teil oder Stelle. Und er wird oft im Gegensatz zu "Analog" verwendet, z.B. Analogkamera zu Digitalkamera. Man kann ihn gut mit Hilfe des Vergleiches von einer Schräge mit einer Treppe erklären. Die Höhenänderung an einer Schräge findet kontinuierlich statt, die an einer Treppe in kleinstmöglichen diskreten Zuständen, den Stufen. So wie die digitale Informationsverarbeitung nur zwischen "1" (EIN) und "0" (AUS) unterscheidet, werden in der analogen Signalverarbeitung die Eingangssignale wertkontinuierlich (also genau gleich) weiterverarbeitet.

In der Digitaltechnik sind dazu bestimmte logische Verknüpfungen notwendig bzw. untereinander verzweigt. Die folgenden Versuche stellen die einfachsten logischen Grundschaltungen (UND,ODER, NICHT und Exklusiv-ODER) vor.

Die UND-Schaltung kann man z.B. mit Tastern verwirklichen, in unserem Beispiel nur zwei. Es können aber auch beliebig viele sein, abhängig von der Anzahl der zu verarbeitenden Eingangssignale. Das wird z.B. bei der Absicherung von gefährlichen Maschinen genutzt: Nur wenn zwei Taster gedrückt gehalten werden, einer mit der rechten und einer mit der linken Hand, ist garantiert, dass kein Mensch zu Schaden kommt, wenn die Maschine in Betrieb ist.

Elektronisch ist die UND-Schaltung durch zwei seriell liegende Schalter (Taster) dargestellt. Diese befinden sich im aktuellen Versuchsaufbau direkt hintereinander. Erst wenn beide geschlossen sind, leuchtet unsere LED. Genauso, wie die Konjunktion "und" in der Sprache Anwendung findet.



Der Digitaltechniker kann die Funktion der UND-Verknüpfung in tabellarischer Form darstellen:

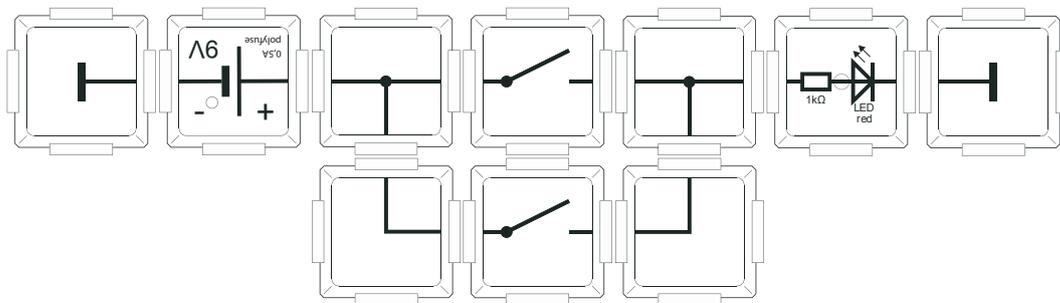
Taster 1	Taster 2	LED
Aus (0)	Aus (0)	Aus (0)
Ein (1)	Aus (0)	Aus (0)
Aus (0)	Ein (1)	Aus (0)
<b>Ein (1)</b>	<b>Ein (1)</b>	<b>Ein (1)</b>

Die rote LED leuchtet nur bei der Schalterstellung, die in der letzten Zeile der Tabelle dargestellt ist, also wenn Taster 1 UND Taster 2 betätigt sind.

## 5.2. ODER-Schaltung

Die ODER-Schaltung realisiert ein Ausgangssignal, wenn eines ODER mehrere Eingangssignale anliegen. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird die Konjunktion "oder" ebenfalls so verwendet. Ein Beispiel: Ich kann die Rechnung von 5€ bezahlen, wenn ich zwei Einnahmen von 10€ oder 20€ erziele. In jeden Fall bin ich in der Lage die Rechnung zu begleichen, auch wenn beide Beträge gleichzeitig erzielt werden. Hier wird also zwischen zwei oder mehreren Alternativen unterschieden, die alle dasselbe Resultat erzeugen.

Dem aufmerksamen Leser wird nicht entgangen sein, dass die UND-Verknüpfung eine Teilmenge der ODER-Verknüpfung ist. Denn auch wenn beide Alternativen gewählt werden, tritt dasselbe Ereignis ein. In der Elektrotechnik wird dies durch eine Parallelschaltung verdeutlicht. Der neue Versuchsaufbau benötigt für die Umsetzung des parallelen Schaltzweiges die Ergänzung von je zwei T- und zwei Eck-Bricks. Die genaue Anordnung ist in untenstehender Abbildung ersichtlich.



Der Digitaltechniker kann die Funktion der ODER-Verknüpfung in tabellarischer Form darstellen:

Taster 1	Taster 2	LED
Aus (0)	Aus (0)	Aus (0)
<b>Ein (1)</b>	Aus (0)	<b>Ein (1)</b>
Aus (0)	<b>Ein (1)</b>	<b>Ein (1)</b>
<b>Ein (1)</b>	<b>Ein (1)</b>	<b>Ein (1)</b>

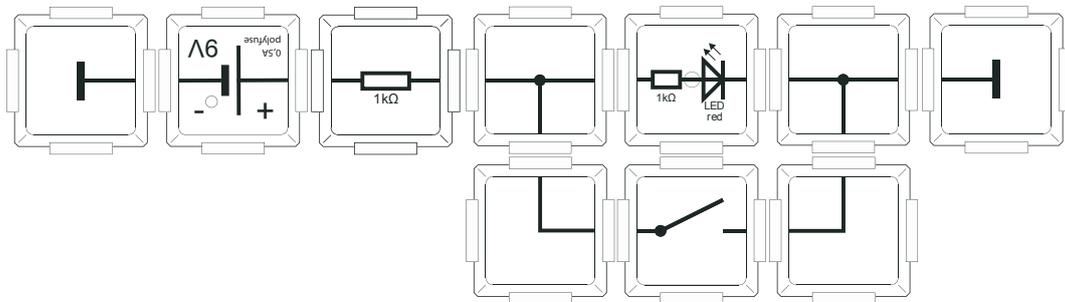
Die rote LED leuchtet nur dann und nur dann, wenn Taster 1 betätigt ist oder Taster 2 oder beide.

## 5.3 NICHT-Schaltung

Die NICHT-Schaltung wird auch als Negation bezeichnet. Sie verhindert ein Ereignis als Folge einer Ursache.

Ein Beispiel: Wenn die Ampel rot ist, dann kann ich nicht über die Kreuzung fahren. Sie wird in der Elektronik mit einem Transistor verwirklicht, der beim Durchschalten einen Verbraucher überbrückt, so dass der Spannungsfall über ihm zu gering wird, um einen für seinen Betrieb ausreichenden Stromfluss zu erreichen.

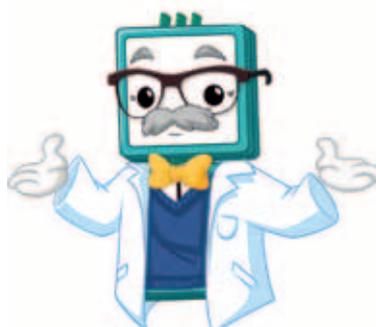
Wir simulieren das mit Hilfe eines zur LED parallel geschalteten Tasters. Ist dieser betätigt, kann die Diffusionsspannung in der LED nicht mehr erreicht werden, so dass diese erlischt. Wird er hingegen nicht bestätigt, hat der Strom keine Alternative um zum Massebrück zu gelangen und die LED leuchtet. Wichtig ist der  $1\text{k}\Omega$ -Widerstand, der einen Kurzschluss bei geschlossenem Taster verhindert.



Der Digitaltechniker kann die Funktion der NICHT-Verknüpfung in tabellarischer Form darstellen:

Taster 1	LED
Ein (1)	Aus (0)
Aus (0)	Ein (1)

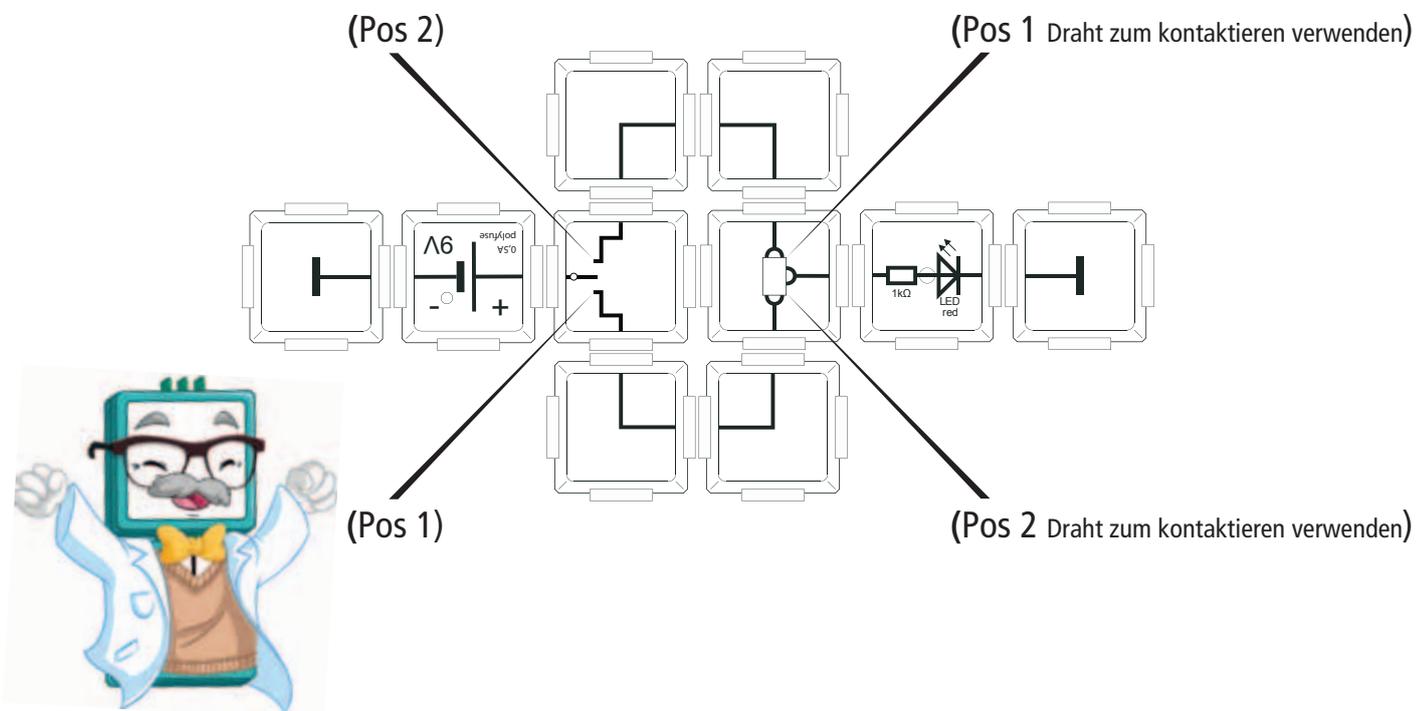
Die rote LED leuchtet nicht, wenn der Taster betätigt ist.



## 5.4. Exklusiv-ODER-Schaltung

Die Exklusiv-ODER-Verknüpfung ist in der Elektrotechnik oft zu finden. Sie wird als Wechselschaltung bei Ihnen zu Hause mit dem Flurlicht oder bei der Verschlüsselung von Daten verwendet. Im allgemeinen Sprachgebrauch ist die Exklusiv-ODER-Verknüpfung durch ein "entweder, oder" realisiert. Ein Beispiel: Diese Schaltung lässt sich bei der Flurbeleuchtung einsetzen. Jeder Schalter kann zum Ein- oder Ausschalten verwendet werden, unabhängig welcher Schalter zu erst betätigt wird.

Diese Verknüpfung wird in unserer Schaltung mit dem Umschalter- und Kontakte-Brick realisiert. In der Elektrotechnik wird deren Funktion, so wie sie in unserer Schaltung Verwendung findet, als Wechselschalter bezeichnet. Der eine Wechselschalter negiert das Signal des anderen. Die Schalterstellung ist dabei nicht von Belang, die LED kann mit beiden Elementen, unabhängig voneinander, zum Leuchten gebracht werden. Nur dann, wenn beide Wechselschalter auf betätigt sind, ist kein Ausgangssignal zu erfahren (Umschalter 1 ist oben "ein" und Kontakte-Brick ist unten "ein").



Die Wahrheitstabelle für die Exklusiv-ODER-Verknüpfung lautet:

Umschalter	Kontakte	LED
Aus (0) (Pos 2)	Aus (0) (Pos 2)	Aus (0)
<b>Ein (1) (Pos 1)</b>	Aus (0) Pos 2)	<b>Ein (1)</b>
Aus (0) (Pos 2)	<b>Ein (1) (Pos 1)</b>	<b>Ein (1)</b>
Ein (1) (Pos 1)	Ein (1) (Pos 1)	Aus (0)

# 6. Der Widerstand

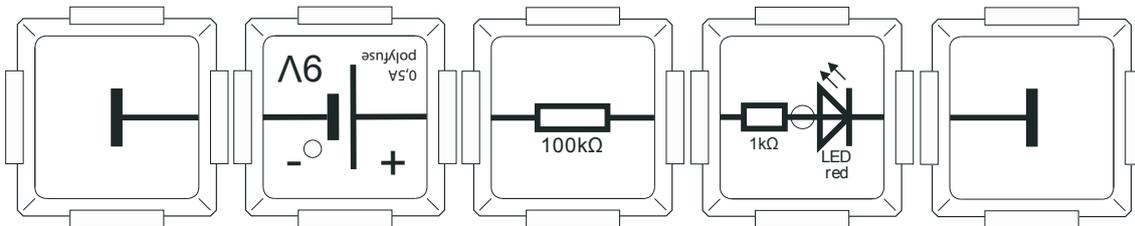
## 6.1 Berechnen des Widerstandswertes

Der elektrische Widerstand verringert den elektrischen Stromfluss. Diese Eigenschaft ist für elektronische Schaltungen unerlässlich. Durch ihn kann der Stromfluss manipuliert oder eine gewünschte Spannung eingestellt werden. Sie ist also eine gewünschte und benötigte Eigenschaft eines elektronischen Bauteiles, anders als der Name es vermuten lässt. Isolator und Supraleiter sind die Extrembeispiele für einen elektrischen Widerstand. Der Isolator hat ideell einen unendlich hohen, der Supraleiter keinen Widerstand. Der elektrische Widerstandswert wird in Ohm ( $\Omega$ ) angegeben. Hat ein Stromkreis keinen Widerstand, wäre der in ihm fließende Strom unendlich hoch, was nicht möglich ist.

Jeder Stromkreis hat, auch bei Kurzschluss, also dem direkten Ladungsaustausch zwischen Kathode und Anode der Spannungsquelle, mindestens noch deren Innenwiderstand zu überwinden. Der elektrische Strom lässt sich gut mit einem Wasserstrom durch einen Leitungsengpass darstellen. Proportional zum Durchmesser des Rohres nimmt auch die Wassermenge ab, die während eines definierten Zeitfensters hindurchfließen kann. Soll trotzdem die gleiche Menge an Wasser (im definierten Zeitfenster) den Engpass im Rohr passieren, so ist der Druck an der Eingangsseite zu erhöhen. Der Druck ist das Äquivalent zur elektrischen Spannung, der Wasserstromfluss zum elektrischen Strom und der Reibungswiderstand des Wasserrohres zum elektrischen Widerstand. Erhöht sich der Wasserdruck, fließt mehr Wasser in der gleicher Zeit durch das Rohr.

Der Wasserdruckunterschied zwischen Eingang und Ausgang des Rohres ist analog zu dem Spannungsabfall über einen elektrischen Widerstand. Die Eigenschaften Spannung ( $U$ ), Strom ( $I$ ) und Widerstand ( $R$ ) stehen in einem strengen Zusammenhang.

Es gilt die Beziehung: Spannung ( $U$ ) ist gleich dem Produkt aus Strom ( $I$ ) und Widerstand ( $R$ ):  $U=R \cdot I$ . Ein Stromfluss von 0,9A wird erreicht, wenn bei einem Widerstand von  $10\Omega$  eine Spannung von 9V anliegt. In unserer Schaltung sind die Widerstände wesentlich größer, was bei gleicher Spannung einen um das Vielfache kleineren Stromfluss zur Folge hat. ( $10\Omega$  zu  $100.000\Omega$  ergeben 0,9 Ampere zu 0,00009 Ampere bei 9 Volt)



Wird der Widerstands-Brick von  $100k\Omega$  nacheinander durch den  $10k\Omega$  Widerstands-Brick bzw. den  $1k\Omega$  Widerstandsbrick ersetzt, verändert sich der Stromfluss wie folgt:

$$I(100k\Omega) = \frac{9V}{100k\Omega + 1k\Omega} = 89,1\mu A$$

$$I(10k\Omega) = \frac{9V}{10k\Omega + 1k\Omega} = 818\mu A$$

$$I(1k\Omega) = \frac{9V}{1k\Omega + 1k\Omega} = 4,5mA$$

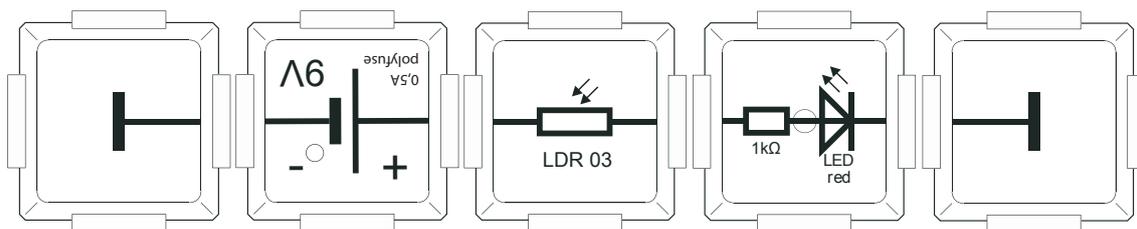
## 6.2 LDR - Lichtempfindlicher Widerstand

Unser LDR-Brick verändert seinen Widerstandswert in Abhängigkeit der Lichtintensität mit der er bestrahlt wird. Er verändert seinen Widerstand also nicht mechanisch, wie z.B. beim Potentiometer, sondern in Abhängigkeit von einer weiteren elektromagnetischen Größe, dem Licht.

Wird der LDR-Brick vom Licht bestrahlt, ändert er seinen Widerstandswert zu Gunsten der Leitfähigkeit. Der Widerstandswert wird kleiner und der Stromfluss durch ihn hindurch größer. Sein Widerstandswert erreicht einen sehr hohen Betrag von mehreren  $100\text{k}\Omega$  bei Dunkelheit, hat aber dafür bei Lichteinstrahlung einen sehr niedrigen Wert von wenigen  $100\Omega$ . Die Veränderung beträgt ungefähr das Tausendfache. In dem folgenden Experiment leuchtet die rote LED nur dann, wenn der LDR im LDR-Brick von Licht bestrahlt wird.

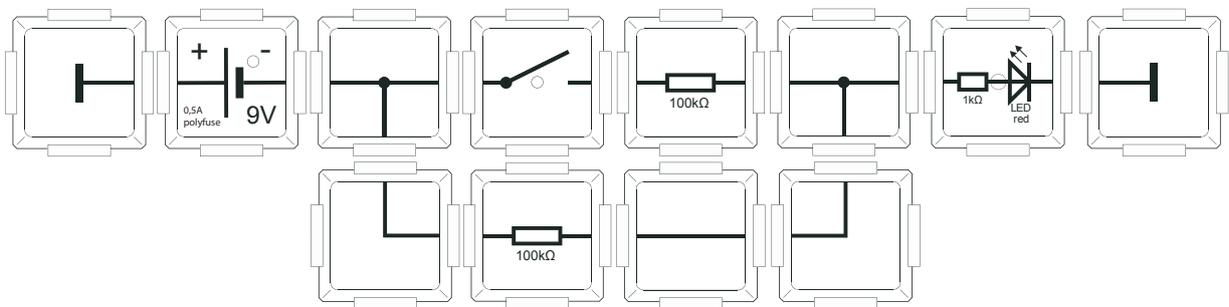
Bei Verdunkelung des LDR erlischt die LED. Der Effekt hat eine kurze Verzögerungszeit.

Der Versuch besteht, wie in untenstehender Abbildung dargestellt, aus einer reinen Serienschaltung von Stromversorgung, LDR-Brick und LED-Brick.



## 6.3 Die Parallelschaltung

In der Elektronik ist es sehr selten, dass nur reine Serien- oder Parallelschaltungen Verwendung finden. Oft sind es gemischte Schaltungen, die aus Verzweigungen von Serien- und Parallelschaltungen bestehen. In unserem folgenden Beispiel ist dies der Fall. Wir bezeichnen diesen Versuch trotzdem als Parallelschaltung, da hier nur der Stromfluss durch die nebeneinander-liegenden Widerstände untersucht wird. Die Beobachtung kann an der Leuchtintensität der zu den beiden parallel geschalteten Widerständen in Serie liegenden Leuchtdiode gemacht werden. Da beide Widerstände von je  $100\text{k}\Omega$ , den gleichen Widerstandswert besitzen, hat der Stromfluss zwei gleiche Möglichkeiten um zur LED zu gelangen. Der Gesamtwiderstand der parallelen Widerstände halbiert sich somit auf  $50\text{k}\Omega$ . Wird der Taster betätigt, steigt die Leuchtintensität der LED.



Wenn man es arithmetisch formuliert, dann werden alle Widerstandswerte reziprok addiert. Der Zusammenhang lautet:

$$\frac{1}{R(\text{ges})} = \frac{1}{R(i)} + \frac{1}{R(i+1)} + \dots + \frac{1}{R(n)}$$

durch äquivalente Umformung erhält man:

$$R(\text{ges}) = \frac{R(i) * R(i+1) * \dots * R(n)}{R(i) + R(i+1) + \dots + R(n)}$$



Der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung ist gegeben durch den Quotient aus dem Produkt der Einzelwiderstände und deren Summe.

Im vorliegenden Beispiel lautet die Rechnung bei betätigter Taste konkret:

$$R(\text{ges}) = \frac{100.000\Omega * 100.000\Omega}{100.000\Omega + 100.000\Omega} = 50.000\Omega$$

Der Gesamtwiderstand unserer Parallelschaltung beträgt  $50.000\Omega$ . Ohne Betätigung des Tasters fällt ein Pfad der Parallelschaltung aus, was bedeutet, der Gesamtwiderstand ist in diesem Fall mit  $100.000\Omega$  doppelt so groß.

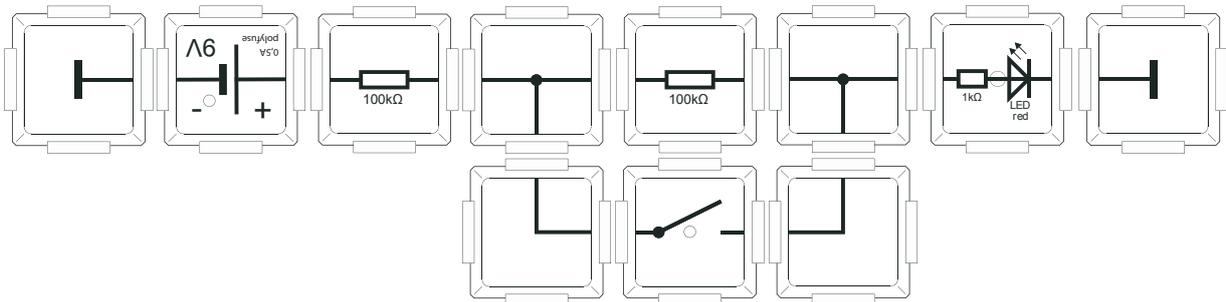
## 6.4 Reihenschaltung oder Serienschaltung

Um die Gesamtwiderstandswerte in einer Reihenschaltung und deren Auswirkung besser zu verstehen, führen wir ein weiteres Experiment durch. Dazu verwenden wir wieder die beiden  $100.000\Omega$  Widerstände. In einer Serienschaltung addieren sich die Widerstandswerte.

Es gilt:

$$R_{(ges)} = \sum_{i=1}^n R(i) = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

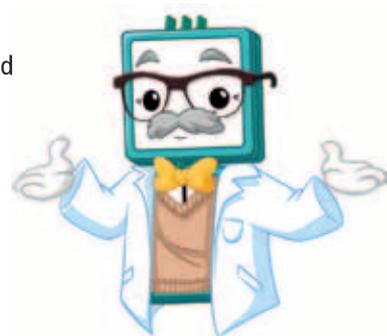
Hält man die Taste gedrückt, wird der zu ihr parallelliegende Widerstand überbrückt, so dass der Stromfluss ausschließlich durch den ersten Widerstand begrenzt wird. Die Intensität der LED nimmt zu, da der Gesamtwiderstandswert kleiner wird. Man spricht hier auch von einem kurzgeschlossenen Widerstand. Das meint aber nicht, dass der gesamte Stromkreis einen Kurzschluss erfährt.



Die Widerstandsberechnung für unser Beispiel ist sehr einfach und lautet wie folgt:

$$R_{(ges)} = 100.000\Omega + 100.000\Omega = 200.000\Omega, \text{ für den unbetätigten Taster und}$$

$$R_{(ges)} = 100.000\Omega, \text{ für den betätigten Taster.}$$

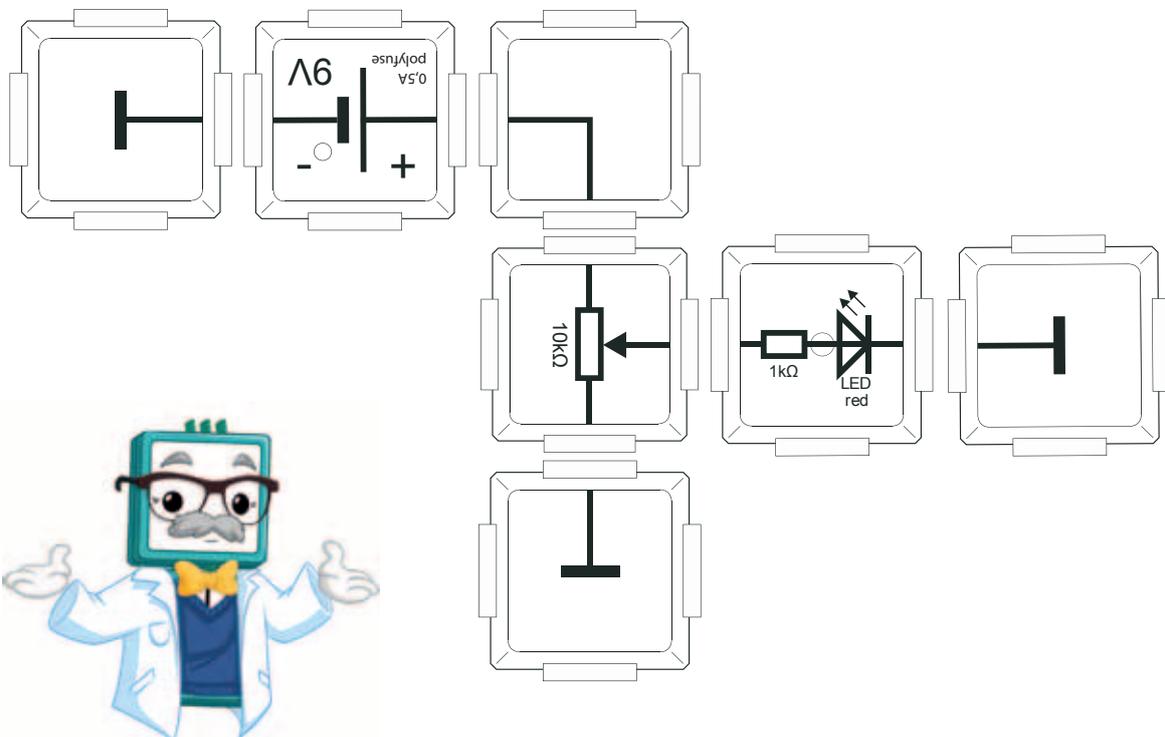


## 6.5 Das Potentiometer

In dem folgenden Versuchsaufbau verwenden wir den Potentiometer-Brick. Es fungiert hier als Spannungsteiler, daher werden alle drei Kontakte wie in untenstehender Abbildung angeschlossen. Hierbei ist unbedingt zu beachten, dass der Schleifer-Kontakt nicht an die Kathode (Plus) der Spannungsquelle und auch nicht an den Masse-Brick angeschlossen ist. In diesen Fällen besteht Kurzschlussgefahr, was zu einer Zerstörung des Potentiometer-Bricks führt. Er darf nur so verbunden werden, dass sich die Versorgungsspannung von 9 Volt in Abhängigkeit der Position des Schleifer-Kontaktes, proportional von 0 Volt bis auf 9 Volt aufteilt.

Einzig der LED-Brick darf mit dem Schleifer-Kontakt verbunden sein. Das heißt: Ist der Drehknopf ganz nach links gestellt, werden an der Anode des LED-Bricks 9 Volt anliegen und die LED leuchtet mit höchster Intensität. Ist der Drehknopf jedoch ganz nach rechts, zum Masse-Brick hin verstellt, erlischt die LED, 0 Volt liegen jetzt an. Bei exakter Mittelstellung des Drehknopfes ist die halbe Versorgungsspannung von 4,5 Volt eingestellt. Die Intensität unserer LED ist stufenlos regelbar. Interessant ist, dass eine Parallelschaltung von Potentiometer-Brick und LED-Brick vorliegt.

Der Stromfluss hat zwei Alternativen, um vom Plus-Pol der Spannungsquelle kommend, deren Minus-Pol zu erreichen. Wir haben durch unsere Masse-Bricks einen geschlossenen Stromkreis realisiert. Es fließt permanent Strom durch das Potentiometer und zeitgleich parallel dazu, durch die LED. Der Stromfluss durch den Potentiometer-Brick ist nicht zu unterbrechen. Der Stromfluss durch die LED kann ganz gestoppt werden. Das Potentiometer in unserem Bauelement ist bildlich geteilt, so wie es die Spannung auch teilt. Der Stromfluss zwischen Potentiometer-Brick und angeschlossenem Masse-Brick ist immer konstant.

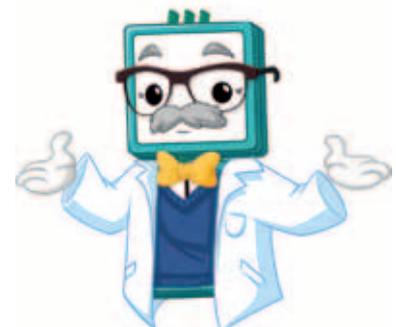
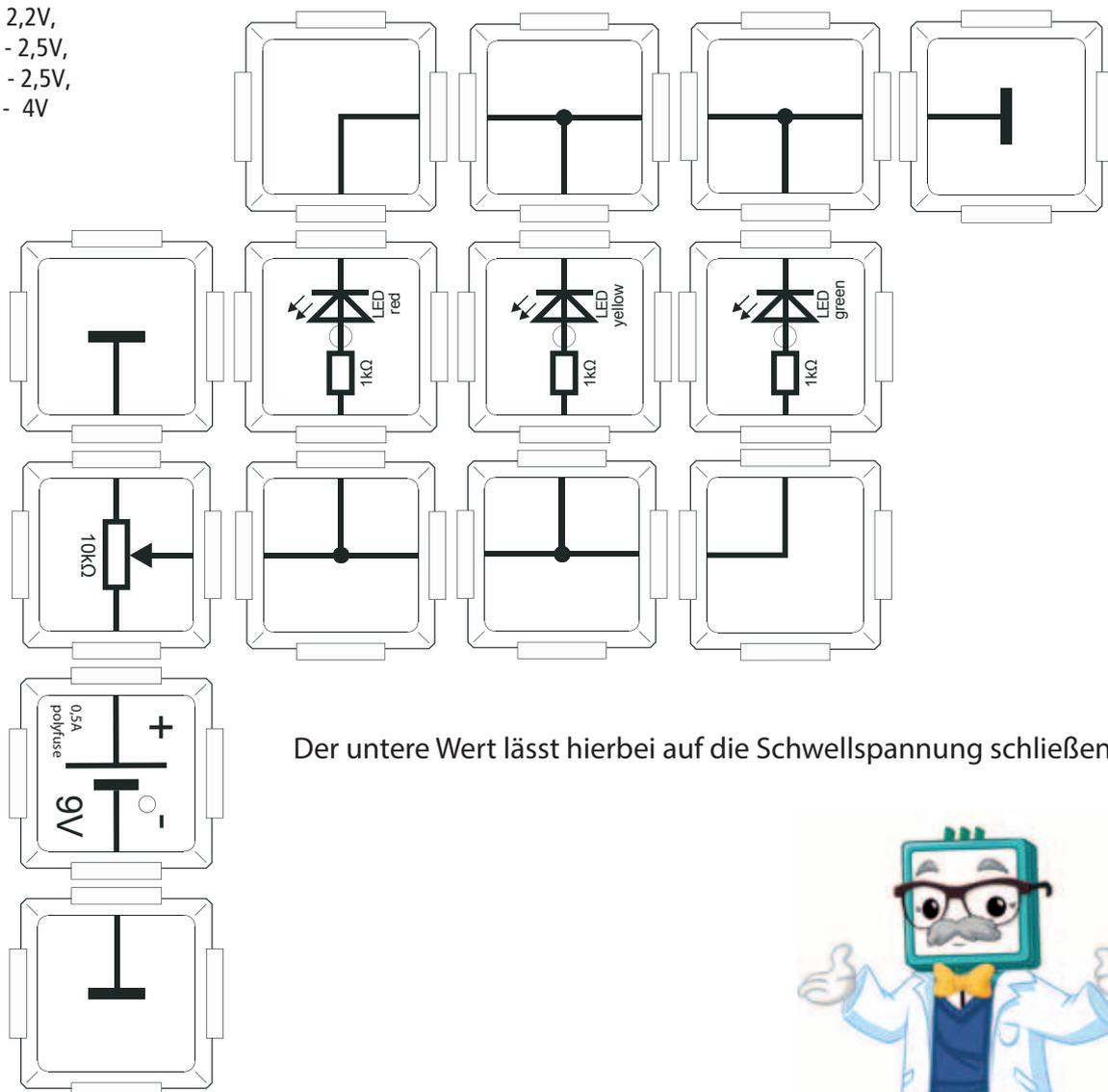


## 6.6 Die Schwellspannung

Die Schwellspannung ist ein Begriff, der in der Elektronik bei Halbleiter-Elementen Verwendung findet. Im Elektronikset finden u.a. mit den LED-Bricks und den Transistor-Bricks Halbleiter-Elemente Verwendung. Die Schwellspannung beschreibt den Wert der angelegten Spannung der überschritten werden muss, um beispielsweise einen Halbleiter zu betreiben. In dem folgenden Versuch bauen wir eine Schaltung auf, in der wir die Leuchtdioden durch Überschreiten der Schwellspannung zum Leuchten bringen. Wir bestimmen diese durch die Stellung des Drehknopfes an unserem Potentiometer-Brick. Der Drehknopf ist in dem untenstehenden Beispiel zuerst ganz nach links und dann langsam nach rechts zu drehen. Es ist zu beobachten, dass erst die rote LED und bei vorschreitendem Drehvorgang die weiteren LEDs zu leuchten beginnen. Das Potentiometer fungiert hier, wie auch im vorangegangenen Versuch, wieder als Spannungsteiler. Auch hier ist wieder unbedingt darauf zu achten, dass der Schleifer-Kontakt wie in der Abbildung ersichtlich, nur an die LED-Bricks angeschlossen werden darf. Andernfalls besteht Kurzschlussgefahr und die Gefahr der Zerstörung des Potentiometer-Bricks. Ist der Drehknopf auf Ausgangsposition, also links am Anschlag, liegt keine Spannung an. Steht er rechts am Anschlag, ist die höchstmögliche Spannung von 9 Volt erreicht und die Intensität der Leuchtdioden am höchsten.

Für Niedrig-Strom-LEDs (2mA) liegt die Betriebsspannung, in Abhängigkeit der Farbe, der im Set verwendeten LEDs bei den folgenden Werten:

- Rot 1,5 - 2,2V,
- Gelb 1,7 - 2,5V,
- Grün 1,7 - 2,5V,
- Blau 2,7 - 4V



# 7. Kondensator

## 7.1 Laden und Entladen mit einem 1µF Kondensator

In der folgenden Schaltung wird ein Kondensator der Kapazität 1µF geladen und wieder entladen. Der Ladevorgang ist bei Schalterstellung 2 realisiert und der Entladevorgang bei Schalterstellung 1.

Die Energie, die dabei auf den Kondensator gebracht wird, ist mit:

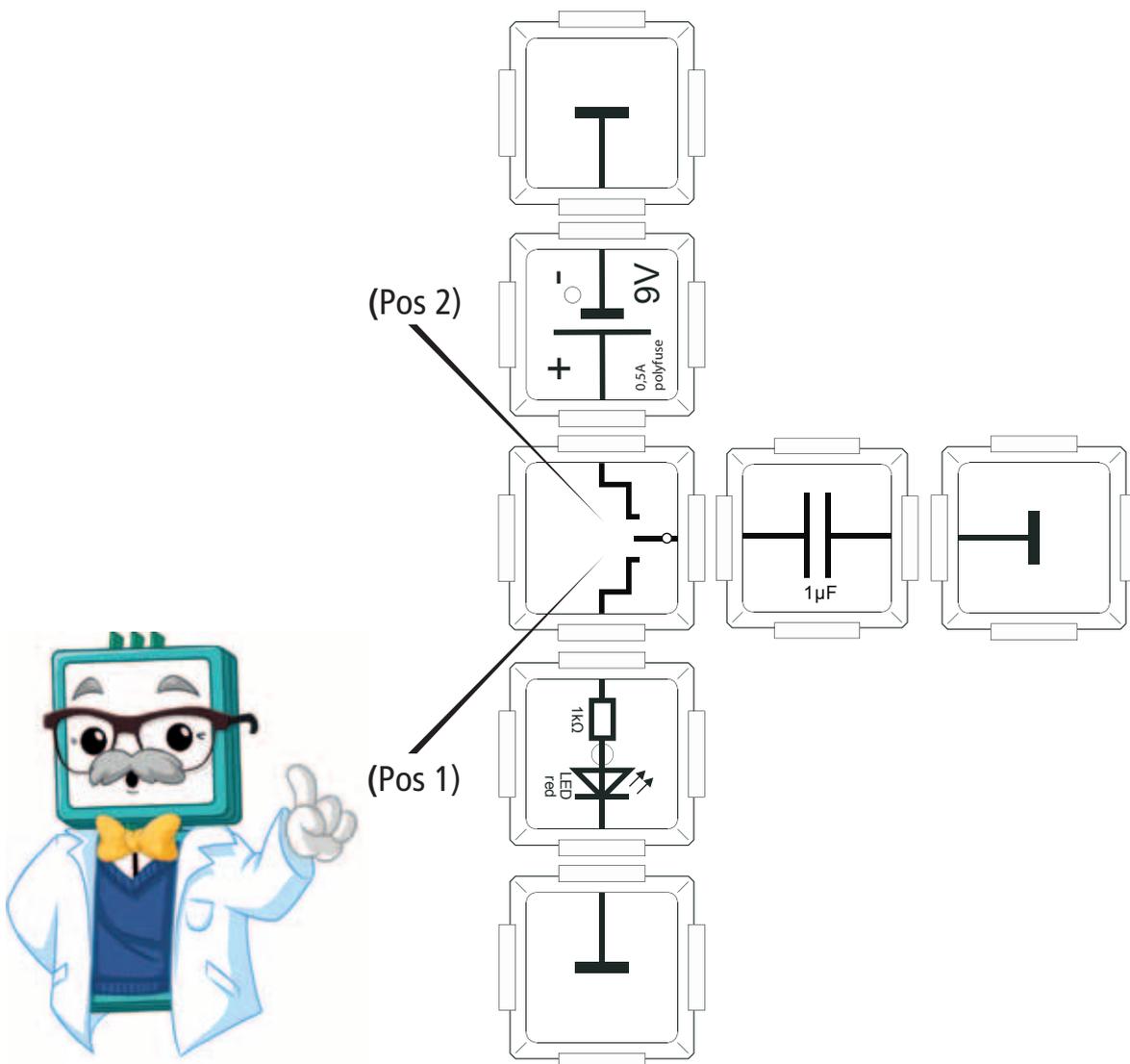
$$E = \frac{1}{2} * C * U^2 = \frac{1}{2} * 1\mu A * (9V)^2 = 40,5\mu\text{Joule}$$
 sehr gering. Die Entladezeit wird durch eine Exponentialfunktion

beschrieben, kann aber auch näherungsweise durch

$$t = 5 * C * R = 5 * 1\mu F * 1k\Omega = 5ms$$
 bestimmt werden.

Daher leuchtet die LED nur kurz auf, wenn der Kondensator über sie entladen wird. Die Lade- bzw. Entladezeit für den vollständigen Prozess ist unendlich, daher wird die Zeit bestimmt, bei der der Kondensator zu ca. 99% aufgeladen bzw. zu 99% entladen ist.

Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.



## 7.2 Kondensator mit 10µF

Dieser Versuchsaufbau entspricht bis auf den Kondensator exakt dem aus Kap. 7.1. Ziel ist es wiederum den Kondensator (diesmal mit der Kapazität 10µF) zu laden und zu entladen. Der Ladevorgang ist bei Schalterstellung 1 realisiert und der Entladevorgang bei Schalterstellung 2. Die Energie, die dabei auf den Kondensator gebracht wird, ist mit:

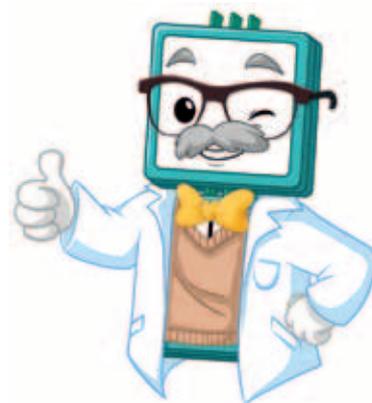
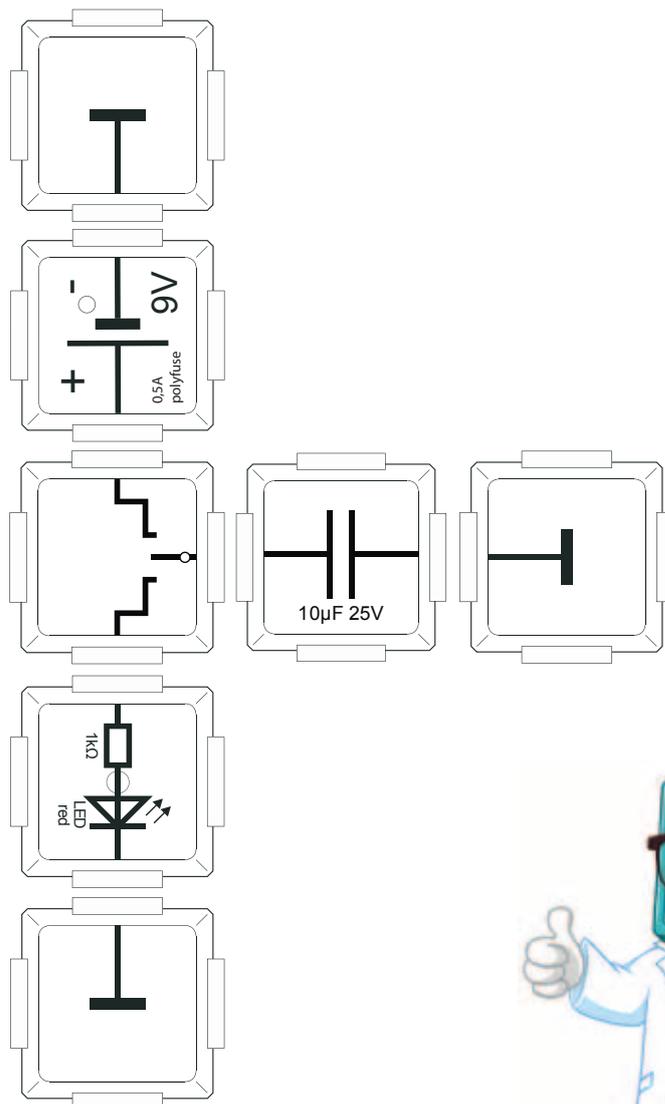
$$E = \frac{1}{2} * C * U^2 = \frac{1}{2} * 10\mu\text{A} * (9\text{V})^2 = 405\mu\text{Joule} \text{ sehr gering, aber um das Zehnfache größer als im letzten Versuch.}$$

Die Lade- bzw. Entladezeit wird durch eine Exponentialfunktion beschrieben, können aber auch näherungsweise durch

$$t = 5 * C * R = 5 * 10\mu\text{F} * 1\text{k}\Omega = 50\text{ms} \text{ bestimmt werden.}$$

Da der Kondensator hier die zehnfache Kapazität besitzt, leuchtet die LED nun länger auf als im vorangegangenen Beispiel.

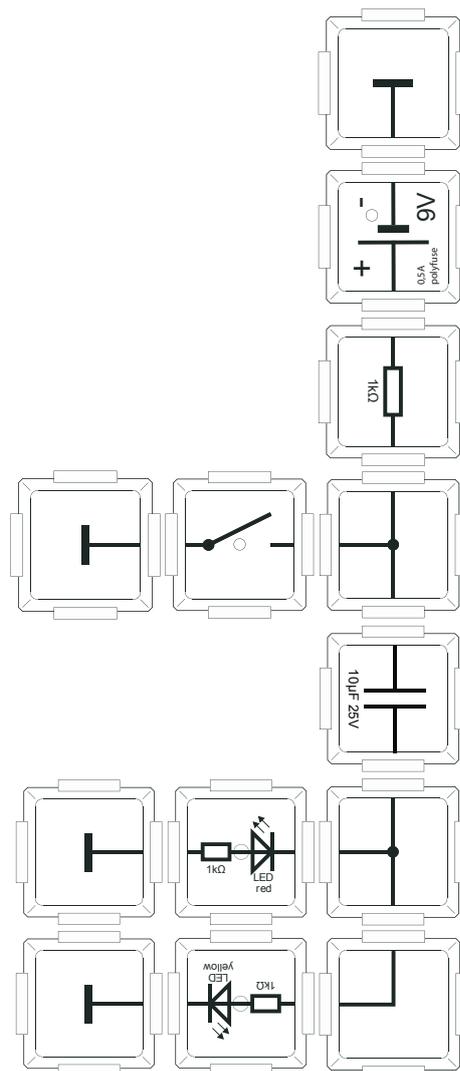
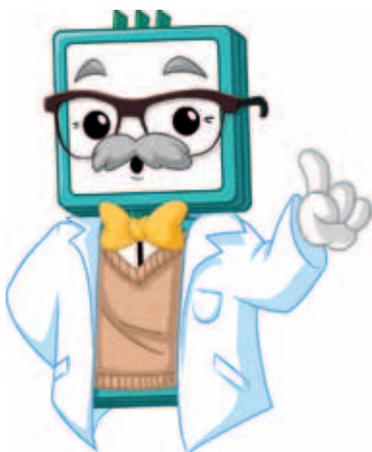
Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.



## 7.3 Kondensator umladen

Die Handhabbarkeit einer elektronischen Schaltung ist ein wichtiges Kriterium bei deren Entwurf. Es ist anschaulich besser z.B. nur einen Schalter bedienen zu müssen um eine Funktion zu steuern, als zwei oder mehrere. In unserer folgenden Schaltung ist der Kondensator dauerhaft in eine Schaltung eingebracht und wird nur bei geschlossenem Taster entladen. Dazu werden die antiparallel geschalteten LED-Bricks, wie in der Abbildung verdeutlicht, so in den Stromkreis eingebracht, dass sie mit dem  $10\mu\text{F}$ -Kondensator und  $1\text{k}\Omega$ -Widerstand in Serie liegen. Daher kann der Lade- bzw. Entladevorgang durch ein kurzes Aufleuchten der gelben bzw. roten LED veranschaulicht werden. Wird jetzt eine Spannung über die Spannungsquelle angelegt, leuchtet die gelbe LED solange kurz auf, bis der Kondensator geladen ist und sein Widerstand im Gleichstromkreis unendlich hoch wird. SchlieÙe ich jetzt die Verbindung gegen Masse durch das Betätigen des Tasters, wird der Kondensator augenblicklich entladen und die rote LED leuchtet kurz auf. Wird der Taster in kurzer Folge gedrückt und wieder losgelassen, blinken die LEDs abwechselnd auf. Der  $1\text{k}\Omega$ -Widerstand ist hier sehr wichtig, da er einen Kurzschluss der Batterie verhindert.

Die Stromrichtung kehrt sich, in Bezug zum Aufladen, beim Entladen um.



# 8. Induktivität

## 8.1 Laden und Entladen einer Spule

Eine Spule besitzt ähnliche Eigenschaften wie ein Kondensator. Auch sie kann Energie speichern, aber nicht, wie der Kondensator, mit Hilfe eines elektrischen Feldes, sondern eines Magnetfeldes. Daher kann der Lade- und Entladevorgang so ähnlich wie beim Kondensator beschrieben werden. Es zeigt sich, dass im Gegensatz zum Kondensator, wo die Spannung das entscheidende Kriterium ist, diesmal der Stromfluss ausschlaggebend ist. Beide Bauelemente verhalten sich sozusagen komplementär zueinander.

In der folgenden Schaltung wird eine Spule mit der Induktivität 10mH geladen und wieder entladen. Der Ladevorgang ist bei betätigtem Schalter realisiert und der Entladevorgang nach seinem Öffnen. Die Energie, die dabei auf die Spule gebracht wird, ist mit

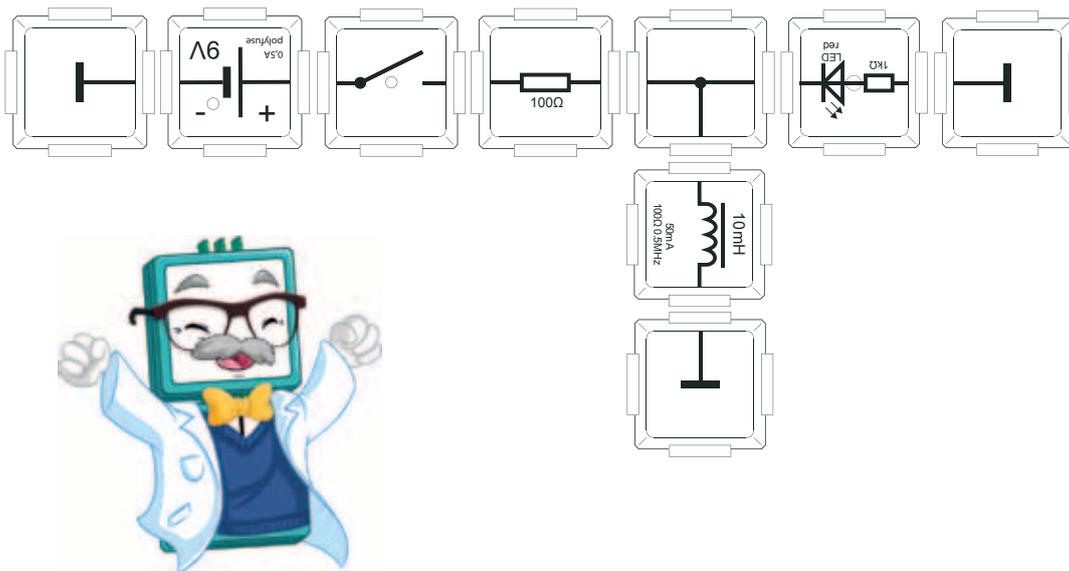
$$E = \frac{1}{2} * L * I^2 = \frac{1}{2} * 10mH * \left(\frac{9V}{200\Omega}\right)^2 = 10,125\mu\text{Joule} \text{ sehr gering.}$$

Die Entladezeit wird durch eine Exponentialfunktion beschrieben, kann aber auch näherungsweise durch

$$t = 5 * \frac{L}{R} = 5 * \frac{10mH}{1100\Omega} = 45,5\mu\text{s} \text{ bestimmt werden.}$$

Beim Schließen des Tasters bleibt die LED dunkel, da sie in Sperrrichtung gepolt ist. Öffnet der Taster den Stromkreis wieder, versucht die Spule den Stromfluss aufrecht zu erhalten. Somit kommt ein Stromfluss in Gegenrichtung zustande und die LED leuchtet kurz auf.

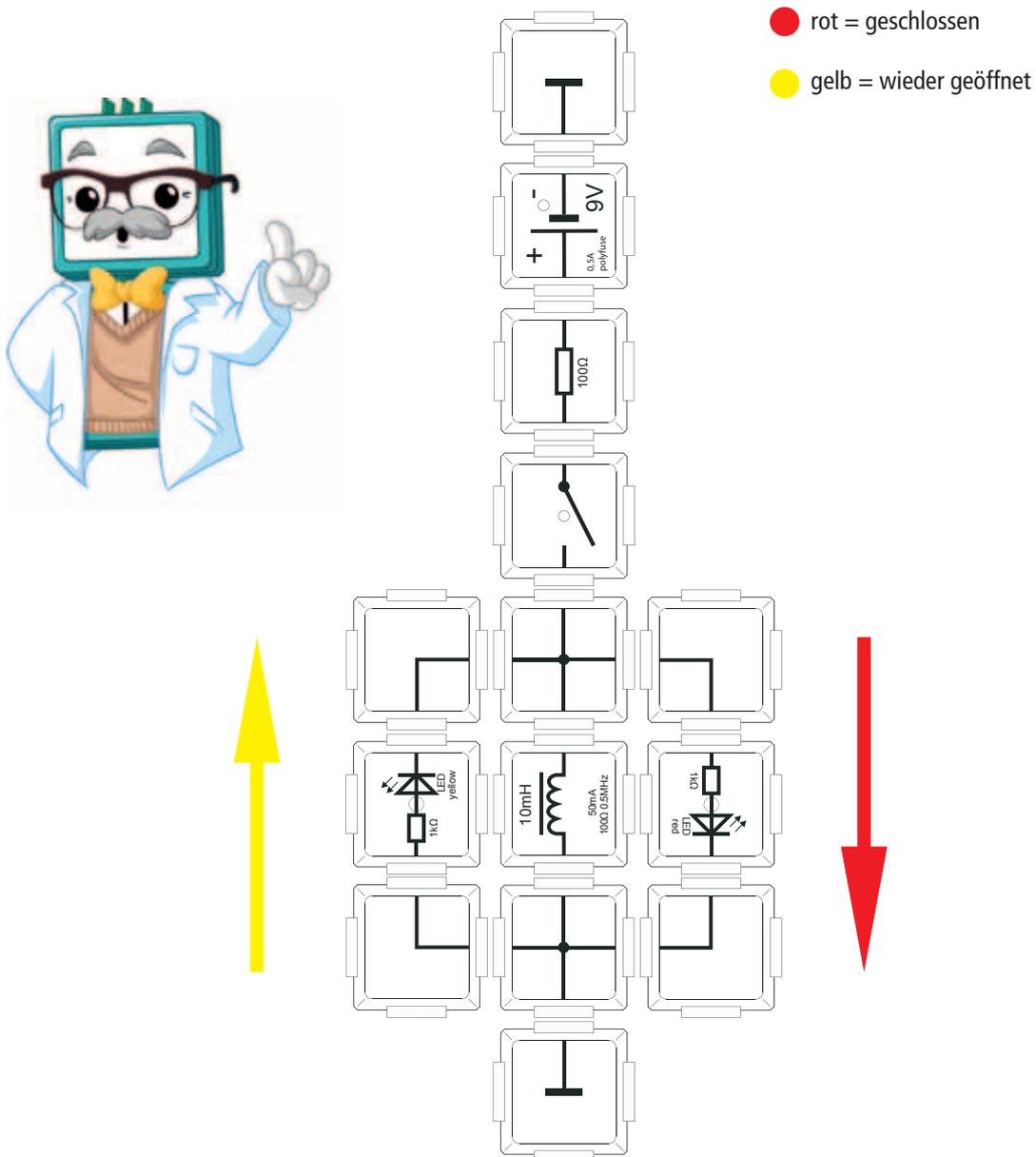
Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.



## 8.2. Induktion

Um den Lade- und Entladevorgang besser zu zeigen, bauen wir eine Schaltung auf, in der das Laden durch eine rote LED signalisiert wird und das Entladen durch eine gelbe LED. Durch das Betätigen des Tasters, wird an der Spule ein Magnetfeld aufgebaut, das sich beim Loslassen des Tasters wieder umkehrt. Somit erfolgt ein Stromfluss in entgegengesetzter Richtung. Diese Stromrichtungsänderung kann durch die Änderung des Stromes beschrieben werden. Beim Laden der Spule findet, mit Anheben des Stromes von 0mA auf 45mA, eine positive Änderung statt. Es wird also ein positives Magnetfeld erzeugt.

Beim Öffnen des Stromkreises erfolgt aber, mit der Änderung von 45mA auf 0mA, eine Umpolarisierung in entgegengesetzter Richtung. Es entsteht daher ein entgegengesetztes Magnetfeld und es fließt ein Strom in entsprechende Richtung. Der rote Pfeil zeigt die Stromrichtung bei geschlossenem Stromkreis, der gelbe Pfeil bei geöffnetem, wobei die gelbe LED kurz aufleuchtet

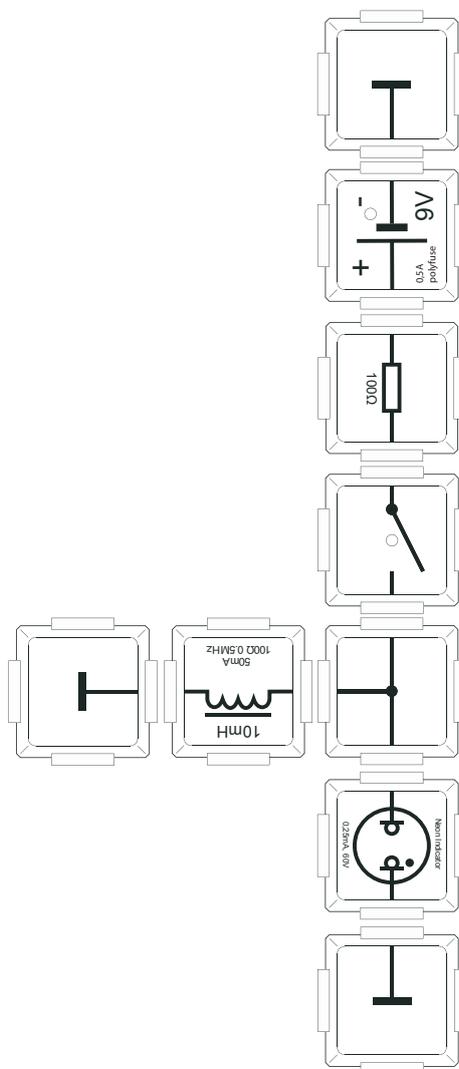


## 8.3 Induktionsspannung

Die Spule ist in der Lage sehr hohe Spannungen zu erzeugen, man spricht hier von der Induktionsspannung. Diese tritt immer dann auf, wenn der Stromfluss durch die Spule eine Änderung erfährt. Je schneller diese Änderung erfolgt, desto höher ist die induzierte Spannung. Dabei können Spannungen von mehreren 100V auftreten, da die Änderung nur beim Schalten, in sehr kurzer Zeit erfolgt. Auch hier gibt es eine Ähnlichkeit zum Kondensator: schließt man diesen kurz, kann ein hoher Strom gemessen werden.

Die Menge an Energie in unserer Spule ist zwar gesundheitsungefährlich gering, aber es ist trotzdem mit Vorsicht vorzugehen, um keinen elektrischen Schlag zu erhalten. In diesem Versuch wird eine Glimmlampe, die eine hohe Betriebsspannung von ca. 70 Volt hat, zum kurzen Aufleuchten gebracht, wenn der Taster wieder geöffnet wird.

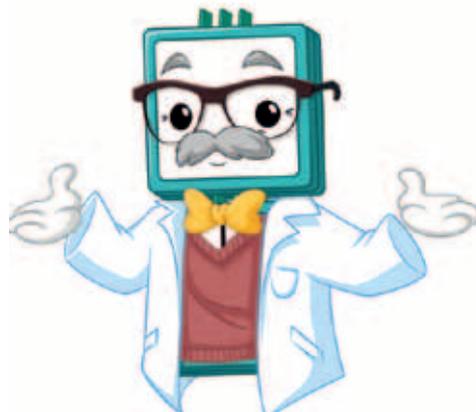
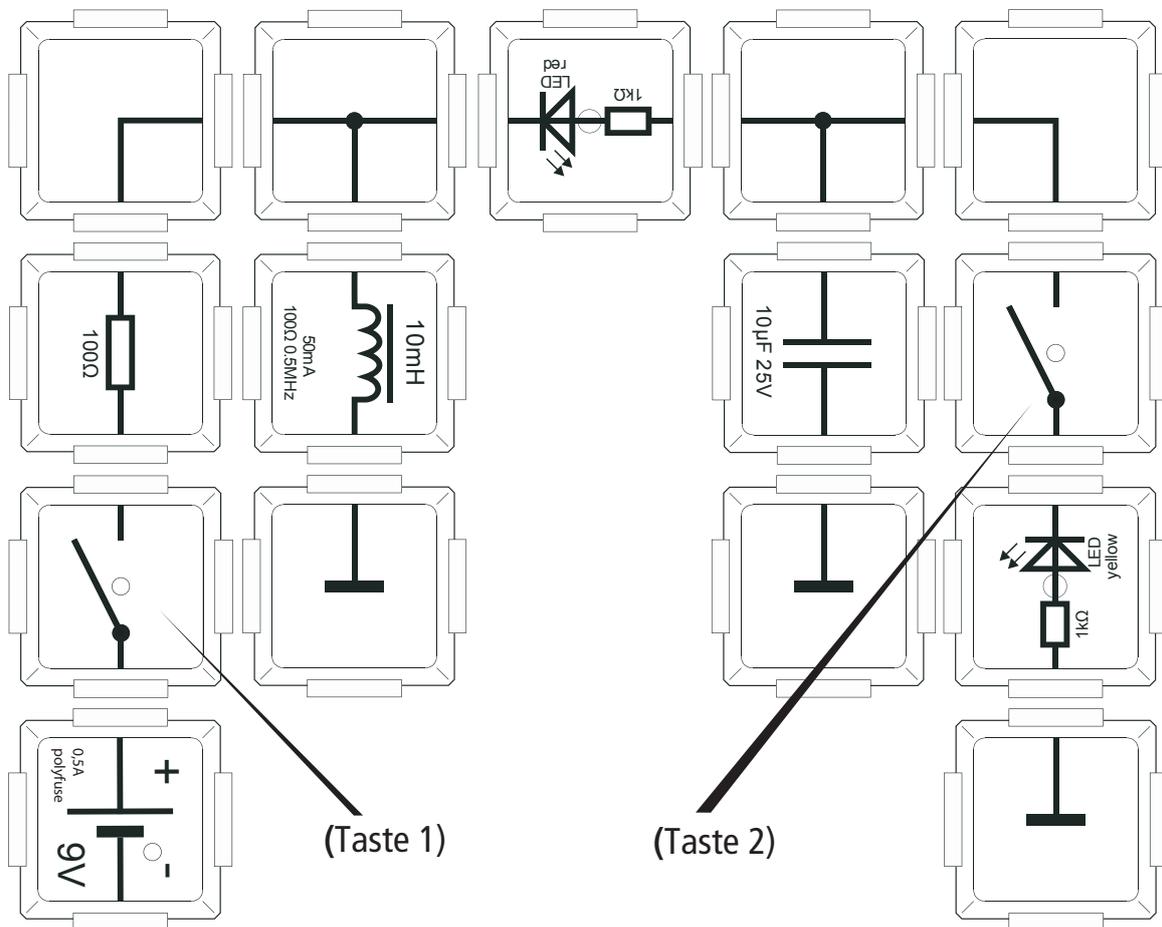
Dazu ist der Raum unbedingt abzudunkeln, denn die Auswirkung ist sehr gering!



## 8.4 Energy Harvest

Energy Harvesting (Energieernten) bezeichnet die Energiegewinnung in kleinsten Mengen. Im nun folgenden Versuchsaufbau wird die elektrische Energie von der Spule zu einem Kondensator transportiert. Die Ladung wird im ersten Schritt auf die Spule, beim Schließen von Taster 1, gebracht. Und dann, nach dessen Öffnen, über die rote LED auf dem Kondensator solange gespeichert, bis der Taster 2 geschlossen wird und die gelbe LED kurz aufleuchtet. Der Transport der Energie von der Spule zum Kondensator ist durch ein kurzes Aufleuchten der roten LED zu beobachten und deren Weitertransport, vom Kondensator zur Masse, ist an der gelben LED zu erkennen.

Hinweis: Der Taster 1 muss mehrmals betätigt werden um den Kondensator so aufzuladen, dass die gelbe LED auch sichtbar leuchtet.

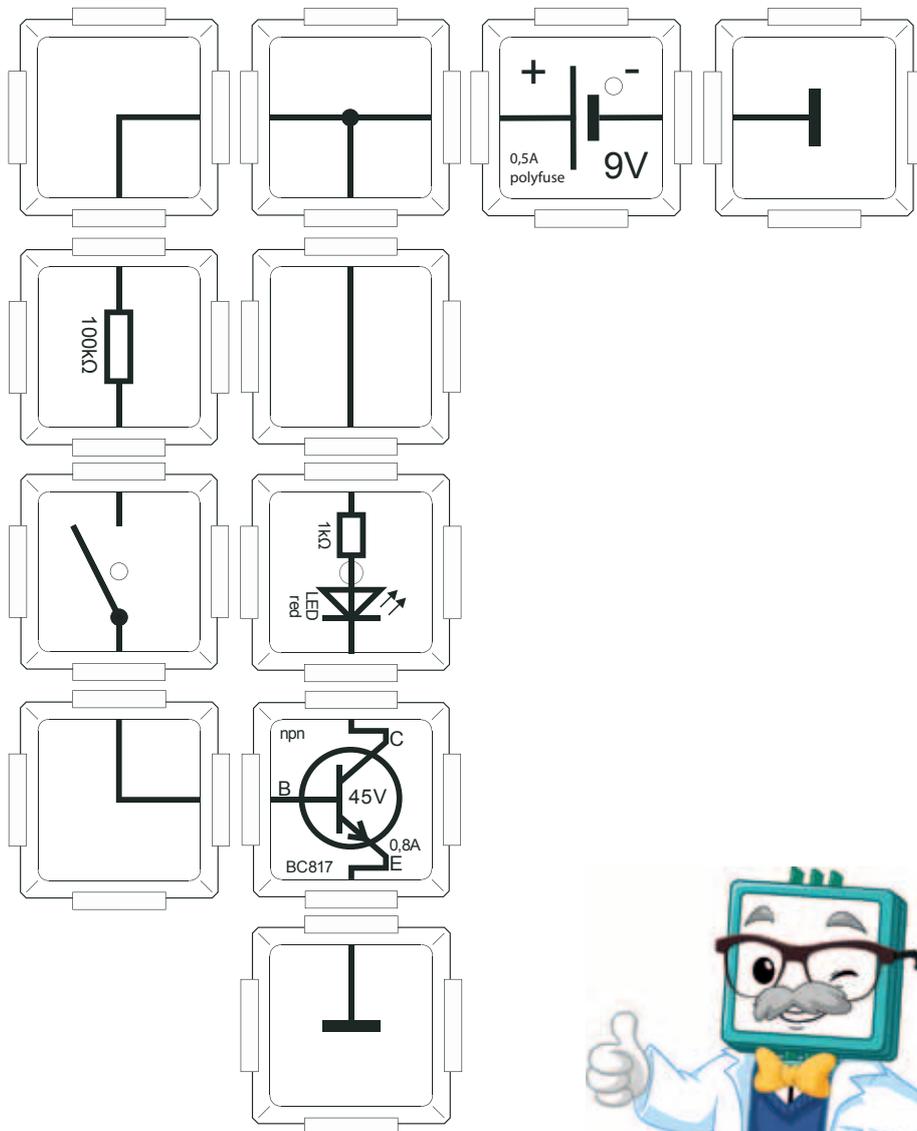


# 9. Transistoren

## 9.1 Der Transistor als Schalter

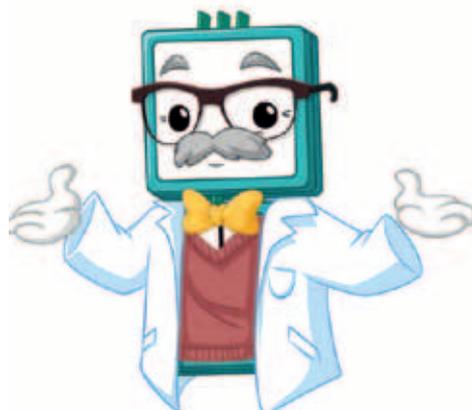
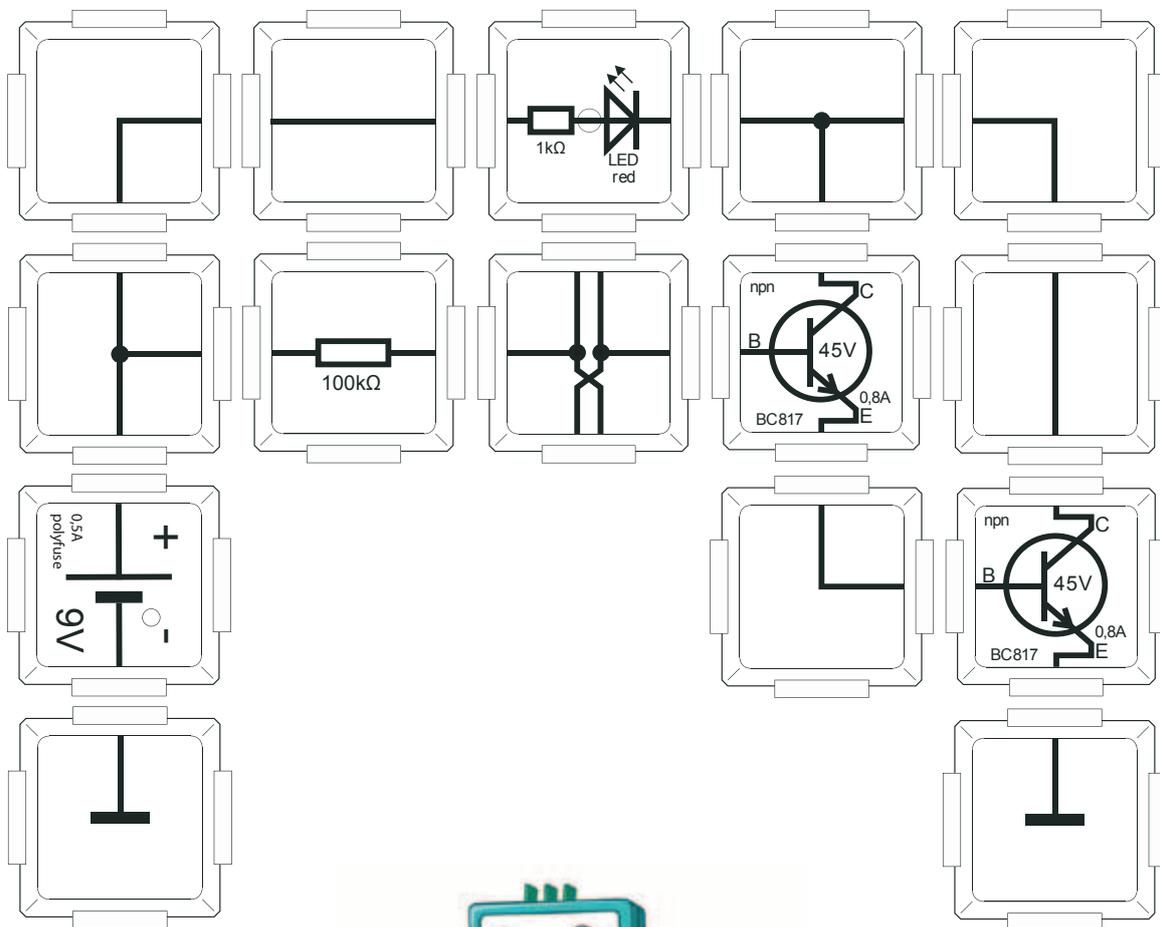
Dieser Versuchsaufbau veranschaulicht die klassische Funktionsweise des Transistors als Schalter. Der Transistor ist ein Halbleiterbaustein, der einen Stromfluss zwischen dem Kollektor (C) und dem Emitter (E) ermöglicht, wenn am Basiskontakt (B) eine Spannung anliegt. Der Basisstrom ist dabei um ca. ein Hundertstel geringer als der Kollektorstrom. Transistoren haben eine stromverstärkende Eigenschaft. Die Verstärkung wird über einen Vergleich des Basisstromes mit dem Kollektorstrom bestimmt. Da sie als elektronische Schalter sehr schnell reagieren, werden sie auch zur Verstärkung von Frequenzen eingesetzt. Die abgebildete Schaltung wird als Emitterschaltung bezeichnet, da der Emitter-Kontakt an Null-Volt/Masse angeschlossen ist. Ist der Schalter an der Basis geschlossen, leuchtet die rote LED. Der Basisstrom ermöglicht einen Stromfluss zwischen Kollektor und Emitter, da er Ladungsträger zwischen die beiden n-dotierten Schichten im Transistor bringt. In diesem Versuch wird ein npn-Transistor verwendet, daher ist die Basis in die p-dotierten Schicht eingebracht.

Achtung: Halbleiter sind empfindliche Bausteine. Der Transistor wird zerstört, wenn die Basis (B) direkt mit der Batterie verbunden wird.



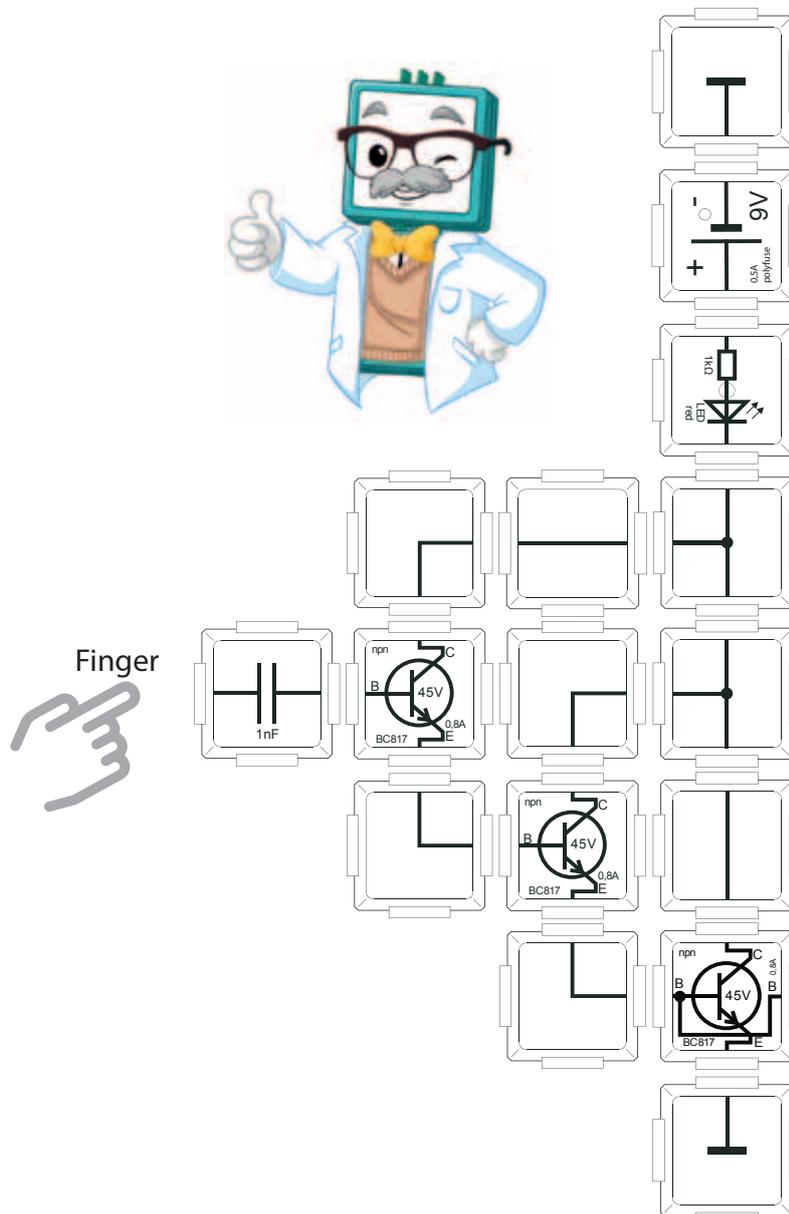
## 9.2 Touch-Sensoren mit Transistoren in Darlingtonschaltung

Die Darlingtonschaltung besteht aus zwei zusammenschalteten Transistoren. Die Funktionsweise kann durch eine Kaskade beschrieben werden, bei der der erste Transistor als Vorverstärker des zweiten Transistors dient. Der somit erreichte Verstärkungsfaktor ist näherungsweise das Produkt der beiden einzelnen Verstärkungen der verwendeten Transistoren. Um die rote LED zum Leuchten zu bringen, genügt an der Basis ein Stromfluss von nur wenigen Mikroampere. Die erreichte Stromverstärkung ist so groß, dass ein Anlegen der Fingerspitze außen an unseren getrennt gekreuzten Brick genügt, um über den 100k $\Omega$ -Widerstand und die Fingerspitze einen, für das Leuchten der roten LED, ausreichend großen Stromfluss zu realisieren. Sie brauchen sich um Ihre Gesundheit nicht zu fürchten, da die Wirkung des Stromes nicht spürbar ist



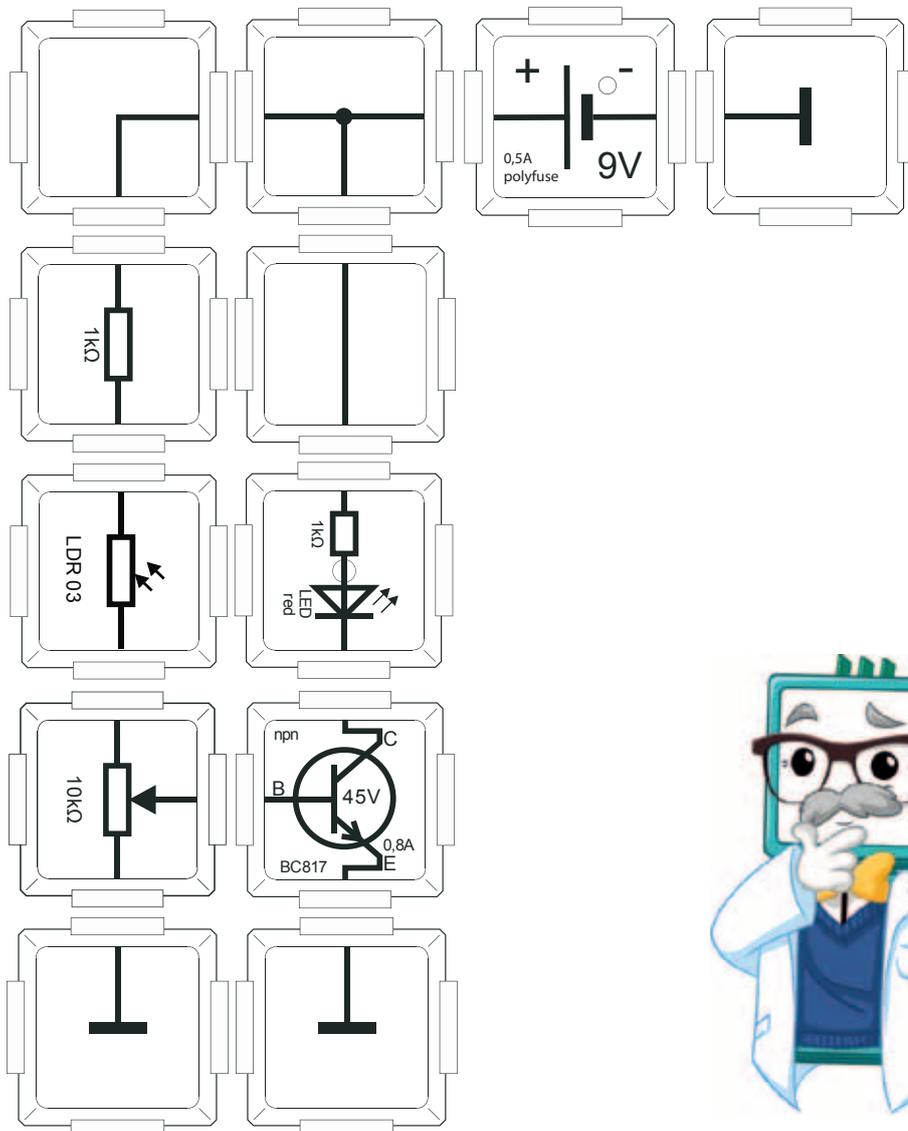
## 9.3 Capacitive Touch in Darlingtonschaltung

Die Kaskade aus Schaltung 9.2 wird jetzt um einen Transistor erhöht, so dass die erreichte Verstärkung (ca. 1.000.000-fach) so hoch ist, dass ein Kondensator als Wechselstromwiderstand ausreicht, um die rote LED zum Leuchten zu bringen. Den Kondensator im Gleichstromkreis haben wir bereits kennengelernt, dort ist er nach vollendetem Laden ein unendlich hoher Widerstand, so dass über ihn kein Stromfluss mehr erfolgen kann. Was ist aber, wenn eine Wechselspannung an ihm anliegt? Er wird hier im schnellen Wechsel von Lade- und Entladevorgang permanent "beansprucht", so dass ein Wechselstromfluss über ihn möglich ist. Der Widerstand eines Kondensators ist dann von seiner Kapazität und der Frequenz der Wechselspannung abhängig. Je höher Frequenz und Kapazität sind, desto niedriger ist sein Widerstand. Woher beziehen wir die Wechselspannung? Diese liegt überall dort an, wo wir ein Netzteil mit der normalen Netzfrequenz von 50Hz betreiben. Dieser sehr kleine Wechselstromfluss findet zwischen dem Strom zur Verfügung stellenden Kraftwerk, dem Netzteil und dem Fussboden statt. Die Gesamtverstärkung der drei Transistoren ist groß genug, um den Strom von einigen Nanoampere so zu verstärken, dass die rote LED leuchtet, wenn wir den Finger an die offene Seite des Kondensator-Bricks legen. Die Kaskade kann auch durch spontan auftretende Elektrostatik ausgelöst werden, aber dann leuchtet die LED nur kurz auf. Auch hier besteht keine Gesundheitsgefahr, da die Spannung sehr gering ist!



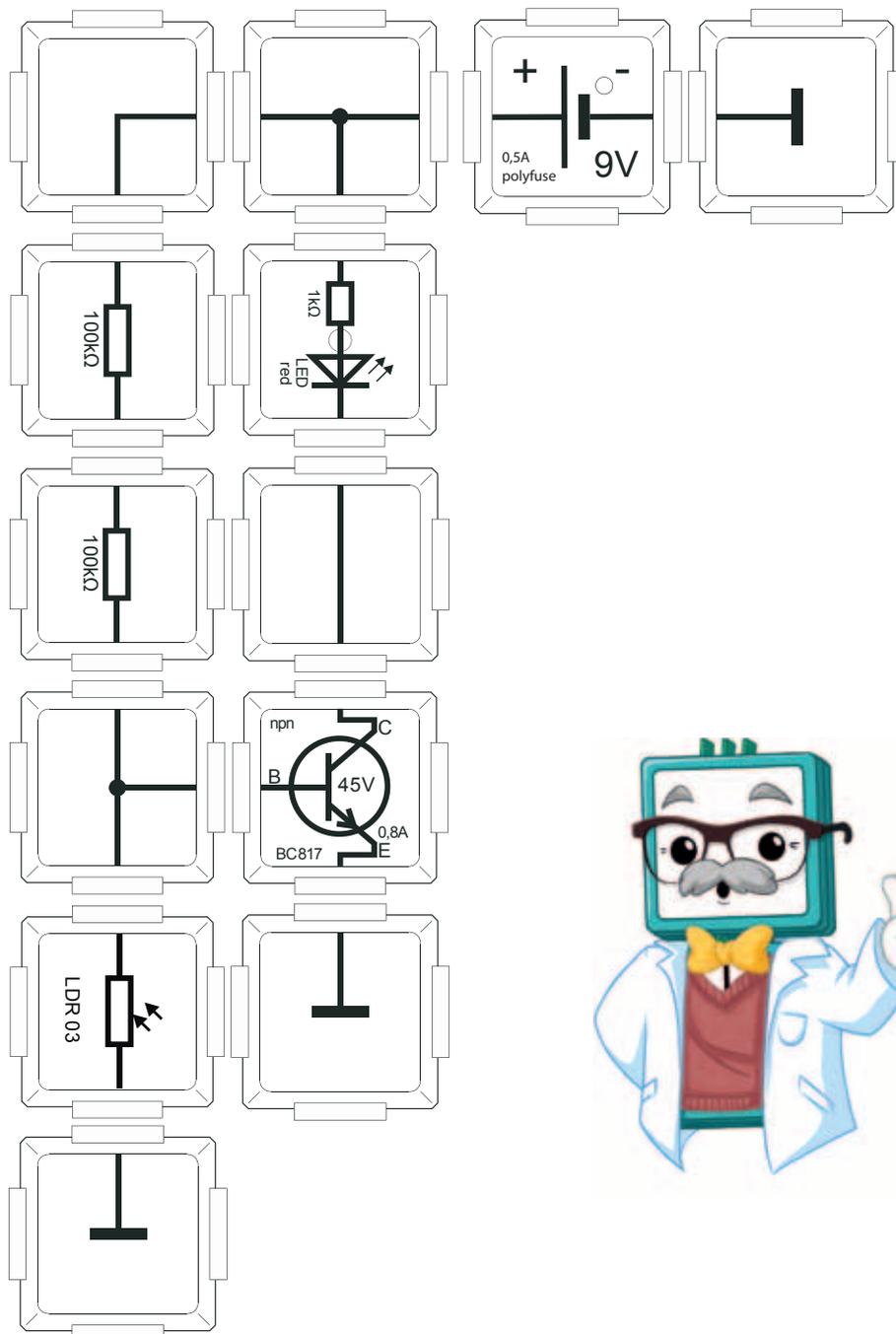
## 9.4 LDR und Transistor

Unser LDR-Brick verändert seinen Widerstandswert in Abhängigkeit der Lichtintensität mit der er bestrahlt wird. Er verändert seinen Widerstand also nicht mechanisch, wie ein Potentiometer, sondern in Abhängigkeit von einer elektromagnetischen Größe, dem Licht. Wird der LDR-Brick mit Licht bestrahlt, ändert er seinen Widerstandswert zu Gunsten der Leitfähigkeit, der Widerstandswert wird kleiner und der Stromfluss durch ihn hindurch größer. Sein Widerstandswert erreicht einen sehr hohen Betrag von mehreren  $100\text{k}\Omega$  bei Dunkelheit, hat aber dafür bei Lichteinstrahlung einen sehr niedrigen Wert von wenigen  $100\Omega$ . Die Veränderung beträgt also ungefähr das Tausendfache. Das Potentiometer ist in Serie zum LDR geschaltet, damit kann über seinem Mittelabgriff die Schwellspannung eingestellt werden, bei der die rote LED zu leuchten beginnt. Ist der Drehknopf des Potentiometers an den linken Anschlag gedreht, steuert der Transistor nicht durch und die LED erlischt, am rechten Anschlag jedoch, schaltet der Transistor ein und die LED leuchtet unabhängig von der Lichtstärke. Das Optimum für das Umgebungslicht kann dazwischen gefunden werden.



## 9.5 LDR in Dunkelschaltung mit Transistor und Widerstand

Wie schon im Versuch 9.4 ist es wenig sinnvoll ein Leuchtmittel zusätzlich zum Umgebungslicht zu betreiben. Es ist vielmehr notwendig das Licht einzuschalten, wenn das Umgebungslicht zu gering geworden ist, um die Umgebung ausreichend wahrzunehmen. Hierfür haben wir in der nun folgenden Schaltung den LDR-Brick gegen Masse geschaltet, was genau die gewünschte Funktion bewirkt. Der Widerstandswert in unserem LDR nimmt bei zunehmender Umgebungslichtstärke ab und der Spannungsteiler von 100k $\Omega$ -Widerstand und LDR bewirkt, dass am Basis-Kontakt des Transistors kaum ein Stromfluss aufkommt. Es fällt fast die gesamte Spannung von 9V über dem 100k $\Omega$ -Widerstand ab. Es bleiben ungefähr 0,09V übrig, wenn der LDR einen Widerstandswert von 100 $\Omega$  hat. Das genügt nicht um den Transistor an seinem Basis-Kontakt durchzuschalten. Es kommt also auch kein Kollektor-Emitter-Stromfluss auf, die rote LED erlischt. Ist dagegen bei Dunkelheit der Widerstandswert des LDR sehr hoch, teilt sich die Spannung von 9V ungefähr zu gleichen Teilen auf beide Widerstände auf. Es fließt ein Basisstrom, der wiederum ein Stromfluss im Arbeitsstromkreis zwischen Kollektor und Emitter ermöglicht. Die rote LED in unserem LED-Brick beginnt zu leuchten. Man spricht hier von einer automatischen Nacht- oder Dämmerungsschaltung.

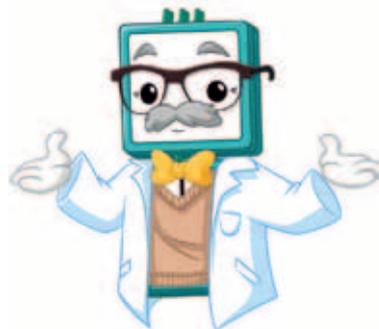
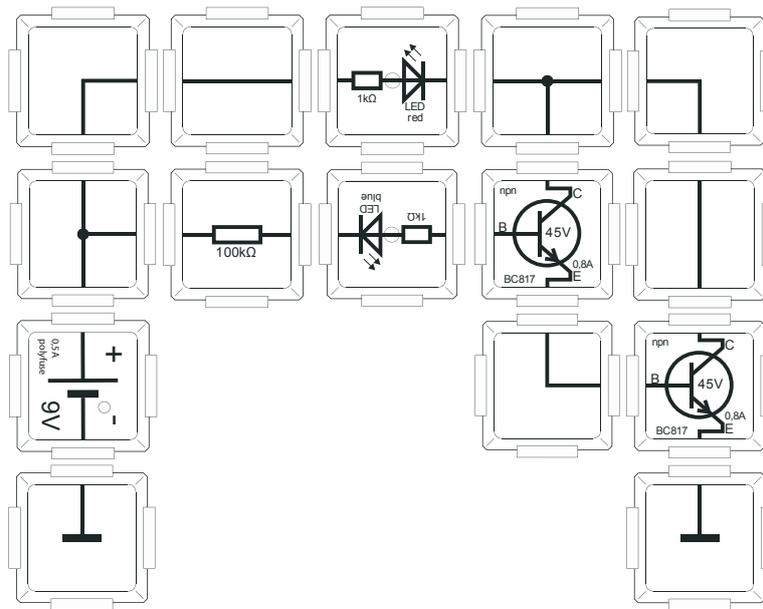


## 9.6 LED als Photodiode

In einer LED wird Licht durch die Rekombination von Elektronen erzeugt, die im Moment der Wiedereinordnung in das Valenzband ein Lichtquant in Form eines Photons abgeben. Dieser Prozess ist umkehrbar: So werden Elektronen nur durch einfallendes Umgebungslicht aus dem Valenzband gelöst und ermöglichen einen sehr geringen Stromfluss zwischen den Sperrschichten. Dieser Effekt ist anschaulich um ein Vielfaches schwächer als der, des umgekehrten, normalen Betriebs einer LED.

Damit wir diesen physikalischen Vorgang beobachten können, muss wieder eine Darlington-Schaltung mit zwei Transistoren und somit sehr hoher Verstärkung, verwendet werden.

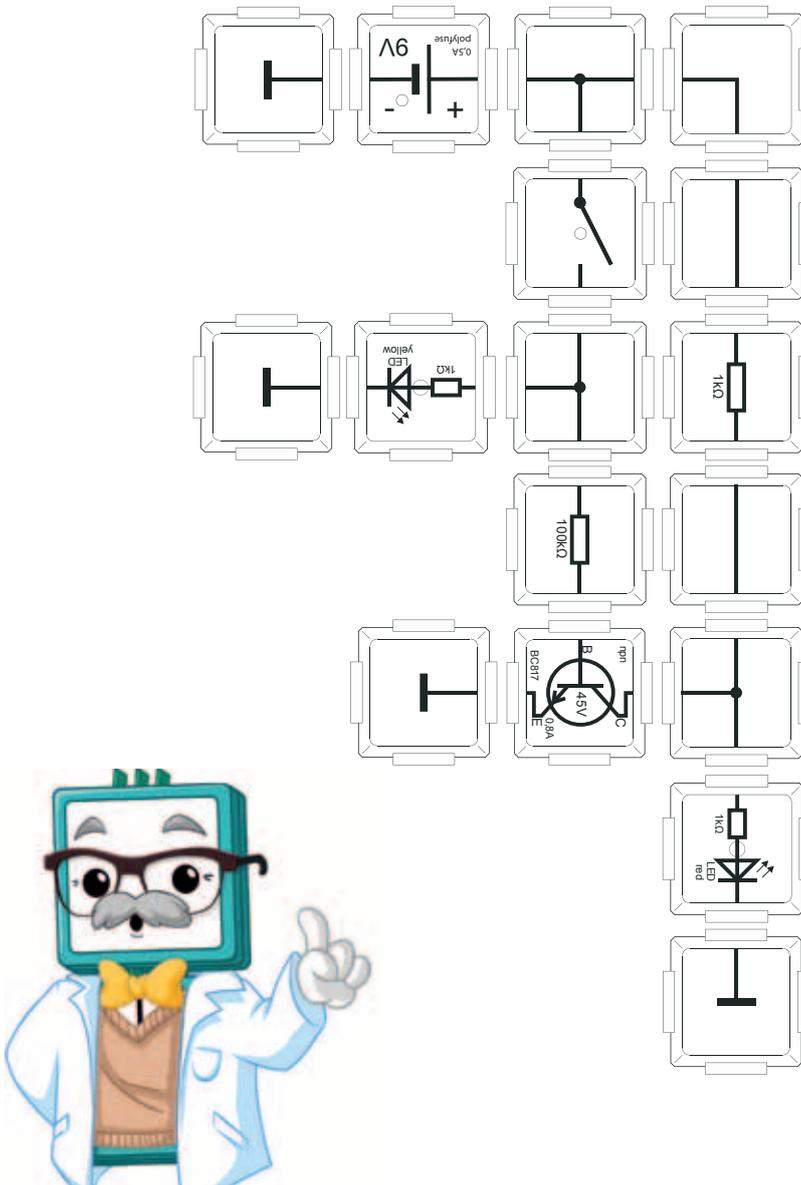
Der Vorwiderstand an der blauen LED ist notwendig, damit die Sperrschicht in der Diode nicht durch das volle Potential der Spannungsquelle zu groß ist. Fällt jetzt das Umgebungslicht auf den Halbleiterkristall der LED, wird ein minimaler Stromfluss an der Basis des ersten Transistors erzeugt, löst dieser die Kaskade aus, so dass die rote LED leuchtet. Wird die blaue LED wieder abgedunkelt, erlischt die rote LED, der Darlingtonverstärker sperrt.





## 9.8 LED einmal invertiert

Das Invertieren von logischen Zuständen erfolgt in der Industrie und Technik in vielen Schaltkreisen. Jetzt veranschaulichen wir das durch zwei wechselseitig betriebene LEDs. Im Normalzustand bei geöffnetem Schalter, leuchtet die rote LED und die gelbe nicht. Der Transistor sperrt dann und der Strom fließt über den  $1\text{k}\Omega$ -Widerstand und die rote LED zur Masse. Durch ein Schließen des Tasters kann der dazu parallele Stromzweig unter Spannung gesetzt werden, woraufhin die gelbe LED leuchtet und die rote erlischt. Bei geschlossenem Taster wird der Transistor zwischen Kollektor und Emitter leitend, so dass die Schwellspannung an der roten LED nicht mehr erreicht wird und diese erlischt. Die invertierende Wirkung von Parallelstromkreisen haben wir schon bei der NICHT-Verknüpfung in Versuch 5.3 kennengelernt.



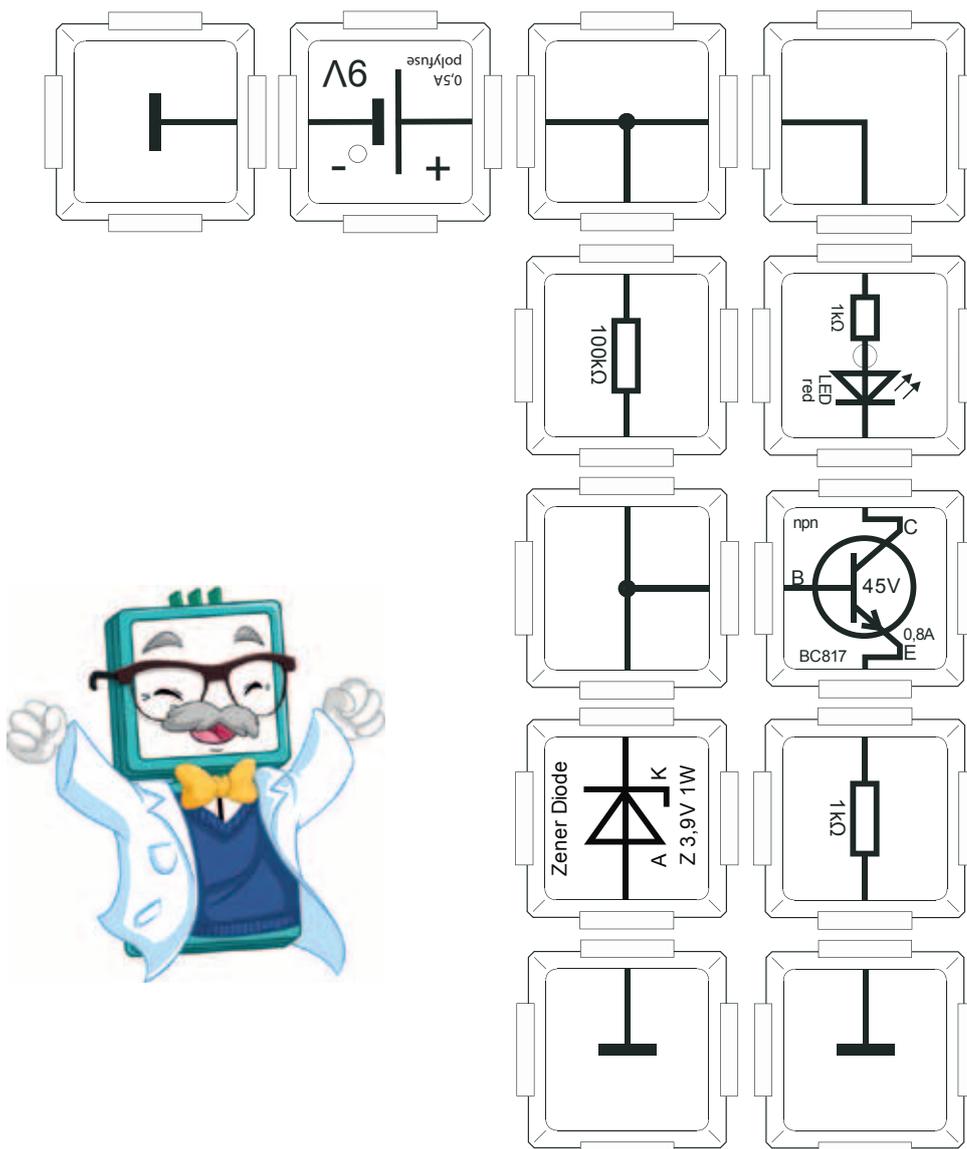
## 9.9 LED mit Konstantstrom bei 9V Versorgungsspannung

Da der Spannungsabfall über Dioden (mit 0,7 Volt für Siliziumdioden) konstant ist, werden diese durch den Strom gesteuert. Stabilisiert man den Stromfluss, ändert sich die Helligkeit der LED nicht mehr. Erreicht wird das mit einer Zenerdiode (Z-Diode) und einem Transistor. Die Z-Diode stabilisiert den Spannungsabfall zwischen Basis- und Emittterkontakt, so dass der Emittterstrom wie folgt berechnet

$$\text{wird: } I = \frac{U_{(z)} - U_{(T)}}{1000\Omega} = \frac{3,9V - 0,7V}{1000\Omega} = 3,2mA.$$

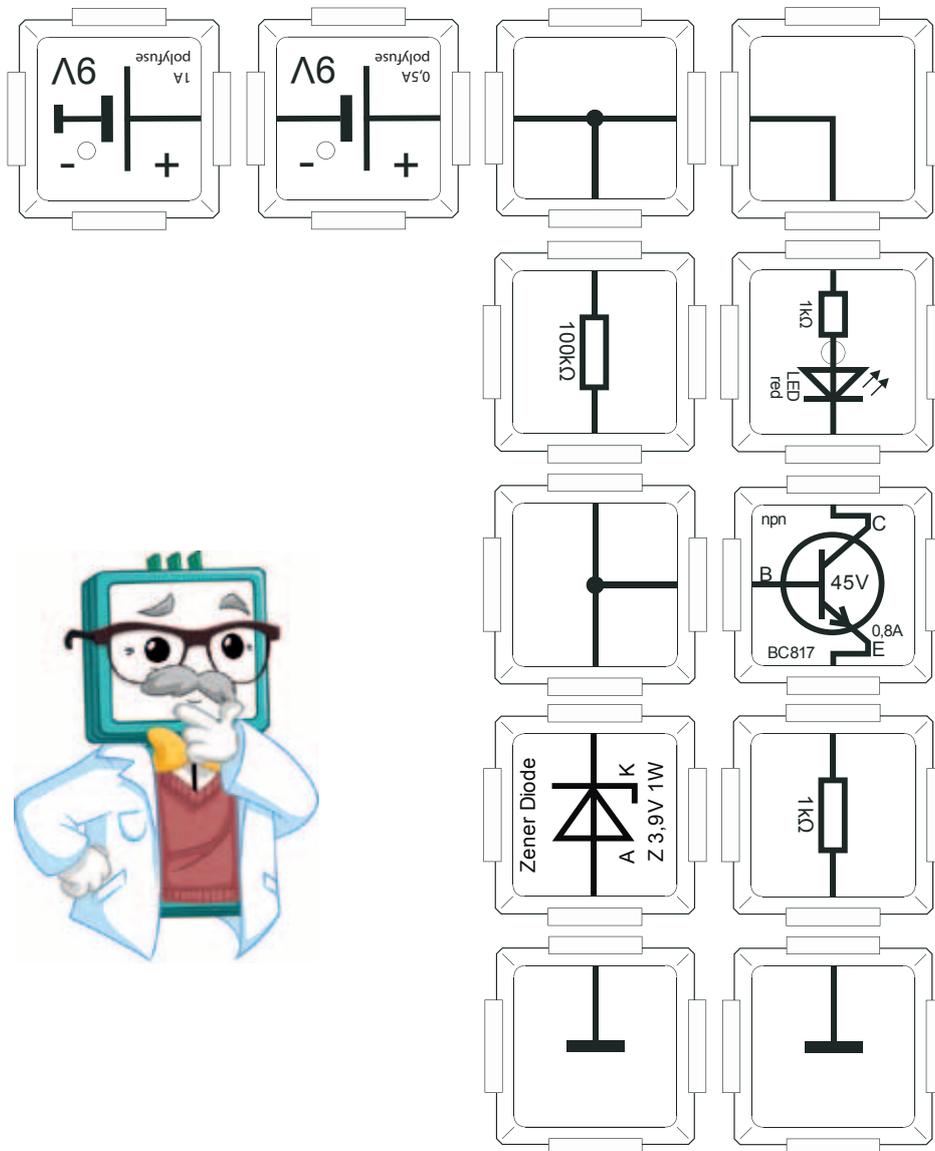
Da der Verstärkungsfaktor des Transistors und der Basisstrom konstant sind, ist es der Kollektorstrom ebenfalls, die rote LED leuchtet stets mit derselben Intensität. Wenn die an der Basis anliegende Spannung mindestens 3,9V erreicht hat, ist der Basisstrom unabhängig von der Versorgungsspannung.

Es ist darauf zu achten, dass die Zenerdiode in Sperrichtung betrieben wird! Sie ist nach dem Zener-Effekt benannt, den der amerikanische Physiker Clarence Zener erstmalig beschrieben hat. Er fand heraus, dass Elektronen die Halbleiterschichten in Sperrichtung durchtunneln können, wenn deren Anreicherung mit positiven bzw. negativen Ladungsträgern sehr hoch ist. Zenerdioden haben eine spezifische Z-Spannung, je nach Herstellung. Unsere Z-Diode hat eine Z-Spannung von 3,9 Volt. Der nächste Versuch 9.10 befasst sich mit deren Konstanz.



## 9.10 LED mit Konstantstrom bei 18V Versorgungsspannung

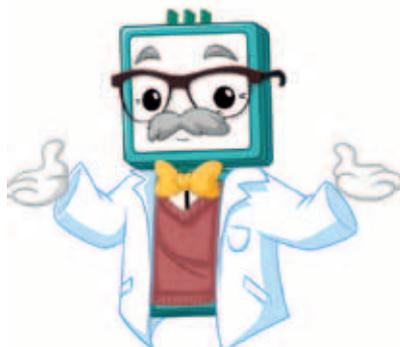
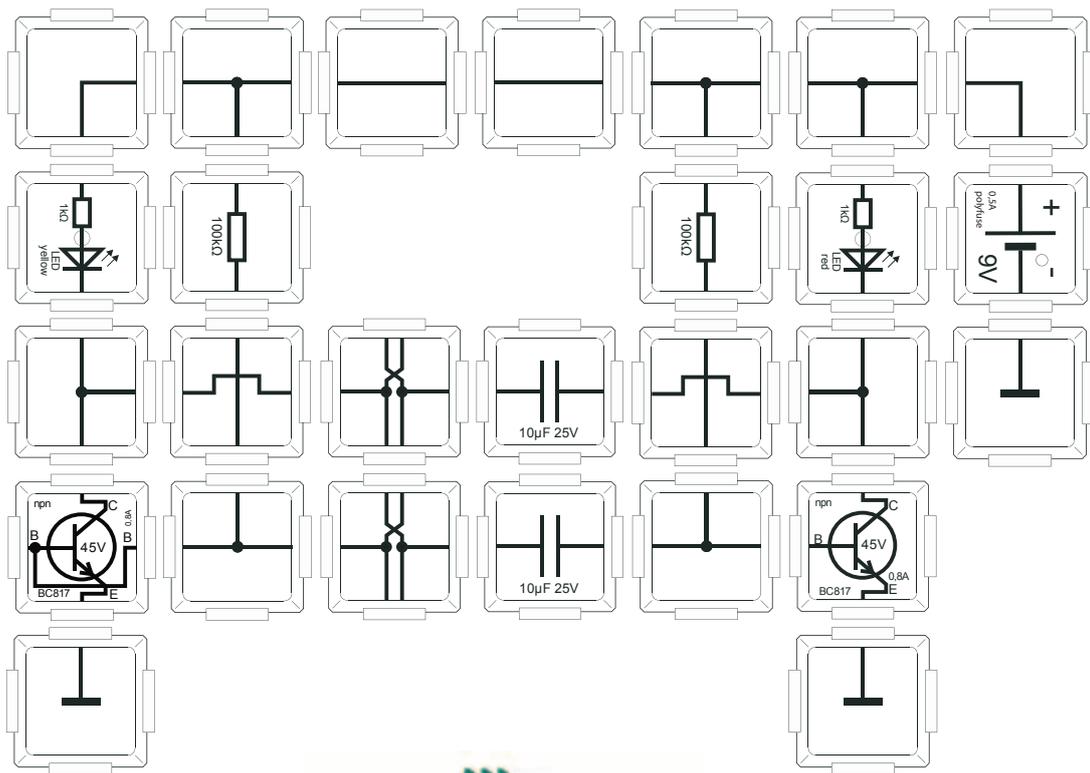
Um zu überprüfen, ob der Strom durch die LED konstant bleibt, erhöhen wir nun die Versorgungsspannung auf 18V. Die Teilspannungen addieren sich in einer Serienschaltung. Das erreichen wir durch eine Serienschaltung von Netzteil- und Batterie-Brick. Hier muss auf die richtige Polung geachtet werden: Der Minuspol des Batterie-Bricks ist an den Pluspol des Netzteil-Bricks zu schalten! Die Leuchtintensität der roten LED am Kollektor des Transistors bleibt in etwa gleich.



## 9.11 Astabiler Multivibrator

Ein klassischer Schaltkreis zur Schwingungserzeugung ist ein Multivibrator. Hier werden zwei Transistoren so gegeneinander geschaltet, dass sie sich abwechselnd an- und ausschalten. Die Dauer für einen Zyklus wird von dem Lade- bzw. Entladevorgang der Kondensatoren über deren vorgeschaltete Widerstände bestimmt. Astabile Multivibratoren werden in der Technik zum Erzeugen einer Rechteckspannung eingesetzt. Wir können den Schaltvorgang gut an den abwechselnd blinkenden LEDs beobachten. Die Wahl der Kapazität der Kondensatoren und ihrer dazugehörigen Vor-Widerstände definieren die Periodendauer für einen Schaltvorgang. In unserer Schaltung sind die Widerstände und Kondensatoren für beide Transistoren gleich. Die Periodendauer berechnet sich daher sehr einfach mit folgender Gleichung:  $T = 2 * \ln(2) * R * C = 2 * \ln(2) * 100k\Omega * 10\mu F = 1,39s$

Das Experimentierset beinhaltet Kondensator- und Widerstands-Bricks verschiedener Werte. Gerne können die Werte an dieser Stelle ausgetauscht und somit die Schaltdauer manipuliert werden. Der linke Widerstand und der obere Kondensator steuern das Schaltverhalten des linken Transistors und entgegengesetzt. Bei ungleicher Beschaltung leuchten gelbe und rote LED nicht mehr symmetrisch und deren Leuchtdauer ändert sich, wenn das Verhältnis von Widerstand zu Kondensator verändert wird. Es ist nicht möglich den Schaltkreis in einem festen Zustand verharren zu lassen, daher bezeichnet man ihn als astabil.

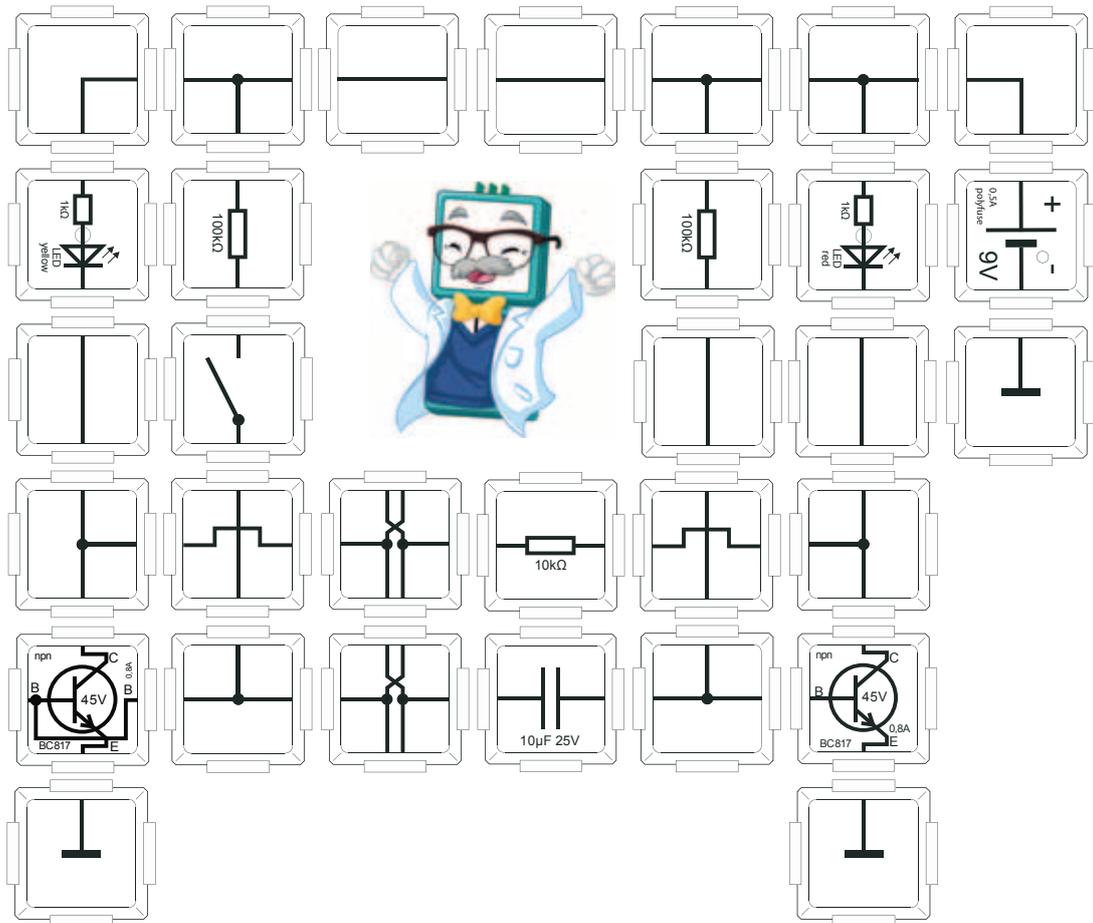


## 9.12 Monostabiler Multivibrator

Im Gegensatz zu Kapitel 9.11 benötigt der monostabile Multivibrator wie in nachfolgender Abbildung dargestellt in einem der Transistor-Verbindungspfade einen Widerstand anstelle des Kondensators. Zudem ist zwischen Basiskontakt des ersten Transistors und dessen Widerstand ein Taster vorgesehen. Ein monostabiler Multivibrator kennt genau einen Zustand in dem er verharrt. Dieser tritt ein, wenn der Schaltkreis einen Zyklus durchlaufen hat. Der linke Transistor ist hier dominant, da er nicht mehr von einem Kondensator gesteuert wird, sondern direkt über den Taster. Bei geöffnetem Taster leuchtet nur die rote LED. Wird der Taster gedrückt, so wird die rote LED dunkel und die gelbe LED leuchtet. Wenn man die Taste sofort wieder loslässt, leuchtet die gelbe LED eine Weile weiter und die rote bleibt für diese Zeit dunkel. Hält man die Taste länger gedrückt, so bleibt die gelbe LED solange an, bis diese Taste losgelassen wird. Gleichzeitig bleibt die rote LED solange dunkel, bis die durch den Kondensator definierten Zeit abgelaufen ist.

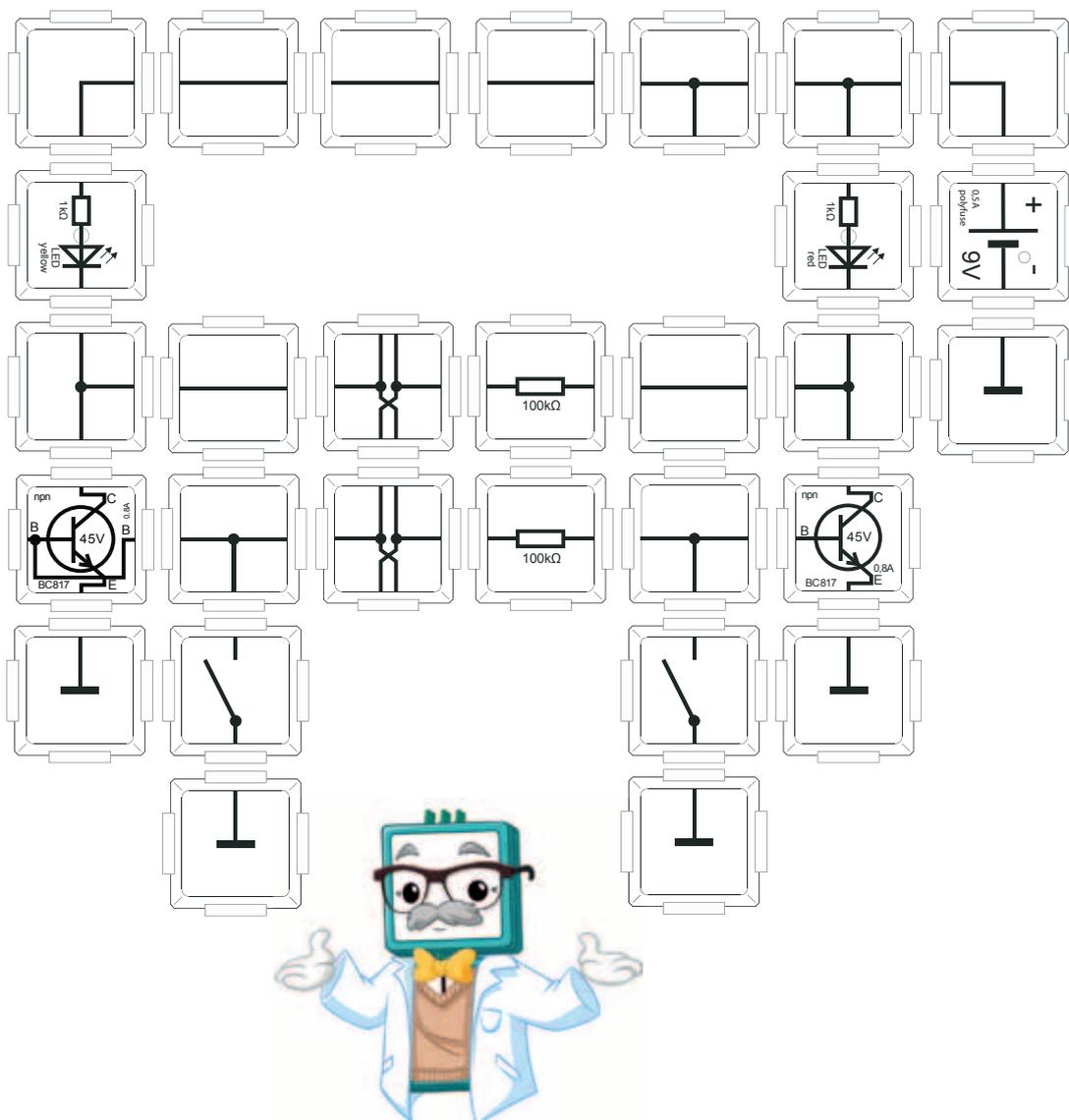
Nun ist der stabile Zustand erreicht und die rote LED leuchtet permanent. Durch wiederholtes Drücken des Tasters, können Pulse erzeugt werden. Dieser Vorgang nennt sich Triggern (Auslösen). Mit Triggersignalen werden an monostabilen Multivibratoren in der Technik Pulse erzeugt. Die rote LED leuchtet auch im ausgeschalteten Zustand sehr schwach, da ein geringer Stromfluss über die Basis des linken Transistors erfolgt.

Hier bietet es sich an frei zu experimentieren, denn das Set enthält dafür viele relevante Bricks.



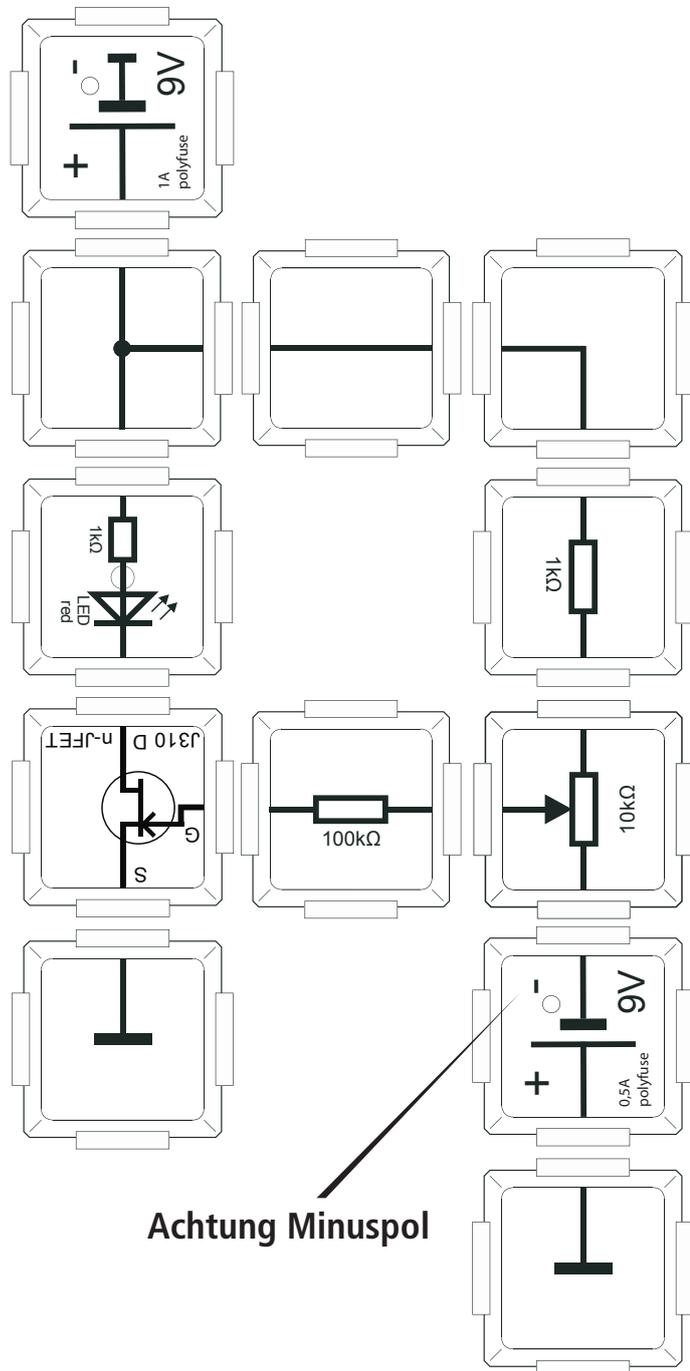
## 9.13 Bistabiler Multivibrator

Um eine bistabile Kippstufe zu erhalten, sind die beiden Widerstände der astabilen Kippstufe aus Kapitel 9.11 durch Taster gegen Masse auszutauschen. Zudem ersetzen, wie in der Abbildung ersichtlich, zwei  $100\text{k}\Omega$  Widerstände die Kondensatoren in den Transistor-Verbindungspfaden. Bistabile Kippstufen sind somit von zwei Auslösern (Trigger) gesteuert und liefern zwei entgegengesetzte Ausgangssignale. Diese Schaltungen werden auch zum Speichern von Daten verwendet. In unsere Schaltung sind die "Trigger" als Taster eingebracht. Wird der rechte Taster betätigt, leuchtet die gelbe LED und die rote erlischt. Der linke Taster lässt die rote LED leuchten und die gelbe erlöschen. Jeder Trigger steuert beide Ausgangssignale genau entgegengesetzt. Diese Schaltkreise werden auch als Flip-Flop bezeichnet. Bei unbetätigtem Taster leuchtet die zuletzt angesprochene LED. Der letzte Zustand wird gespeichert, auch wenn keine weitere Eingabe erfolgt, solange bis wieder ein Triggersignal anliegt. In der Technik werden diese Schaltungen als R/S-Flip-Flop (Reset bzw. Set) bezeichnet und finden u.a. in der Automatisierung eine breite Verwendung. Ihr Vorteil gegenüber anderen Schaltung ist, dass das Start- oder Triggersignal nicht permanent anliegen muss, ein kleiner Impuls genügt und z.B. das Garagentor öffnet sich bis ein Endlagenschalter den Reset-Trigger betätigt und das Tor an der gewünschten Position stoppt.



# 10. JFET - Sperrschichtfeldeffekttransistor

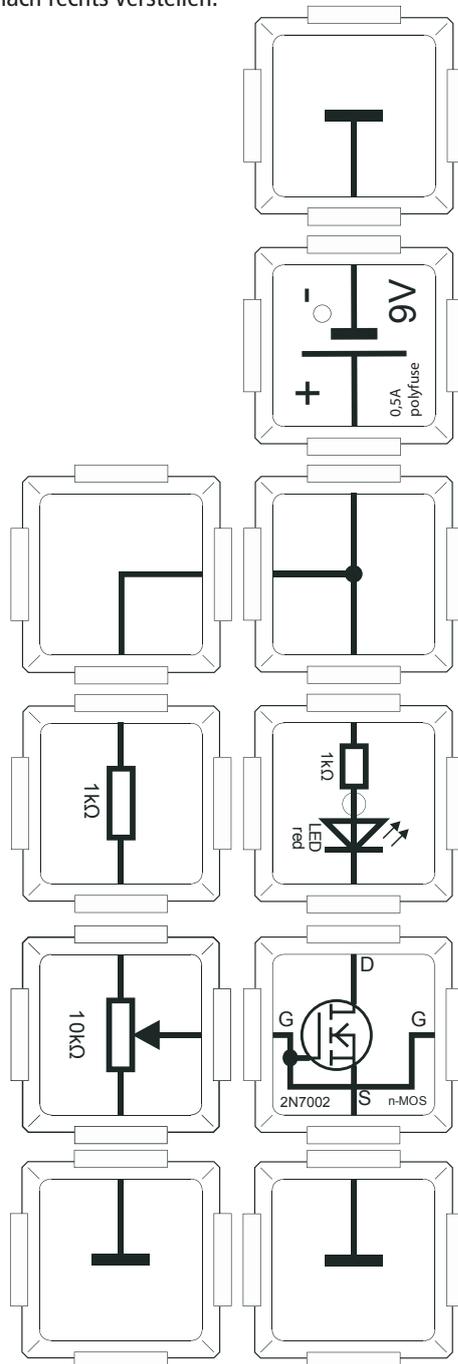
Die Abkürzung JFET steht für „Feld-Effekt-Transistor mit verbundenem Gate“. Im vorliegenden Versuch findet der n-Kanal JFET J310 Verwendung. Feldeffekttransistoren nutzen negative Spannung an ihrem Gate-Anschluss, um den Stromfluss zwischen ihren Drain- und Source-Kontakten zu steuern. Ist die Gate-Spannung 0V, verhält sich der FET wie ein normaler ohmscher Widerstand und es findet keine Beeinflussung des Stromes zwischen den Drain- und Sourceanschlüssen statt. Die steuernde Gatespannung muss negativ sein, da bei positiver Gatespannung ein unerwünschter Stromfluss an ihr resultiert. Dafür finden, wie in der Abbildung ersichtlich, zwei entgegengesetzt geschaltete Netzteile Verwendung. Diese richten einen Spannungsbereich von -9V bis +9V ein. Bezugspotential bleibt allerdings Masse, also 0V. Um einen unzulässig hohen Gatestrom zu verhindern, ist am Gate-Kontakt ein 100kΩ-Widerstand eingebracht. Das Potentiometer steuert nun indirekt den Stromfluss über unsere rote LED. Ist der Drehknopf am rechten Anschlag, sperrt der FET, da die Source-Drain-Strecke in ihm hochohmig wird. Ist der Drehknopf am linken Anschlag wird der Stromfluss zwischen Source und Drain nicht mehr behindert und die rote LED leuchtet mit maximaler Intensität. Der in diesem Versuch verwendete JFET J310 wird in Hochfrequenz-Vorverstärkern, den LNAs (Low-Noise-Amplifier), eingesetzt, um eine sehr gute Signalqualität zu gewährleisten.



# 11. MOSFET

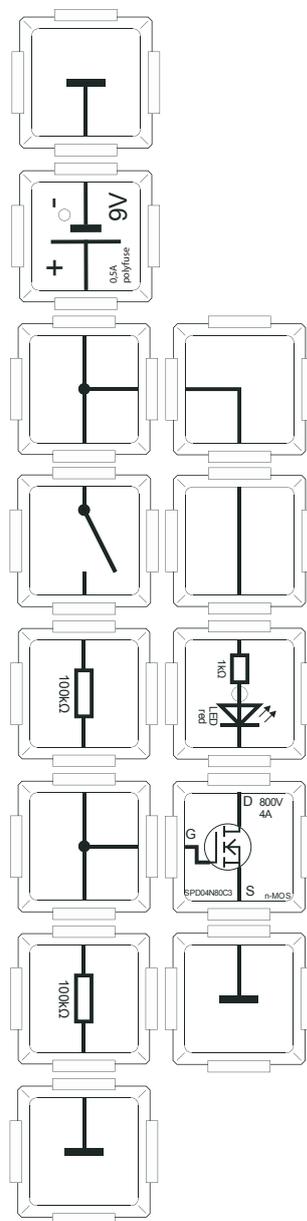
## 11.1 MOSFET Funktion

Ein Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET) hat an seinem Gate-Kontakt einen sehr hohen ohmschen Widerstand. Eine Gate-Spannung baut wie bei einem Kondensator ein elektrisches Feld auf, wobei der darunter liegende Kanal zwischen Source und Drain leitend wird. Der hohe Gate-Widerstand ist damit erklärbar, dass nur ein elektrisches Feld aufgebaut werden muss, nicht aber, wie bei einem Bipolartransistor (z.B. unser BC817), Ladungsträger über den Basis-Kontakt in die Halbleiterschicht eingebracht werden müssen, um einen Leitungsvorgang an den Arbeitskontakten zu ermöglichen. Das Schaltsymbol verdeutlicht das durch die Trennung des Gate von Source und Drain. Es gibt verschiedene Arten von MOSFET Typen. Unterschieden werden sie nach der Dotierung des Kanals in n- und p- Kanal sowie in leitend oder nichtleitend. Unser MOSFET ist ein nichtleitender n-Kanal Transistor. Das ist am Schaltsymbol zu erkennen, da die Linie zwischen Source und Drain unterbrochen ist, was für nichtleitend steht und der Pfeil nach innen weist, was n-Kanal bedeutet. Unser MOSFET lässt also einen Stromfluss zu, wenn eine positive Gate-Spannung angelegt ist, andernfalls sperrt er. In unserem Schaltungsaufbau wird diese durch das Potentiometer eingestellt. Der MOSFET wird leitend und die rote LED beginnt zu leuchten, wenn wir den Drehknopf von links nach rechts verstellen.



## 11.2 MOSFET als Schalter

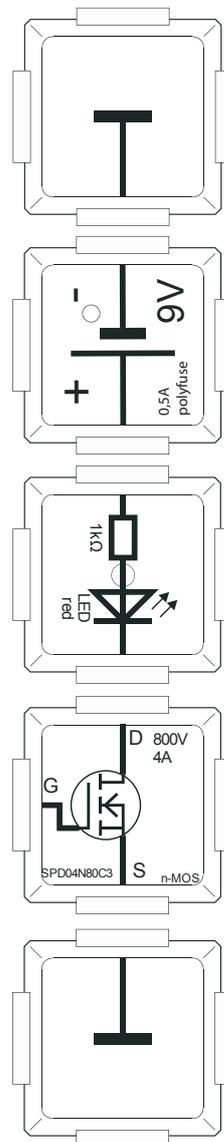
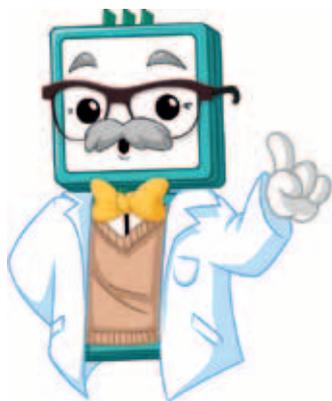
Wie bei unserem Bipolartransistor BC817, können wir den MOSFET auch als Schalter verwenden. Die großen Widerstandswerte des Spannungsteilers am Gate-Kontakt lassen nur einen sehr kleinen Stromfluss zu, legen aber durch ihr Widerstandsverhältnis vorgegeben, die halbe Versorgungsspannung von 4,5 Volt an diesen an. Das elektrische Feld am Gate-Kontakt ist groß genug, um die rote LED zum Leuchten zu bringen bzw. den MOSFET zu entsperren, wenn der Taster betätigt ist.



## 11.3 Simple NMOS touch Sensor

Der Versuch besteht wie in nachfolgender Abbildung ersichtlich aus einer Serienschaltung von Versorgungs-, LED-, NMOS- und zugehörigen Masse-Bricks als Abschluss auf beiden Seiten. Hierbei ist der Drain-Kontakt des Transistor über die LED an den Plus-Pol der Versorgung anzuschließen und Source zu Erden (Masse-Brick). Der MOSFET ist so hochohmig, dass seine Sensibilität genügt, um ein Entsperren nur durch Berührung mit dem Finger zu erreichen. Dabei werden geringste Ladungsmengen, die uns überall umgeben, in das Gate des MOSFETs geladen und bewirken einen Schaltvorgang. Die Ladungsmengen resultieren aus dem normalen Stromnetz oder sind statische Ladungen, die eine Potentialdifferenz zu unserem MOSFET aufgebaut haben. Der MOSFET kann schon durch einen Funkenschlag zerstört werden. Daher setzen Sie sich bitte auf einen Stuhl und berühren den Batteriebrick bevor sie den Gate-Kontakt streifen. Wenn die LED erlischt nachdem Sie den Kontakt wieder losgelassen haben, können Sie den Vorgang wiederholen. Bleibt die rote LED jedoch an, ist, wie bei einem Kondensator, genug Ladung gespeichert und die LED erlischt erst, wenn diese langsam abgeflossen ist.

Bitte gehen Sie unbedingt vorsichtig vor, der MOSFET kann durch statische Ladungen zerstört werden!



# 12. Spezial-Halbleiter

## 12.1 PUT - Programmable Unijunction Transistor

PUT steht für programmierbarer Unijunction Transistor. Er besteht aus drei Anschlüssen, der Anode, der Kathode und dem Gate. In Durchlassrichtung gepolt, verhält er sich wie eine Diode mit hoher Schwellspannung, in Sperrichtung findet kein Stromfluss statt. Die Schwellspannung kann manipuliert werden in dem am Gate-Kontakt eine positive Spannung angelegt wird. Daher wird er als programmierbar bezeichnet. PUTs werden zum Erzeugen von Schwingungen eingesetzt. Parallel zum PUT ist ein Kondensator verbaut. Dieser wird von der Spannungsquelle bis zum Erreichen der Schwellspannung geladen.

Nach Erreichen der Schwellspannung entlädt sich der Kondensator über PUT und der roten LED, was den Ladevorgang durch die Batterie erneut ermöglicht. Er schwingt jetzt mit einer bestimmten Frequenz. Das ist möglich, da die Spannung nach dem Erreichen der Schwellspannung absinken kann und der PUT weiterhin leitend bleibt bis fast 0V erreicht sind. In unserer Schaltung stellen wir die Schwellspannung am Potentiometer ein. Die rote LED blinkt mit zunehmender Frequenz, wenn der Drehknopf gegen den Uhrzeigersinn verstellt wird.

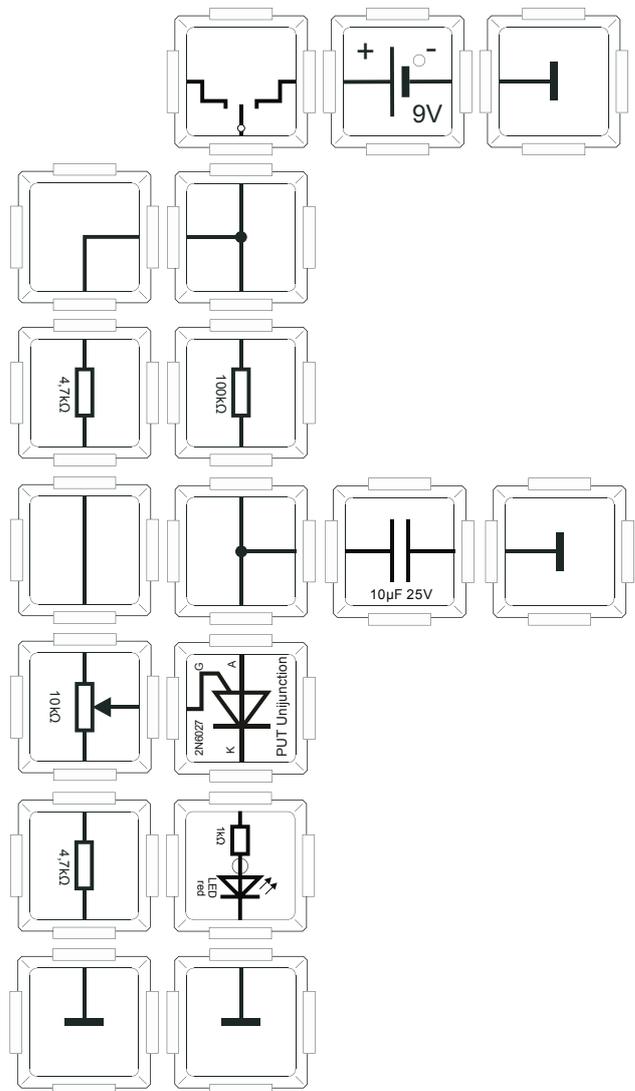
Für Neugierige: Die Frequenz bei Mittelstellung des Potentiometers ist:

$$f = \frac{1}{R * C * (\ln(\frac{1}{1-\eta}))}$$

$$= \frac{1}{100k\Omega * 10\mu F (\ln 2,61)} = \text{ca. } \mathbf{1,04Hz}$$

$$\eta = \frac{5k\Omega + 4,7k\Omega}{4,7k\Omega + 10k\Omega + 1k\Omega}$$

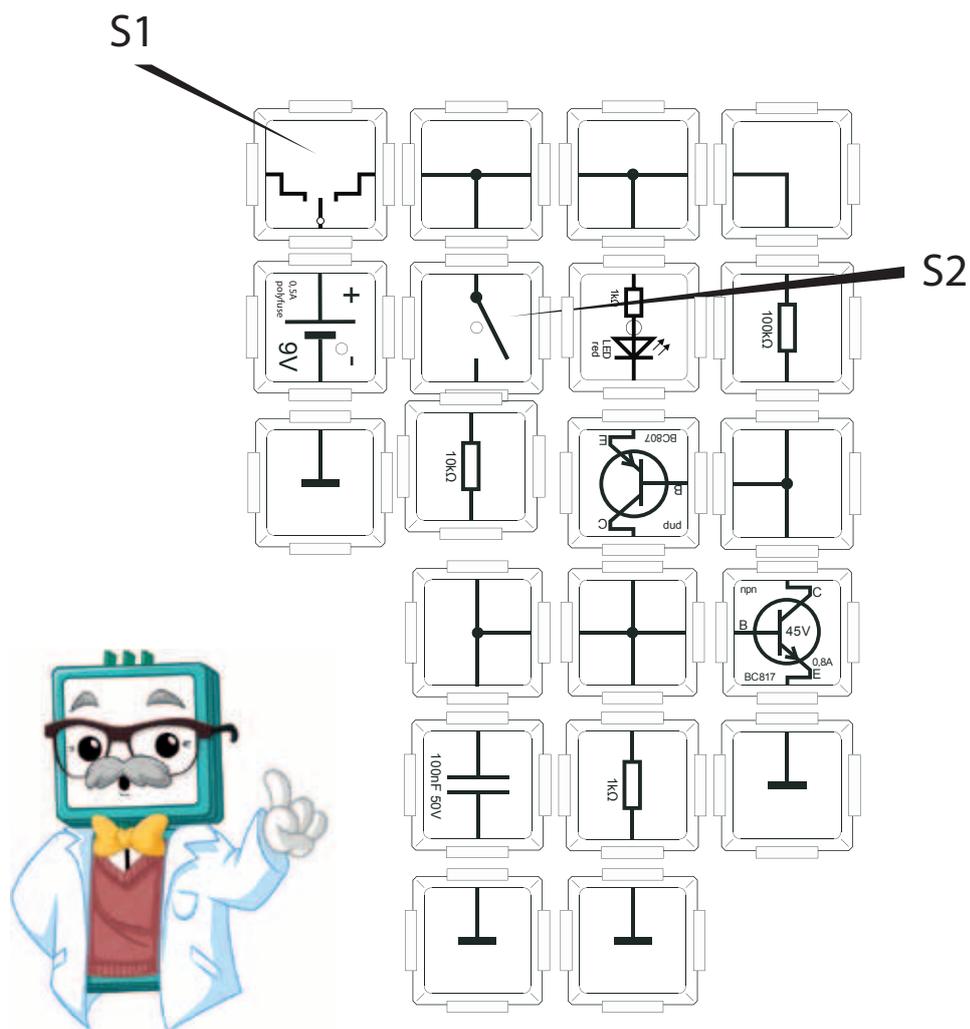
$$\eta = \text{ca. } 0,617$$



## 12.2 Thyristor im Ersatzschaltbild

Weitere elektronische Bauelemente mit besonderen Eigenschaften, wie hoher Stromfestigkeit, sind der Thyristor und der TRIAC. Der Thyristor benötigt ebenfalls eine positive Zündspannung, vergleichbar mit der Steuerspannung am PUT, um zu entsperren, und bleibt dann leitend bis er "gelöscht" wird. Bei einer Wechselfspannung am Gate-Kontakt wird der Thyristor permanent "gelöscht" und wieder gezündet, man spricht hier von einer Phasenanschnittsteuerung. Diese wird am Gate-Kontakt angelegt, um einen Stromfluss zwischen Anode und Kathode zu ermöglichen. Der TRIAC aber kann positive wie negative Zündspannungen am Gate-Kontakt verarbeiten und wird damit in beide Richtungen zwischen seinen Arbeitskontakten (A1 und A2) leitend. Das findet in der Wechselstromtechnik eine breite Anwendung. So kann die Helligkeit eines mit Wechselfspannung betriebenen Leuchtmittels durch Dimmen so geregelt werden, dass kaum Energie verloren geht, wie es z.B. bei einer Regelung über einen veränderbaren Vorwiderstand geschieht. Wir haben in unserer Schaltung einen Thyristor aus zwei entgegengesetzt aufgebauten Transistoren nachgebildet, einem pnp- und einem npn-Transistor. Ist die Versorgungsspannung an Schalter S1 angelegt, wird der Thyristor durch Drücken des Tasters S2 gezündet, und die rote LED leuchtet. Jetzt kann die LED nur durch ein Unterbrechen der Versorgungsspannung ausgeschaltet werden, der Thyristor wurde dann "gelöscht".

Dieser Vorgang ist beliebig wiederholbar.



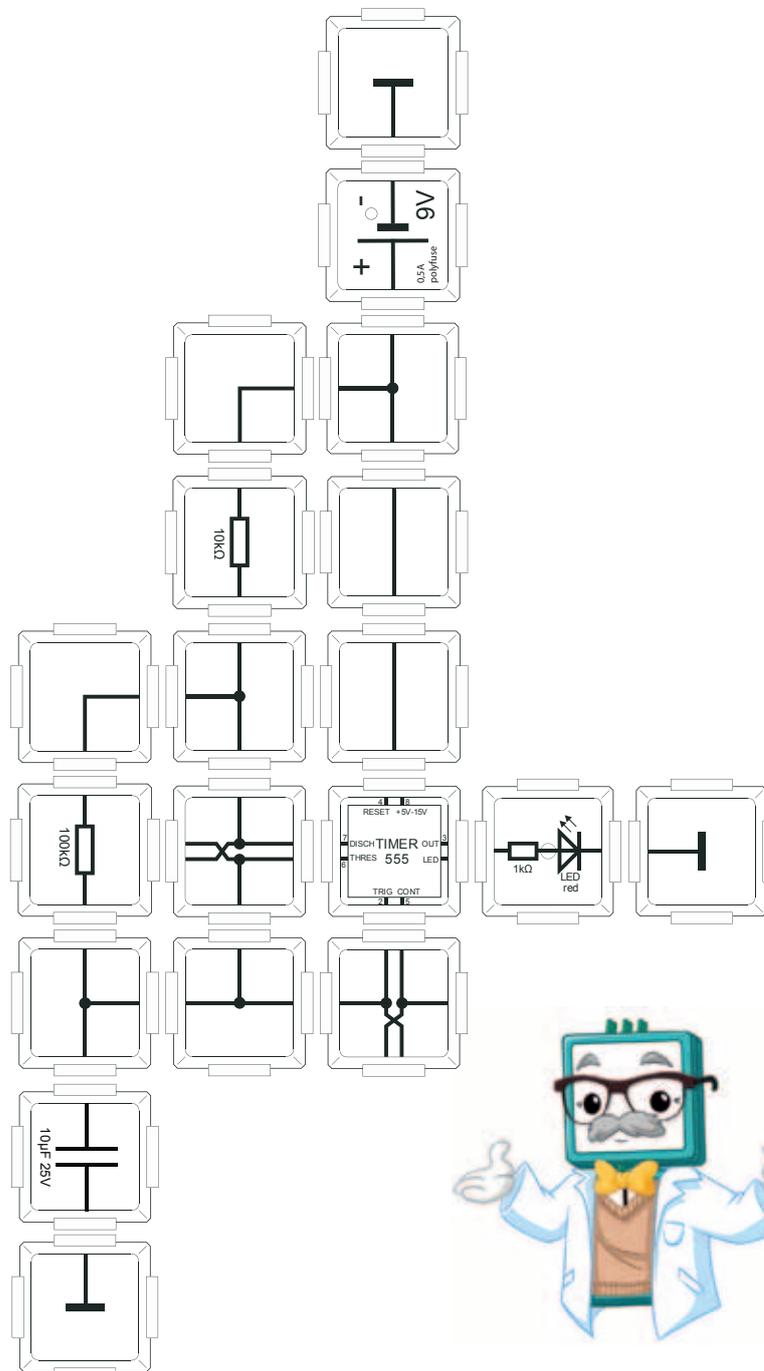
# 13. Timer 555

Der Timer 555 ist ein integrierter Schaltkreis, der für zeitabhängige Steuerungen eingesetzt wird. In ihm ist eine klassische Schaltung realisiert, die für vielfältigste Aufgaben Verwendung findet.

## 13.1 Timer astabil

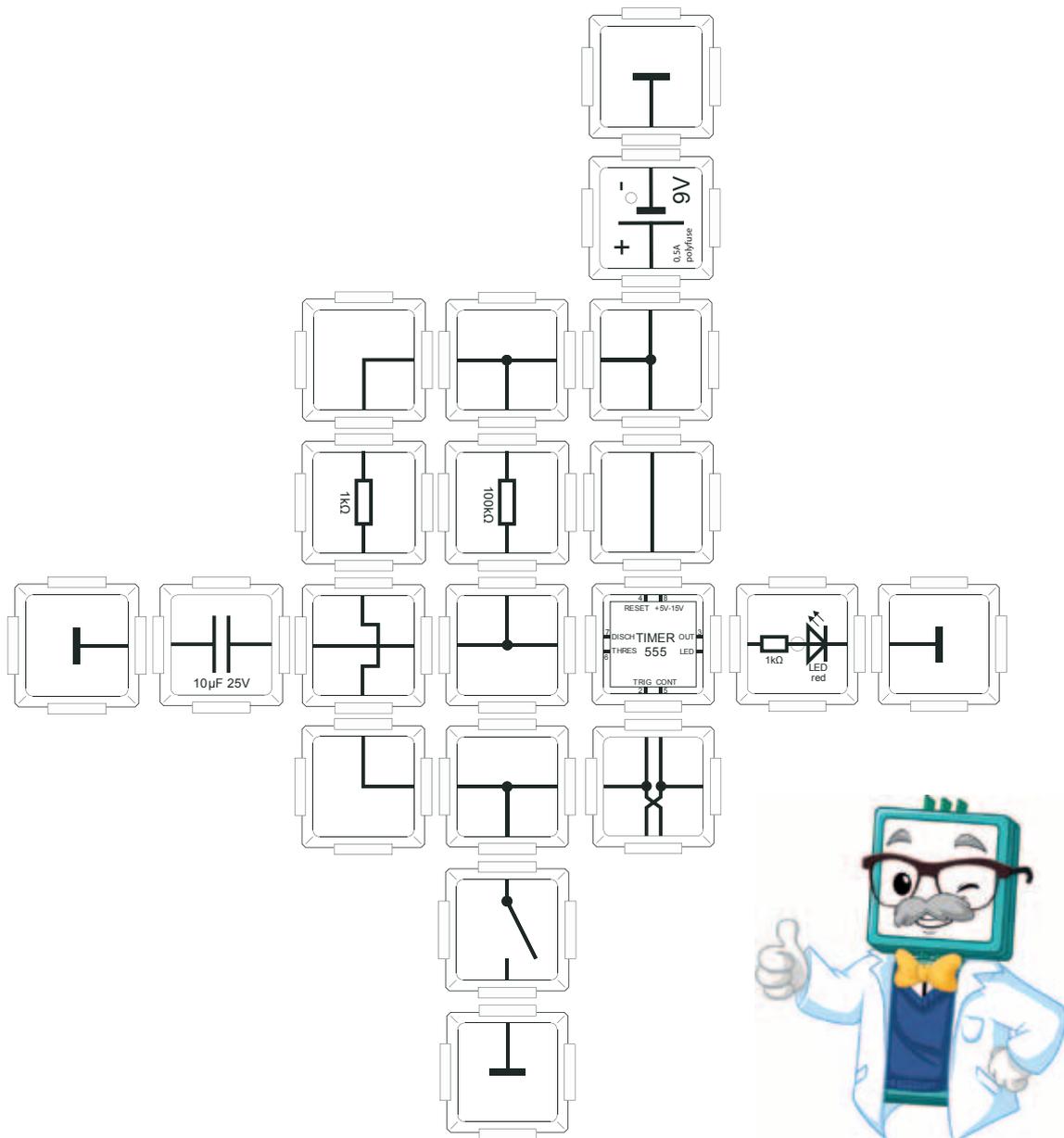
Der klassische Oszillator! Der Timer 555 kann sowohl die maximale als auch minimale Versorgungsspannung an seinem Ausgang über das Widerstandsverhältnis des 10kΩ- und 100kΩ-Widerstand zu der Kapazität des zugeschalteten Kondensators steuern. Während des Ladevorgangs des Kondensators über die beiden Widerstände legt der Timer 555 die Versorgungsspannung an seinem Ausgang an. Wenn der Kondensator geladen ist, beginnt der Entladevorgang über den 100 kΩ-Widerstand bis dieser entladen ist und der Vorgang startet erneut. Die erzeugte Schwingung ist ein Rechtecksignal, da der Timer 555 zwischen Versorgungsspannung und Masse umschaltet. Die rote LED blinkt solange der Timer 555 an die Spannung angeschlossen ist, daher ist diese Betriebsart astabil. Die Leuchtdauer ist um 10 Prozent größer als die dunkle Phase der LED. Beide Phasen zusammen bestimmen die Periodendauer. Sie lässt sich wie folgt berechnen:

$$T = (R_1 + 2 * R_2) * C * \ln(2) = (10k\Omega + 2 * 100k\Omega) * 10\mu F * \ln(2) = ca. 1,5s$$



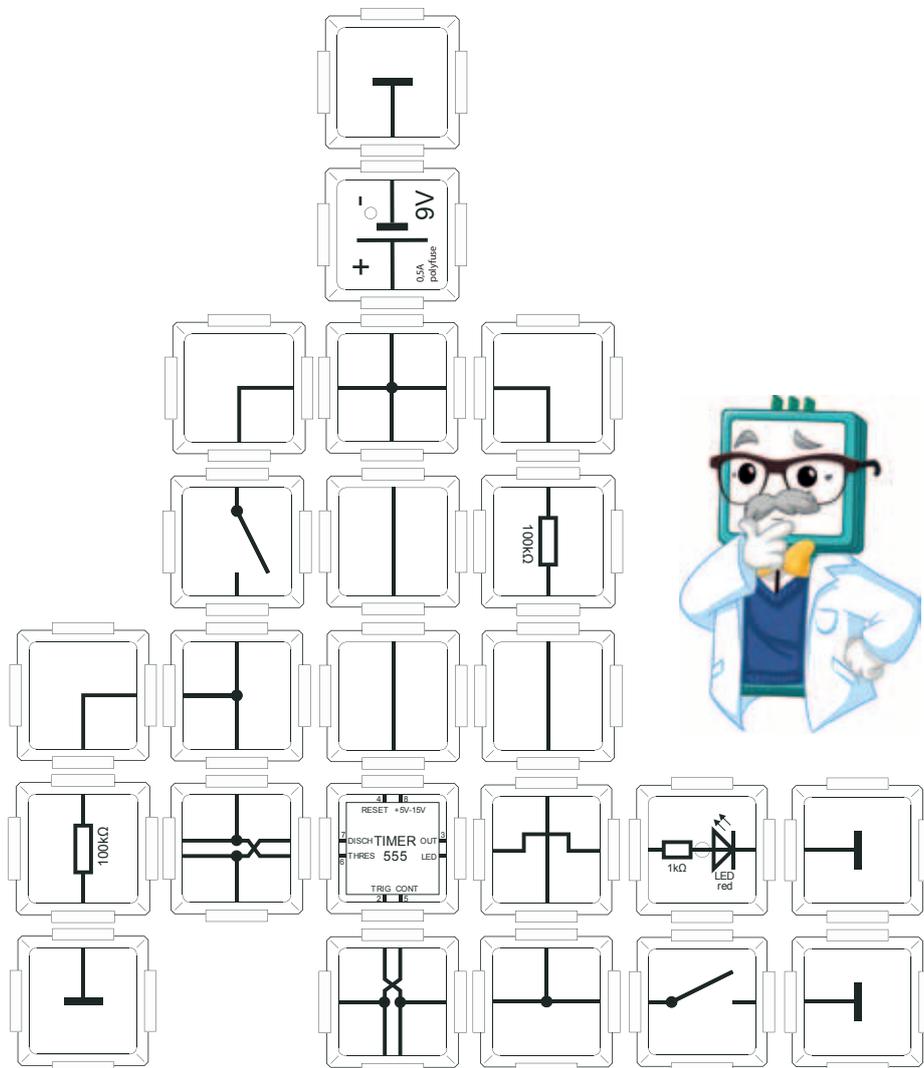
## 13.2 Timer monostabil

Mit dem Timer-Brick ist es leicht einen monostabilen Multivibrator zu realisieren. Nach kurzem drücken der Taste, leuchtet die rote LED solange auf, bis der Kondensator die Triggerschwelle des Timers erreicht hat. Wird die Taste längere Zeit gedrückt, bleibt die rote LED solange an, bis die Taste losgelassen wird.



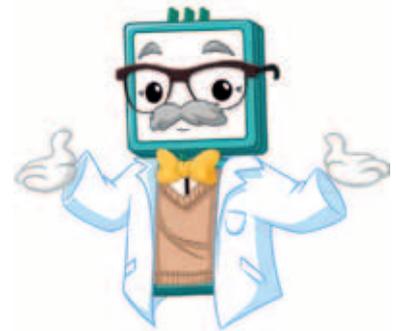
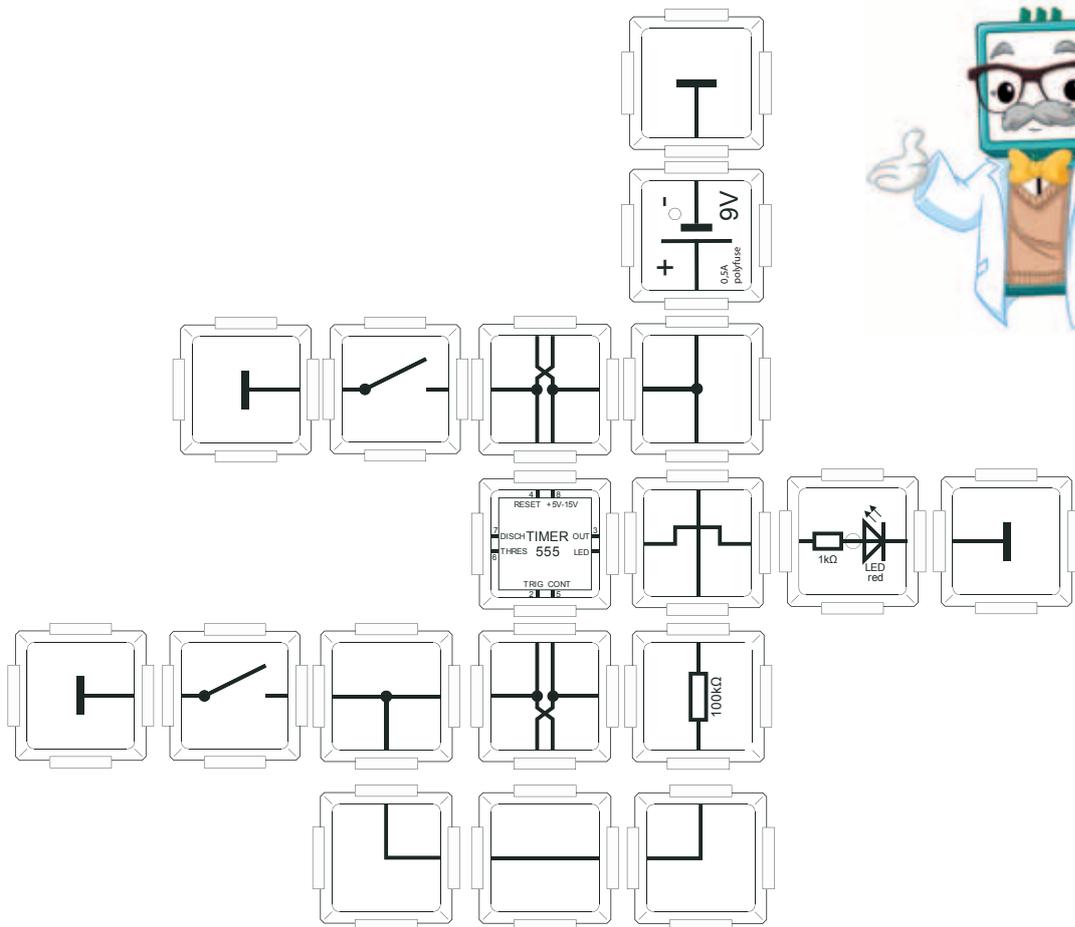
## 13.3 Timer bistabil

Unseren Timer-Brick verwenden wir nun als Flip-Flop und steuern so das Ausgangssignal, das solange erhalten bleibt, bis eine andere Eingabe erfolgt. Mit dem rechten Taster, unter dem 100k $\Omega$ -Widerstand, bringen wir die rote LED zum Leuchten. Wird der Kontakt über ihm wieder getrennt, leuchtet die LED weiterhin. Die entgegengesetzte Eingabe über den anderen Taster lässt sie erlöschen. Das Signal ist nun zurückgesetzt und bleibt ebenfalls erhalten bis eine alternative Eingabe erfolgt. Zum Zurücksetzen wird der sog. "Threshold"-Eingang verwendet (deutsch: Schwelle)



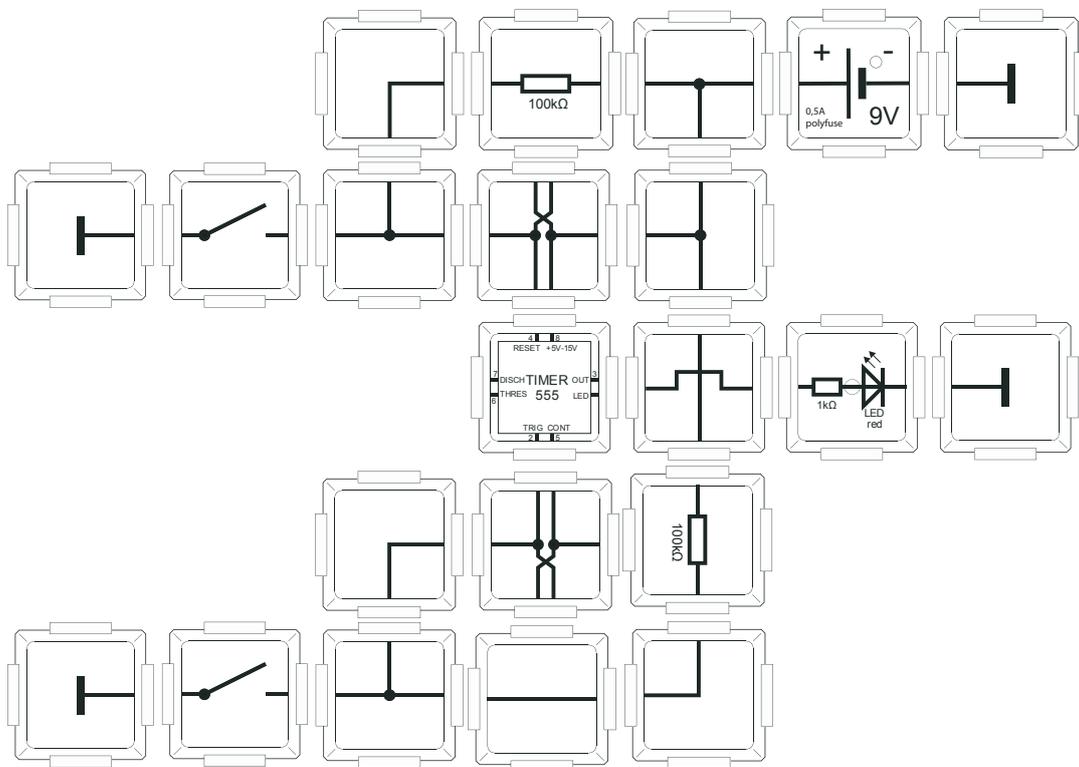
## 13.4 Timer 555 bistabil - Alternative 1

Die Darstellung eines Flip-Flops mit Hilfe unseres Timer 555-Bricks ist in der nun folgenden Schaltung ohne zusätzliche elektronische Bauelemente realisiert. Man kann das SET-Signal direkt mit dem Trigger-Eingang auf Masse setzen. Hier erfolgt ein Einschalten der Ausgangsspannung, wenn die Spannung am Trigger-Eingang  $1/3$  der Versorgungsspannung unterschreitet. Das Set-Signal wird wieder zurückgesetzt, wenn der Reset-Eingang auf Masse bezogen wird, also beim Betätigen des linken oberen Tasters, und die rote LED erlischt wieder. Alle Zustände bleiben am Eingang gespeichert bis eine alternative Eingabe erfolgt



## 13.5 Timer 555 bistabil - Alternative 2

Der Timer-Brick kann auch anders beschaltet werden und seine Funktion als Flip-Flop beibehalten. Das Zurücksetzen der Eingabe wird hier durch den Reset-Eingang anstelle des "Threshold"-Eingangs ermöglicht. Die rote LED erlischt, wenn der linke Taster betätigt wird. Auch hier bleiben alle Signale am Ausgang erhalten bis eine alternative Eingabe erfolgt. Die Wahl des Schaltelementes ist hierbei beliebig. Neben den hier verwendeten Tastern, eignen sich je nach Zweckmäßigkeit und Verwendung auch MOSFETS oder andere elektronische Schaltelemente.

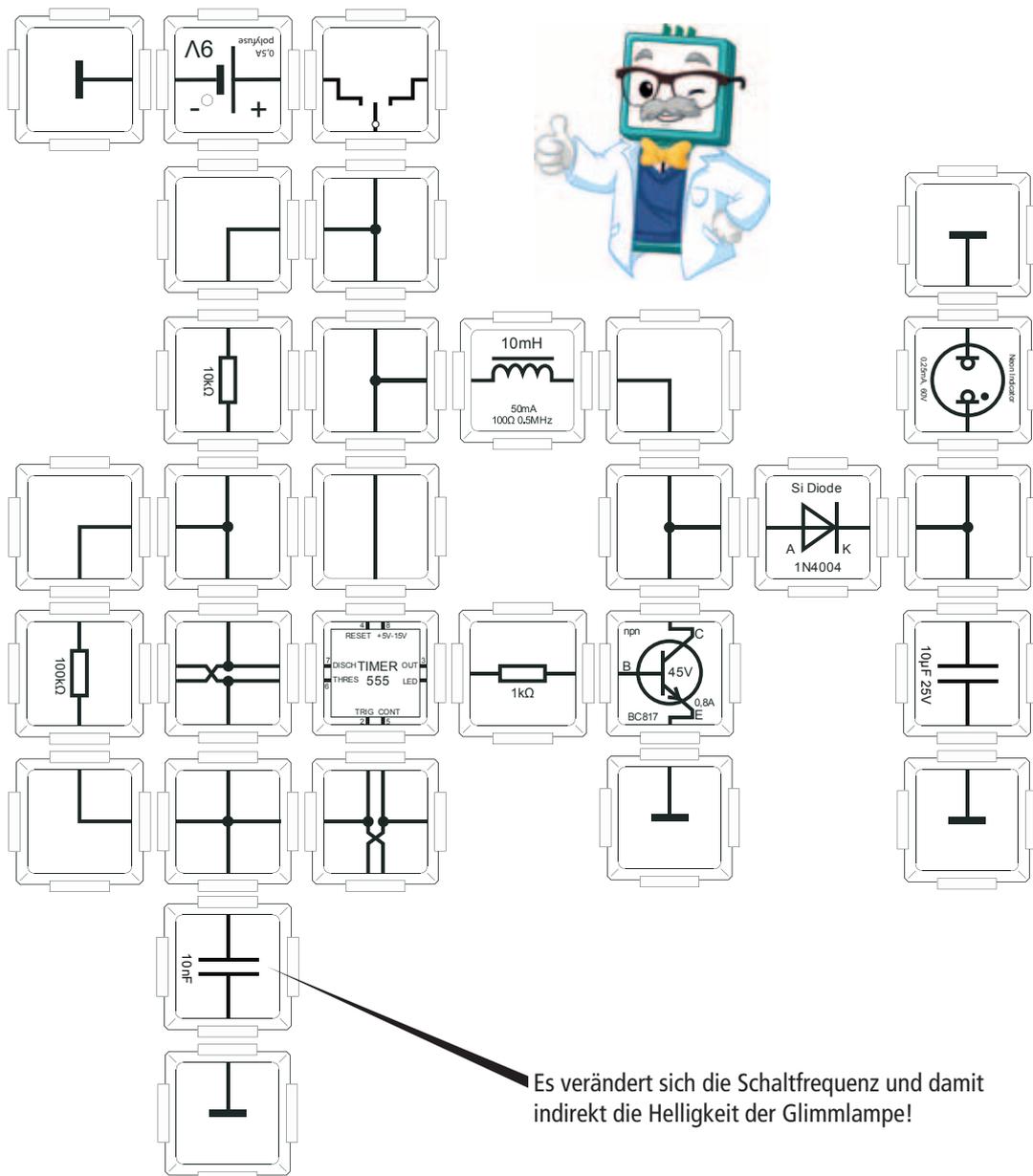


## 13.6 Timer 555 als Spannungsgenerator

Achtung: Diesen Versuch nicht mit dem Netzteil betreiben!

**Vorsicht:** Über dem Transistor können gesundheitsgefährliche Spannungen auftreten. Die Glimmlampe wird hier u.a. als Begrenzung der maximalen Spannung verwendet, daher diese nicht abklemmen sowie die Schaltung nicht in Dauerbetrieb lassen.

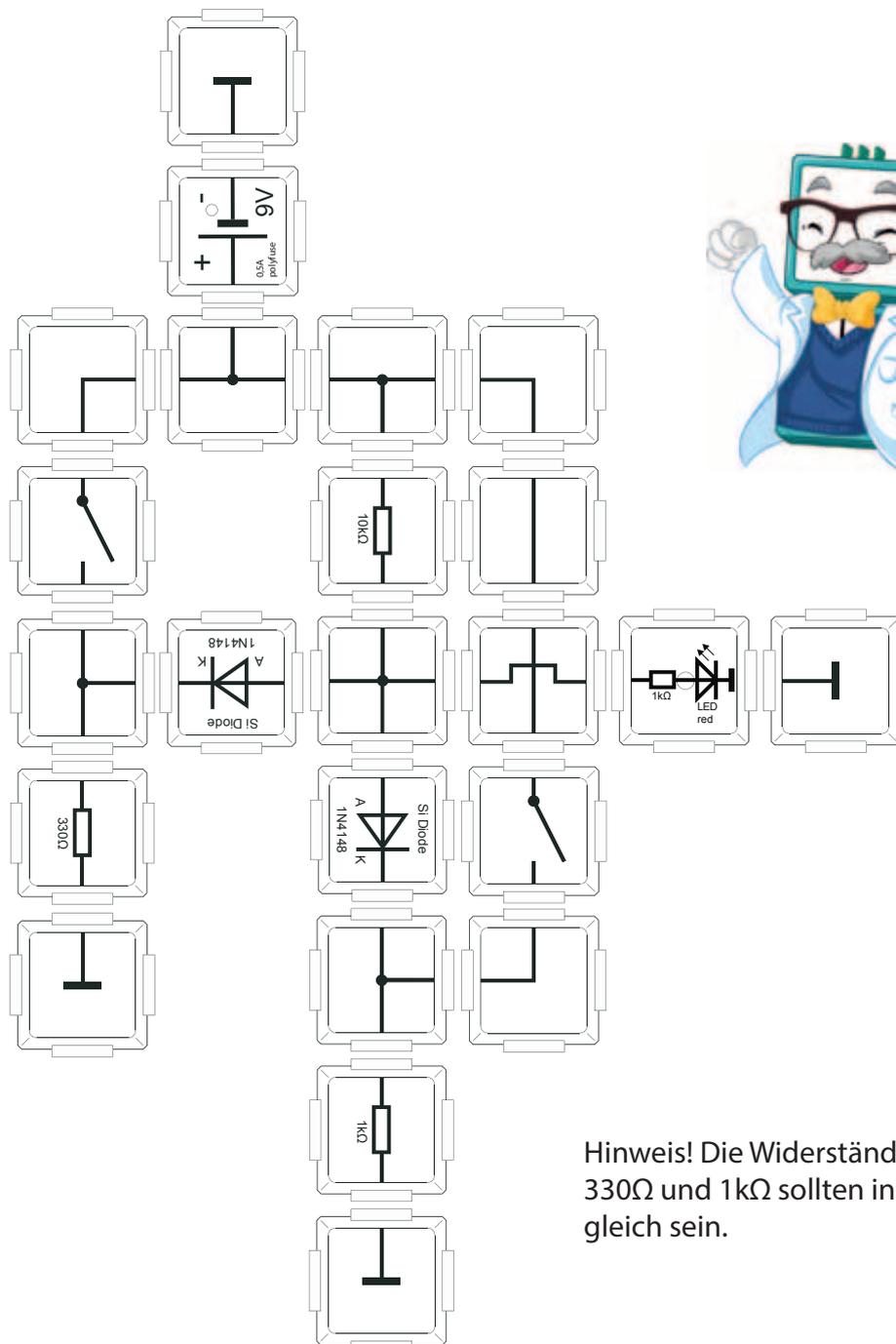
Der Timer-Brick gibt hier die Frequenz vor, mit der der Transistor die Spule lädt und wieder entlädt. Er alterniert an seinem Ausgang zwischen Versorgungsspannung und Masse, so dass ein langsames Ansteuern des Transistors nicht möglich ist. Da die Änderung des Stromflusses in sehr kurzer Zeit erfolgt, ist die Induktionsspannung sehr hoch. Die Schaltfrequenz ist mit ca. 670Hz zu hoch, um sie mit bloßem Auge wahrzunehmen. Die Glimmlampe wird mit der über die Diode gleichgerichteten und von dem 10µF-Kondensator gespeicherten Spannung betrieben. Der Kondensator ist notwendig, da die Energiemenge eines Spannungstoßes der Spule noch nicht genügt, um die Glimmlampe zum Leuchten zu bringen. Er speichert solange Energie, bis die Zündspannung der Glimmlampe von ca. 60V erreicht ist. Nach dem Zünden ist der Kondensator wieder entladen und der Vorgang beginnt erneut. Das Interessante an dieser Schaltung ist, dass sie eine höhere Spannung erzeugen kann, als von der Spannungsquelle vorgegeben ist. (Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die Energie dieselbe bleibt und selbstverständlich aus der Batterie im Batterie-Brick entnommen wird). Das Erhöhen der Spannung durch eine Kombination von Spule und Kondensator wird z.B. bei Leuchtstoffröhren, der Hintergrundbeleuchtung von TFTs oder LCDs genutzt. In der Technik werden diese Schaltungen als Upconverter (Aufwärtswandler) oder Booster (Verstärker) bezeichnet und in Wandlern oder Schaltnetzteilen, wie das im Computer, verwendet. Die Stabilisierung der Ausgangsspannung ist sehr wichtig und erfolgt hier über die Glimmlampe. Mit dem Kondensator am Eingang des Timer-Bricks kann die Schaltfrequenz verändert werden. Der Zusammenhang zwischen Widerstand und Kondensator definiert die Frequenz wie schon in Versuch 13.1 dargestellt.



# 14. Logikschaltungen

## 14.1 Ein UND mit Dioden

Eine UND-Verknüpfung ist hier mit Dioden realisiert. Zu den Anfängen der Computertechnik wurden Schaltzustände noch nicht mit Transistoren verwirklicht, sondern mit Dioden, auf DTL-Weise. (Dioden-Transistor-Logik). Die UND- sowie ODER-Verknüpfungen lassen sich leicht umsetzen. Sind die Taster geöffnet, fließt der Strom durch die in Durchlassrichtung gepolten Dioden und der Spannungsabfall ist nicht groß genug um die rote LED zum Leuchten zu bringen. Hier ist es gleich welcher Taster geschlossen wird. Solange eine Diode offen bleibt, stabilisiert diese den Spannungsabfall. Erst wenn beide Taster geschlossen werden, überbrücken diese die Dioden, so dass die rote LED über den 10kΩ-Widerstand in Betrieb genommen wird.

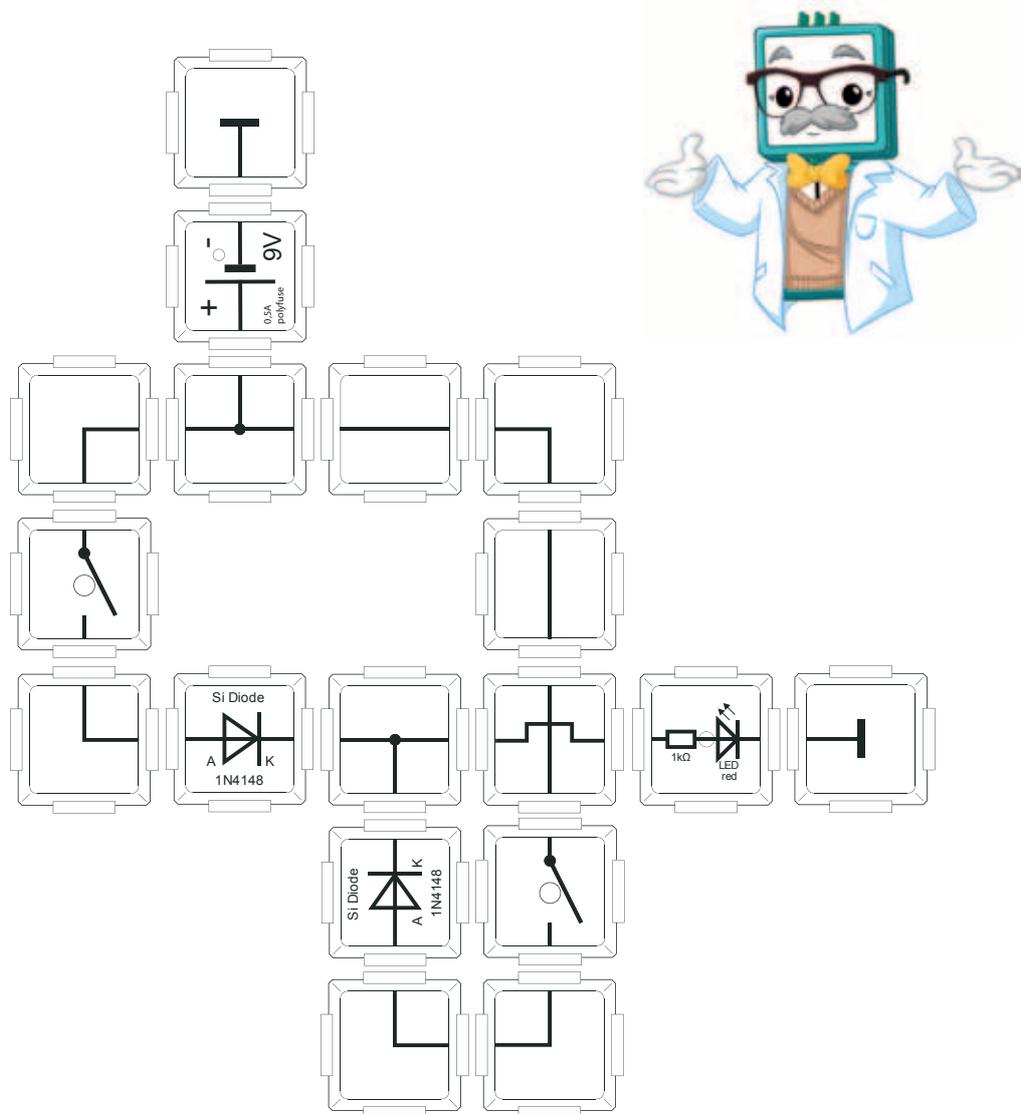


Hinweis! Die Widerstände von 330Ω und 1kΩ sollten in der Praxis gleich sein.

## 14.2 Ein ODER mit Dioden

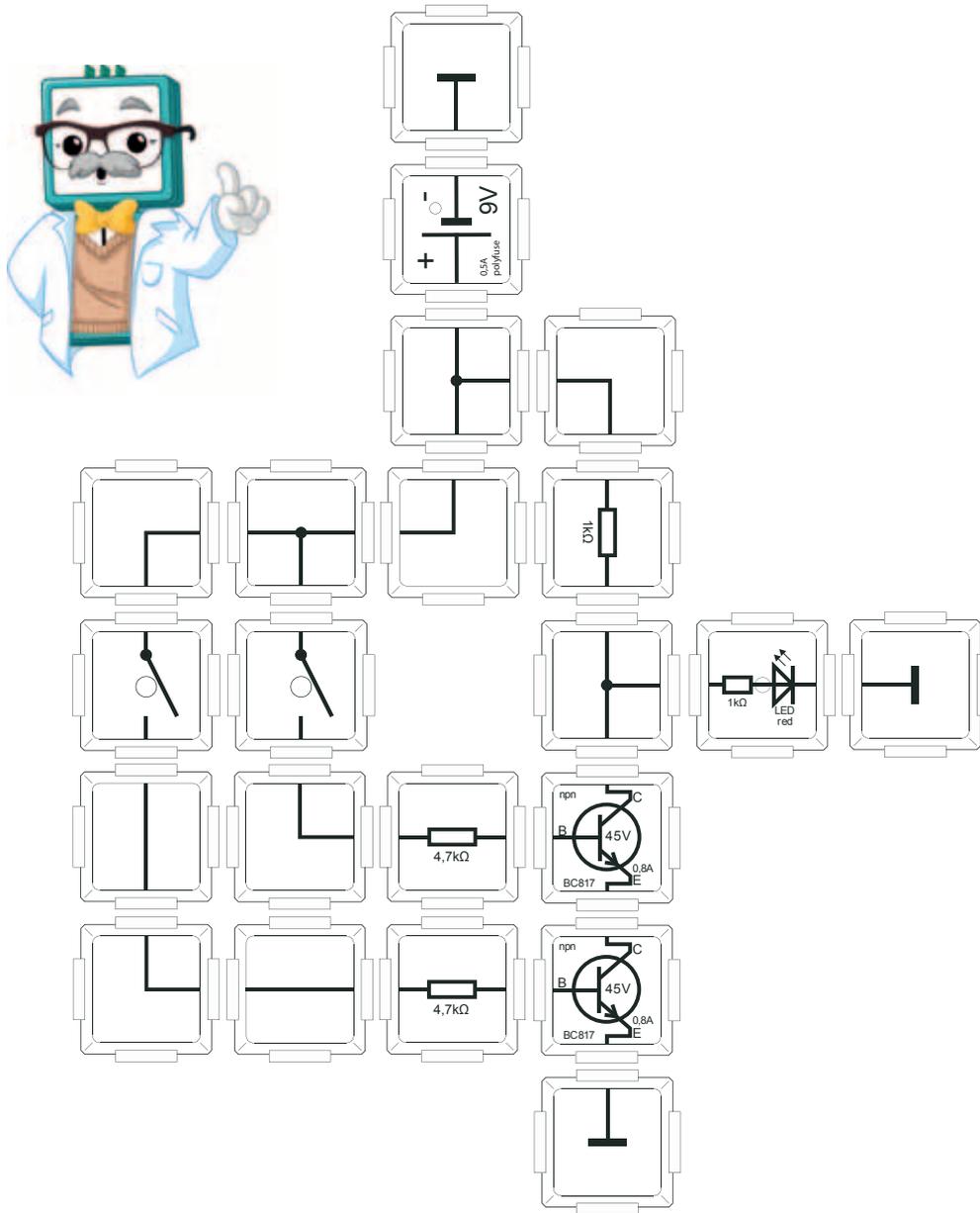
Es ist auch leicht eine ODER-Verknüpfung zu realisieren. Welche einfacher zu verstehen ist, als die vorangegangene UND-Schaltung. Wir tauschen hier nur ein paar Bricks um.

In der Technik werden diese Schaltung problematisch, da die Ausgangsspannungen (Pegel) nicht mehr kompatibel sind, um mehrere Logikschaltungen zusammen in Funktion zu bringen. Zusätzliche Transistoren versprechen hier Abhilfe. Diese verstärken die Ausgangssignale wieder und man erhält dann eine DTL-Logik (Dioden-Transistor-Logik). In der folgenden Schaltung ist es gleich welcher Taster betätigt wird. Die rote Diode leuchtet immer, wenn einer **oder** beide kontaktiert werden. Ist kein Taster betätigt, leuchtet die Diode nicht. Wir haben also die ODER-Funktion realisiert.



## 14.3 NAND-Schaltung mit Transistoren

Die NICHTUND-Verknüpfung ist eines der am häufigsten verwendeten Logikelemente. Sie wird in sogenannten Gattern, den NAND-Gattern, aus elektronischen Schaltern aufgebaut. Die NAND-Verknüpfung zählt neben der NOR-Verknüpfung zu der logischen Abbildungen mit der alle binären Schaltzustände realisierbar sind. Es existiert formal logisch keine Funktion, die nicht aus diesen beiden Grundverknüpfungen umgesetzt werden kann. Dies macht deutlich, welche Bedeutung sie in der Technik, besonders der Computertechnik hat. Erst wenn beide Taster betätigt sind, erlischt die rote LED.

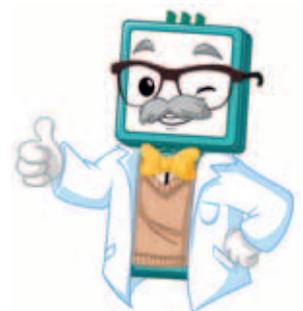
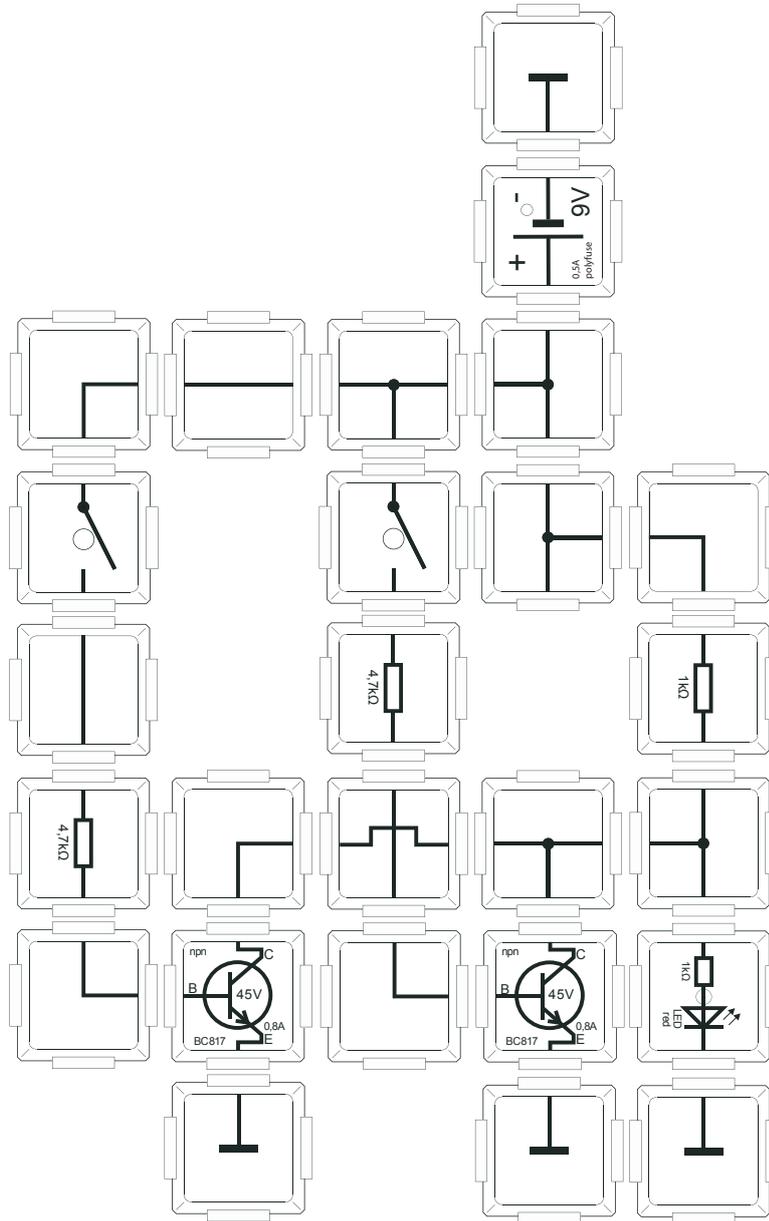


Taster1	Taster2	Rote LED
AUS (0)	AUS (0)	<b>Ein (1)</b>
Ein (1)	AUS (0)	<b>Ein (1)</b>
AUS (0)	Ein (1)	<b>Ein (1)</b>
Ein (1)	Ein (1)	<b>AUS (0)</b>

Die rote LED leuchtet nur nicht bei der Schalterstellung, die in der letzten Zeile der Tabelle dargestellt ist, also wenn Taster 1 **UND** Taster 2 betätigt sind.

## 14.4 NOR-Schaltung

Die NICHTODER-Verknüpfung ist neben der NICHTUND-Verknüpfung, der zweite elementare Logikbaustein. Sie wird in sogenannten Gattern, den NOR-Gattern, aus elektronischen Schaltern aufgebaut. An ihr ist die Einfachheit der Grundprinzipien in der Schaltungselektronik gut zu erkennen. Während die NAND-Verknüpfung zwei **seriell** geschaltete Transistoren **parallel** zum Ausgang der LED hat, ist die NOR-Verknüpfung durch zwei **parallel** geschaltete Transistoren **parallel** zum Ausgang umgesetzt und verwirklicht damit elementar die Funktion der Schaltung. Die rote LED erlischt dann, wenn einer oder beide Taster betätigt sind.

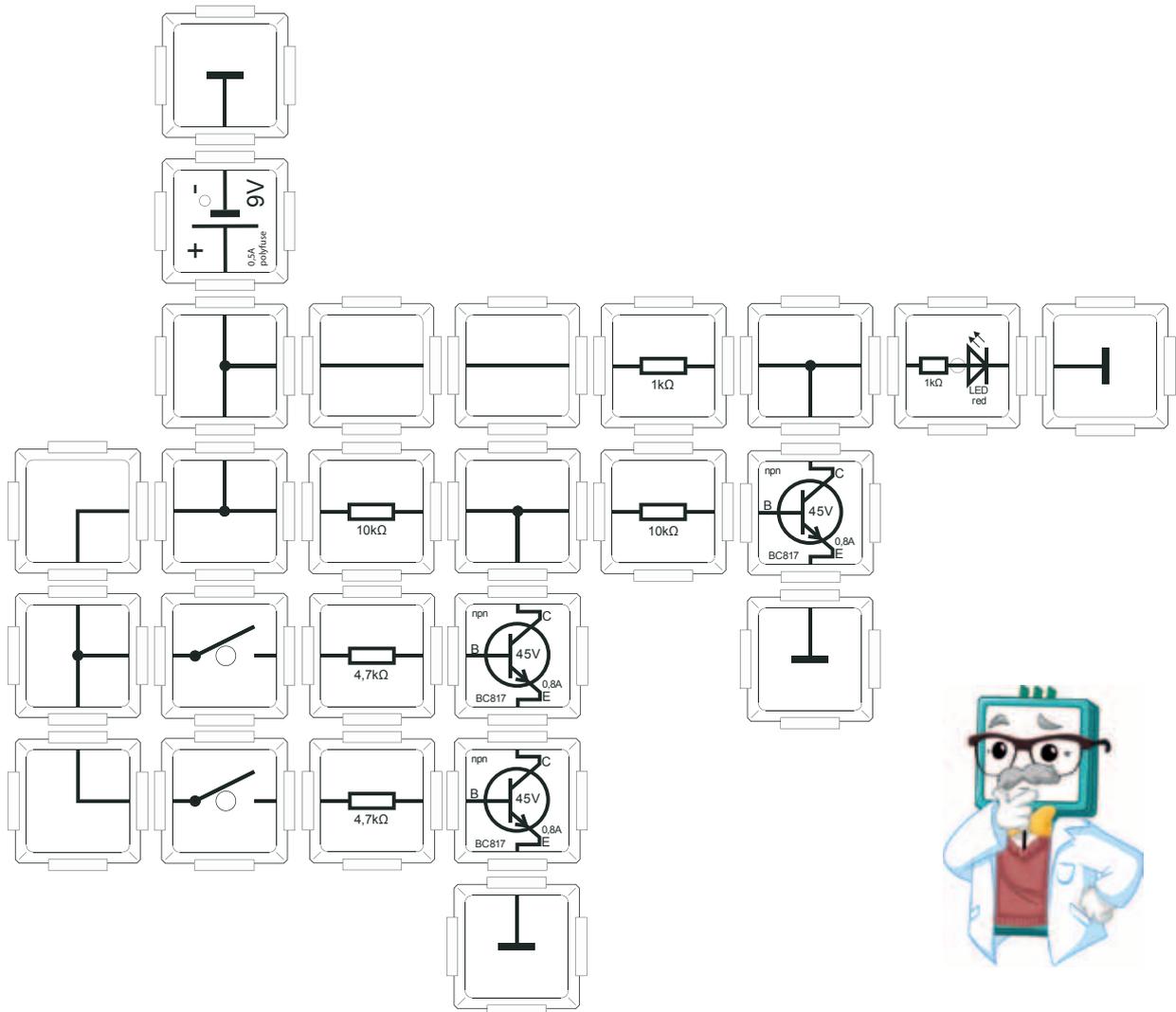


Taster1	Taster2	Rote LED
AUS (0)	AUS (0)	<b>Ein (1)</b>
Ein (1)	AUS (0)	AUS (0)
AUS (0)	Ein (1)	AUS (0)
Ein (1)	Ein (1)	AUS (0)

Die rote LED leuchtet nur bei der Schalterstellung, die in der ersten Zeile der Tabelle dargestellt ist. Sie leuchtet also dann nicht wenn Taster 1 ODER Taster 2 ODER beide betätigt sind.

## 14.5 AND-Schaltung

Die negierende, also umkehrende Wirkung der parallelen Stromkreise haben wir im vorangegangenen Versuch angedeutet. Folgerichtig sollte eine negierte NAND-Verknüpfung wieder eine UND-Funktion ergeben. Daher bauen wir einen weiteren Transistor parallel zu denen der NAND-Funktion in die Schaltung ein, so dass dieser als NICHT-Element, deren Wirkung negiert. (Formal: Eine Serienschaltung parallel zu einer Parallelschaltung ergibt eine Serienschaltung.) Erst wenn beide Taster geschlossen sind, leuchtet die rote LED.

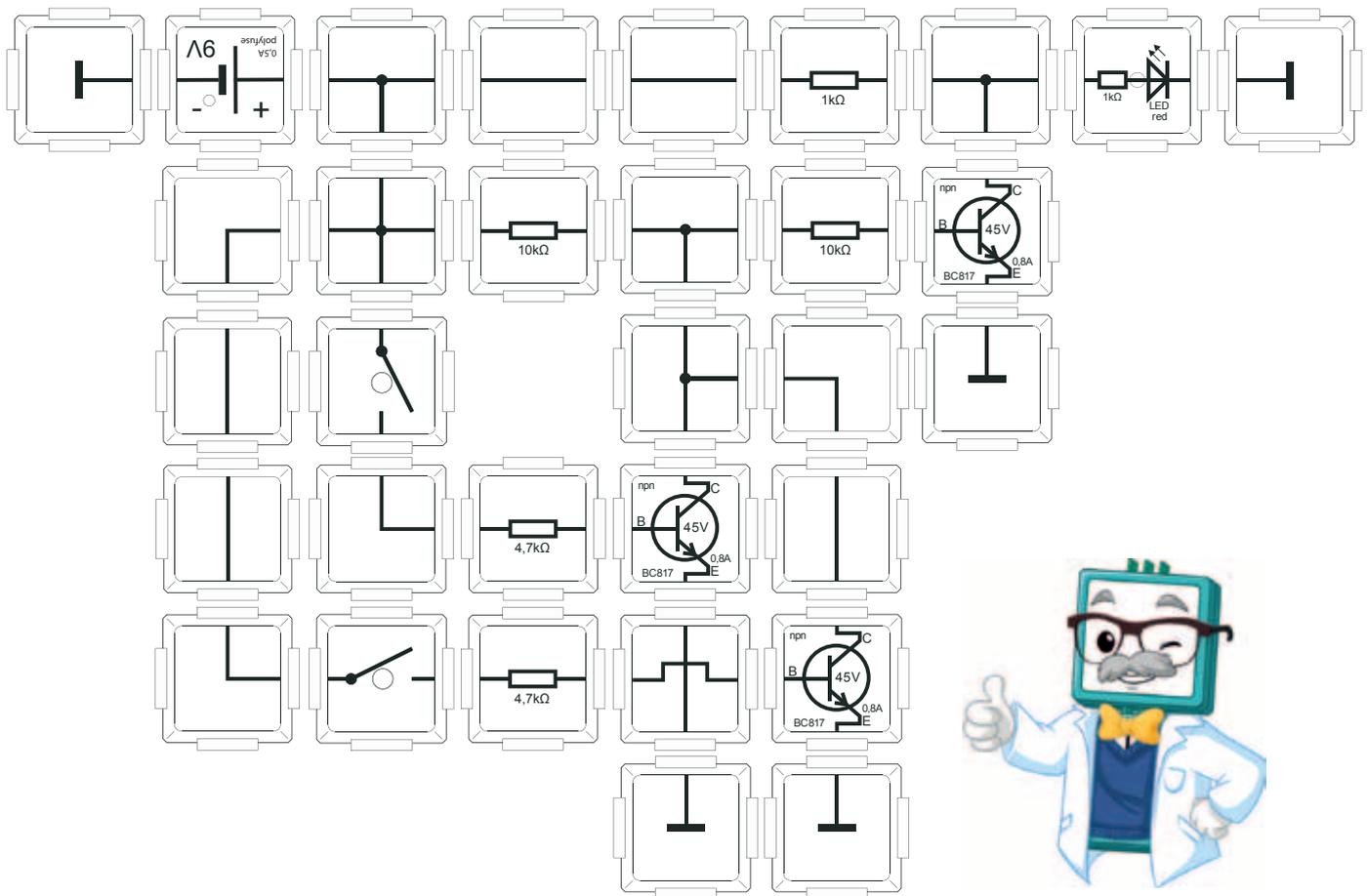


Taster1	Taster2	Rote LED
AUS (0)	AUS (0)	AUS (0)
EIN (1)	AUS(0)	AUS (0)
AUS (0)	EIN(1)	AUS (0)
EIN (1)	EIN (1)	<b>EIN (1)</b>

Die rote LED leuchtet nur bei der Schalterstellung, die in der letzten Zeile der Tabelle dargestellt ist, also doppelt verneint: Wenn **nicht** Taster 1 **UND** Taster 2 **nicht** betätigt sind.

## 14.6 OR-Schaltung

Eine OR-(ODER)-Schaltung lässt sich durch eine doppelte Negation genauso umsetzen wie die UND-Schaltung im vorangegangenen Versuch. Hierzu verwenden wir zwei zueinander parallel geschaltete Schaltkreise. Die ODER-Verknüpfung ist mit der Parallelschaltung der Transistoren realisiert, die von den Tastern gesteuert werden. Diese wird dann zweimal negiert, so dass sie der Schaltlogik nach, wieder eine ODER-Verknüpfung ergibt.



Taster1	Taster2	Rote LED
AUS (0)	AUS (0)	AUS (0)
EIN (1)	AUS (0)	<b>EIN (1)</b>
AUS (0)	EIN (1)	<b>EIN (1)</b>
EIN (1)	EIN (1)	<b>EIN (1)</b>

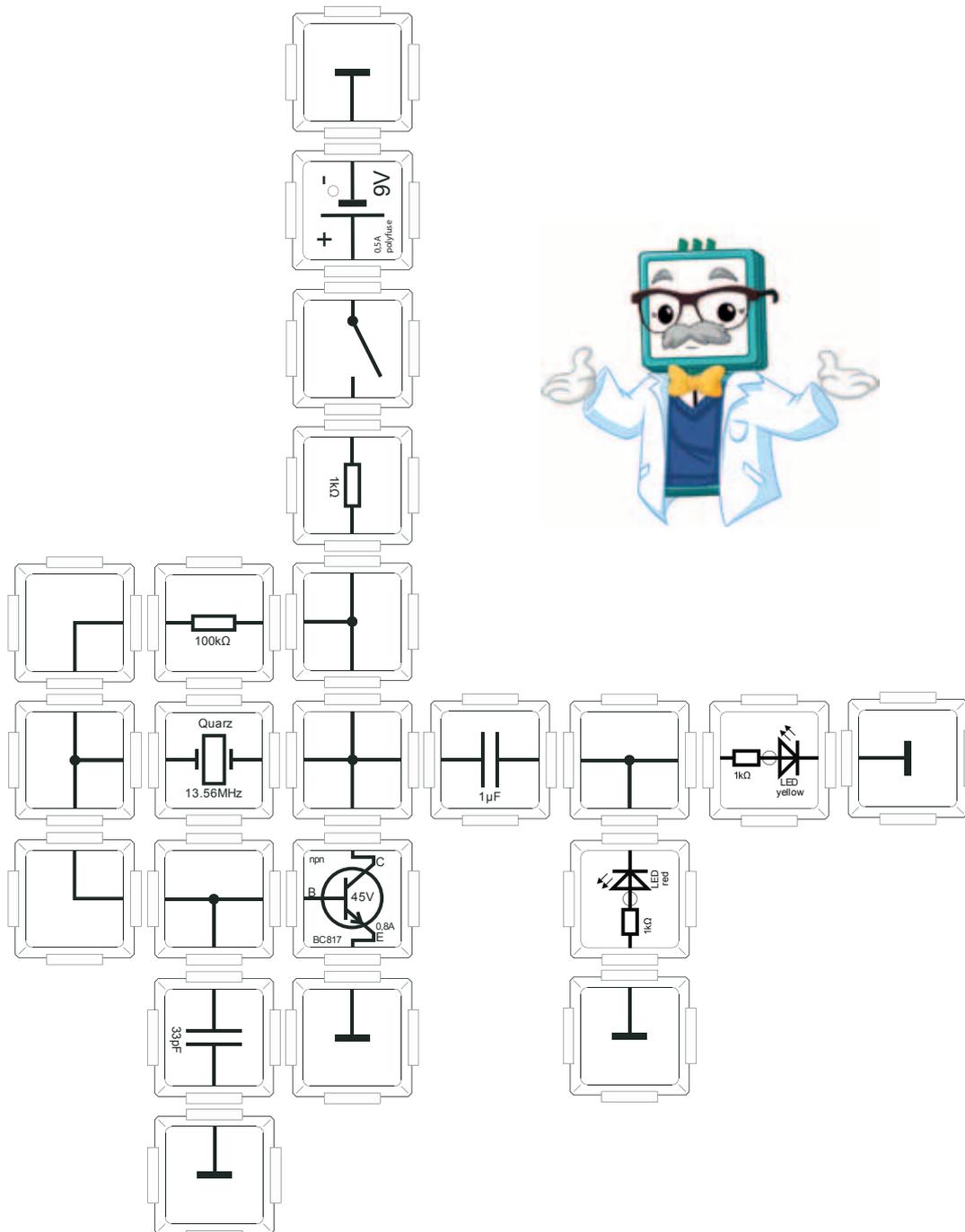
Die rote LED leuchtet nur bei der Schalterstellung, die in den letzten drei Zeilen der Tabelle dargestellt ist, also wenn **(nicht)** Taster 1 **ODER** Taster 2 **(nicht)** betätigt sind.

# 15. Oszillatoren

## 15.1 HF Generator 13,56 MHz ISM Band

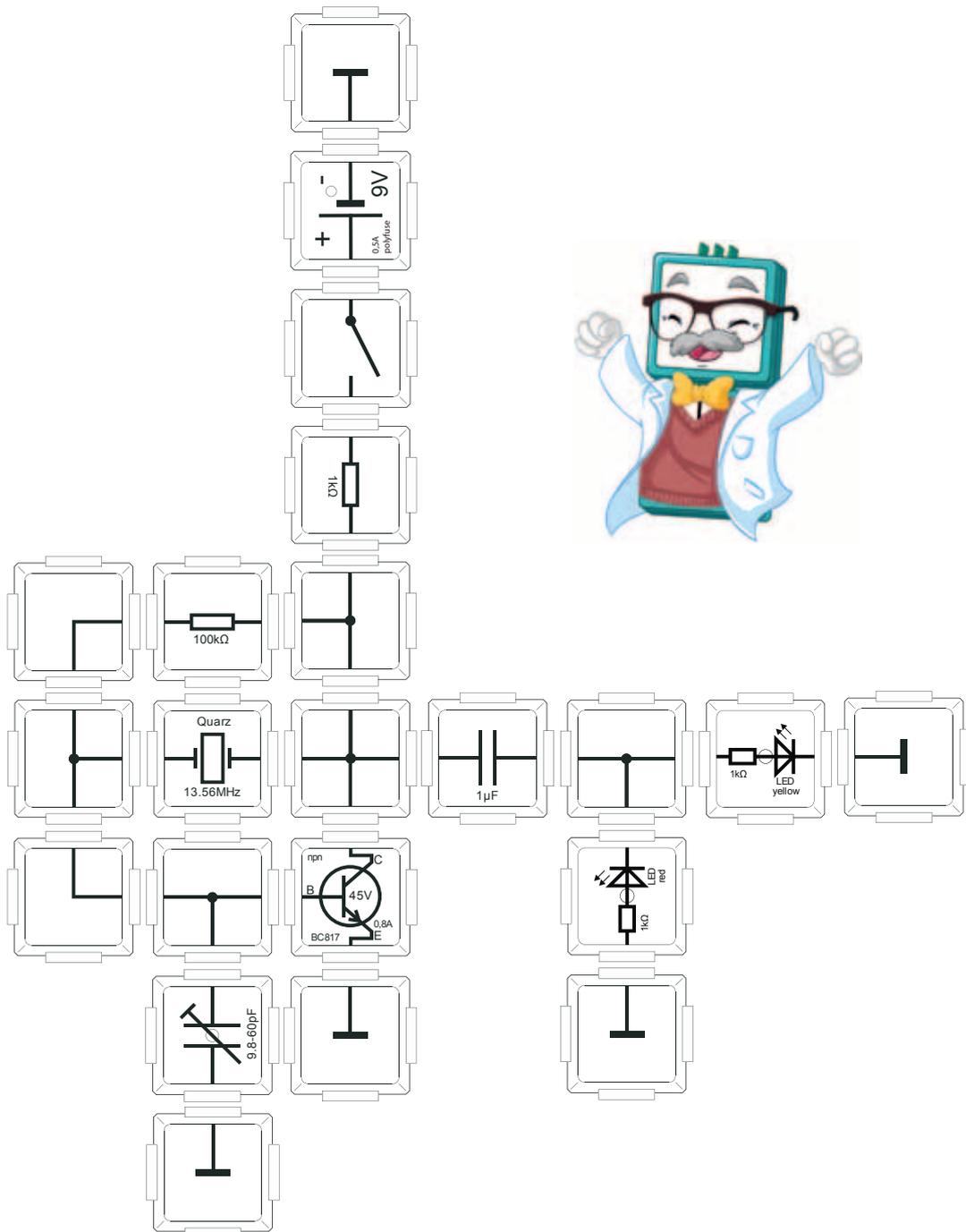
Die Oszillator-Schaltung verwendet eine Frequenz des lizenzfreien ISM Bands (deutsch: Industrie-, Wissenschaft- und Medizin-Band). Die Funkfrequenzen sind in Bänder unterteilt, um Störungen zu vermeiden. Unser Schwingquarz erreicht mit 13,56MHz das untere Spektrum dieses Bandes. Viele handelsübliche Transponder (z.B. RFID) senden auch auf dieser Wellenlänge. Der in unserer Schaltung verwendete Schwingquarz zeichnet sich durch eine hohe Stabilität aus. Die Frequenz kann durch einen Kondensator noch erhöht werden. In unserem Beispiel ist das der 33pF -Kondensator. Um die konventionellen Frequenzen von Funk bzw. Radio nicht zu stören, schließen Sie bitte keine Antenne an, da die Schaltung Nebenfrequenzen erzeugt, die ein ganzzahliges Vielfaches der Resonanzfrequenz des Schwingquarzes sind. Sie können die Hochfrequenz (HF) auch mit einem Weltempfänger auf Kurzwelle mit Einseitenband-Demodulation (SSB) empfangen. Die Funktion des Senders ist hier trickreich durch die beiden LEDs nachgewiesen.

Der Kondensator wirkt im Wechselstromkreis wie ein Widerstand. Da er Gleichspannung "herausfiltert", gelangen nur die Wechselstromanteile an die LEDs. Die rote LED zeigt die negative und die gelbe LED die positive Halbwelle an. Auf Grund der hohen Schaltfrequenz äußert sich der Effekt optisch durch ein gleichzeitiges schwaches Leuchten beider LEDs. Die Trägheit der Photorezeptoren des menschlichen Auges bewirkt, dass Lichtsignale mit Frequenzen oberhalb von ca. 100Hz als flimmerfreies statisches Leuchten wahrgenommen werden.



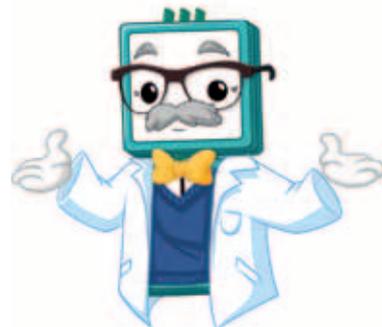
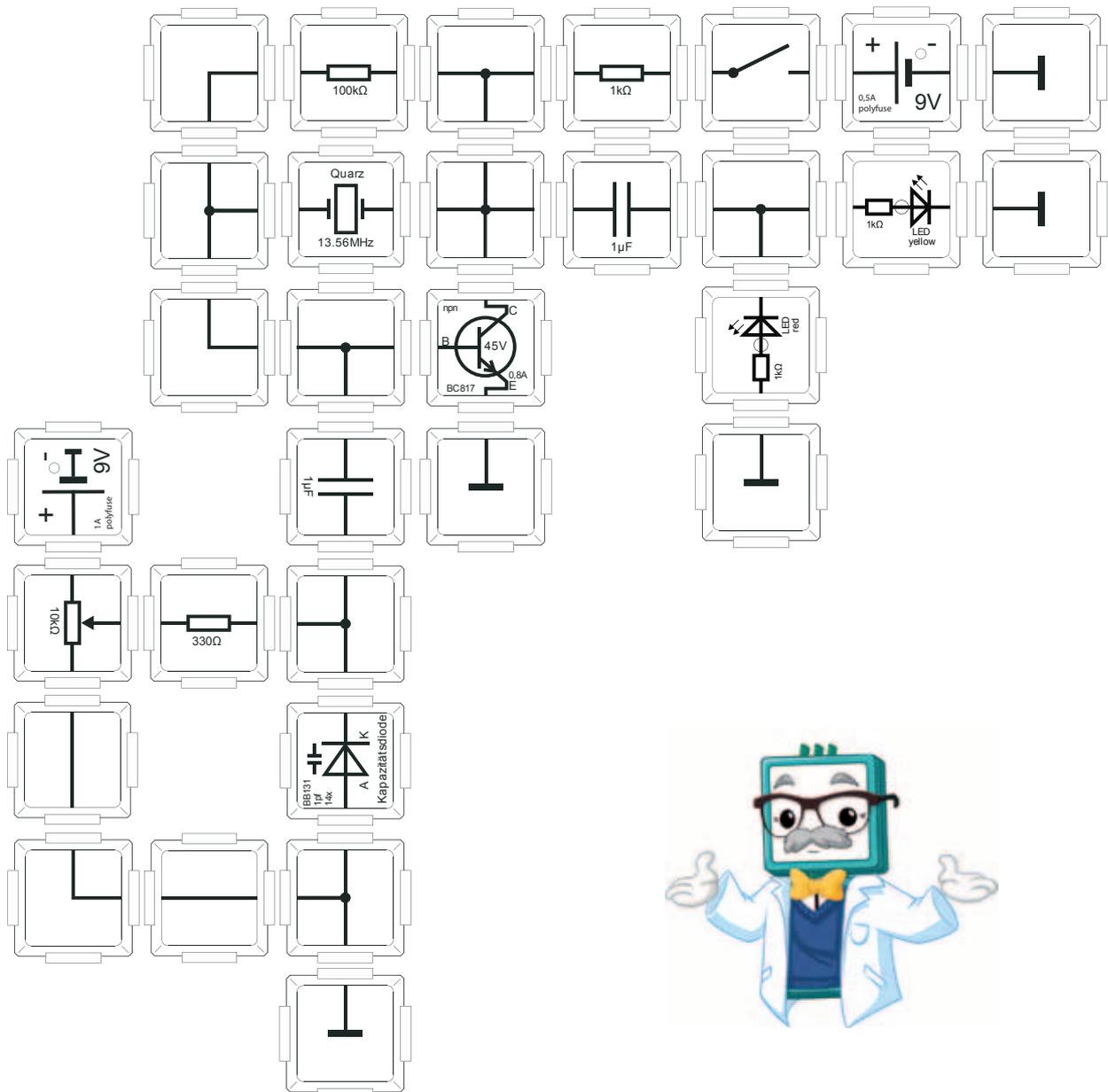
## 15.2 Quarzoszillator mit Abstimmung (Trimmung)

Die Schaltung erzeugt einen unmodulierten Träger, aber wenn man einen SSB Empfänger verwendet kann man durch Verstimmen einen Ton hörbar machen. Die Tonhöhe lässt sich dann auch durch ändern des Trimmers (also Verändern der Trägerfrequenz) einstellen. Die Einseitenband-Modulation (SSB) ist ein älterer, heute noch verwendeter Funkstandard, gerne im amateurfunk verwendet, gibt es aber auch als Option bei einigen Weltempfängern. Er hat den Vorteil, dass die gesamte Sendeenergie für die Informationsübermittlung verwendet wird. Im Versuch 15.1 ist die Frequenz konstant, daher ist im Weltempfänger ein konstanter Pfeifton zu hören. Mit dem veränderbaren Kondensator trimmen wir die Resonanzfrequenz des Schwingquarzes etwas, so dass die Tonart variiert wird. Ein herkömmliches Radio verarbeitet unser Signal als ein sich veränderndes Rauschen, da der Scheitelwert der Schwingung keine Änderung erfährt.



## 15.3 Quarzoszillator mit Kapazitätsdiode zur Trimmung

Die Kapazitätsdiode ist ein besonderes elektronisches Bauelement. Sie verändert, in Sperrrichtung geschaltet, ihre Kapazität in Abhängigkeit von der angelegten Spannung. Das physikalische Grundprinzip hierfür ist einfach. Die Sperrschicht in der Diode fungiert als Dielektrikum und verändert ihre Dicke in Abhängigkeit der angelegten negativen Spannung. Je größer der Betrag dieser Spannung, desto kleiner ist die Kapazität. Die Kalibrierung der Diode kann somit über ein Potentiometer sehr genau erfolgen. Auch hier sind im Weltempfänger mit SSB Modulation die Hochfrequenzen nachweisbar. Die verwendete Diode (BB131) hat ein Kapazitätsintervall von 1pF bis 14pF. Diese Kapazitäten sind für Kondensatoren sehr gering und nur für bestimmte Anwendungen geeignet. Da die Frequenz sehr hoch ist, kann trotz der geringen Kapazität deren Beeinflussung erfolgen.



## 15.4 Oszillator-Schwingkreis mit Kondensator und Spule

Eine weitere Möglichkeit eine elektrische Schwingung zu erzeugen ist die Zusammenschaltung von Kondensator und Spule. Beide haben genau entgegengesetzte Eigenschaften. Am Kondensator eilt die Stromstärke der Spannung voraus und an der Spule die Spannung der Stromstärke. Da beide einen frequenzabhängigen Widerstand besitzen, den Blindwiderstand, ist dieser genau entgegengesetzt gerichtet. Die Ladung pendelt quasi zwischen diesen Bauteilen. Die sich daraus ergebende Resonanzfrequenz ist nur von der Kapazität des Kondensators und der Induktivität der Spule abhängig. Wir verdeutlichen das an unseren antiparallel geschalteten Dioden. Wenn beide leuchten, ist eine Wechselspannung realisiert. Mit einem Oszilloskop oder einem Frequenzmessgerät kann diese zwischen Masse und der Anode der roten LED nachgeprüft werden.

Die Thompson'sche Schwingungsformel gibt die Resonanzfrequenz ( $f_0$ ) an:

$$f_0 = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}}$$

Für die Mittelstellung des veränderbaren Kondensators (300pF) ergibt sich:

$$f_0 = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{10\mu H * 300pF}}$$

$$f_0 = ca. 3MHz$$

Mit anderen Spulen:

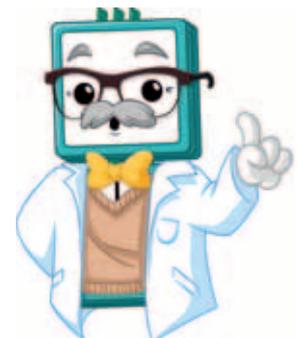
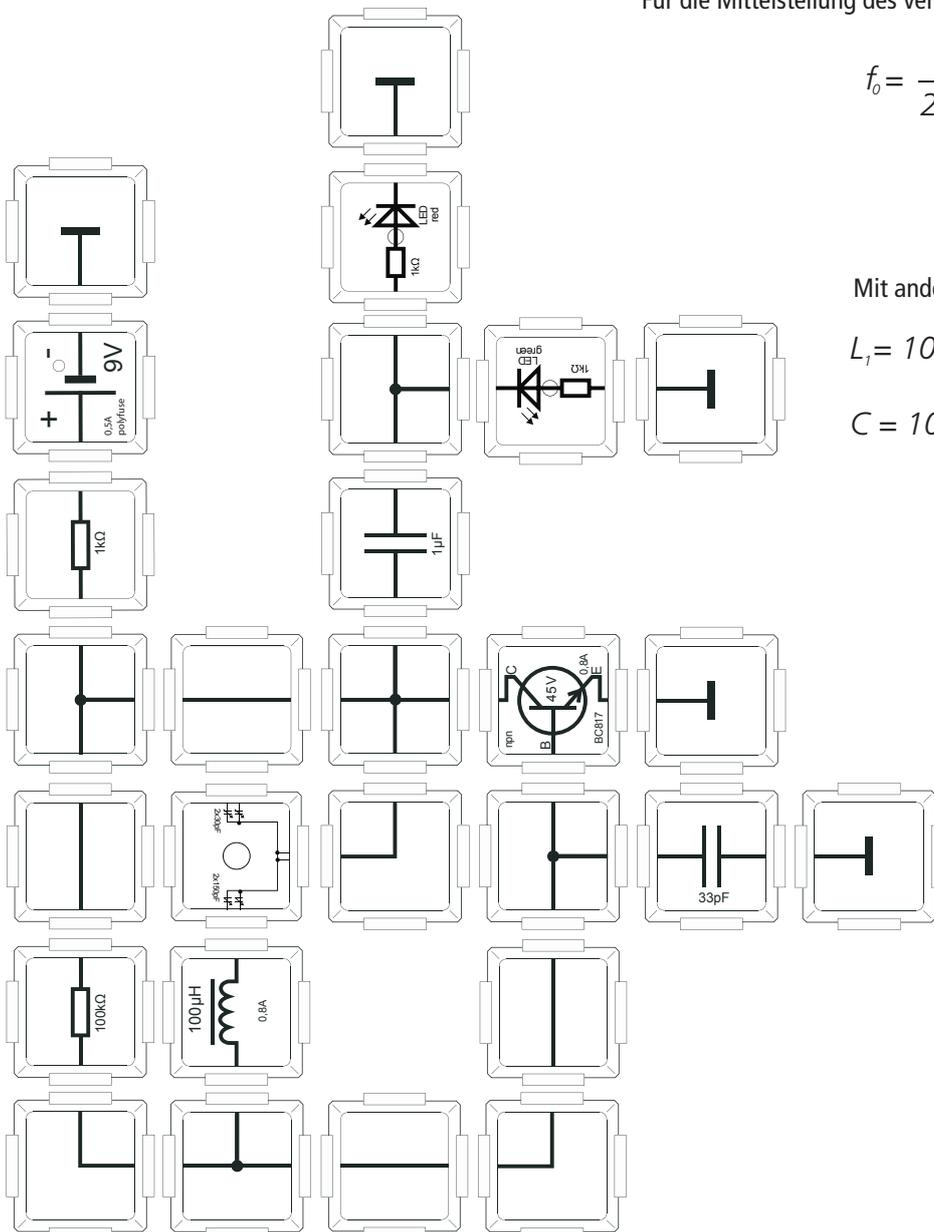
$$L_1 = 10\mu H, L_2 = 22\mu H, L_3 = 100\mu H,$$

$$C = 10 - 300pF$$

$$f_1 =$$

$$f_2 =$$

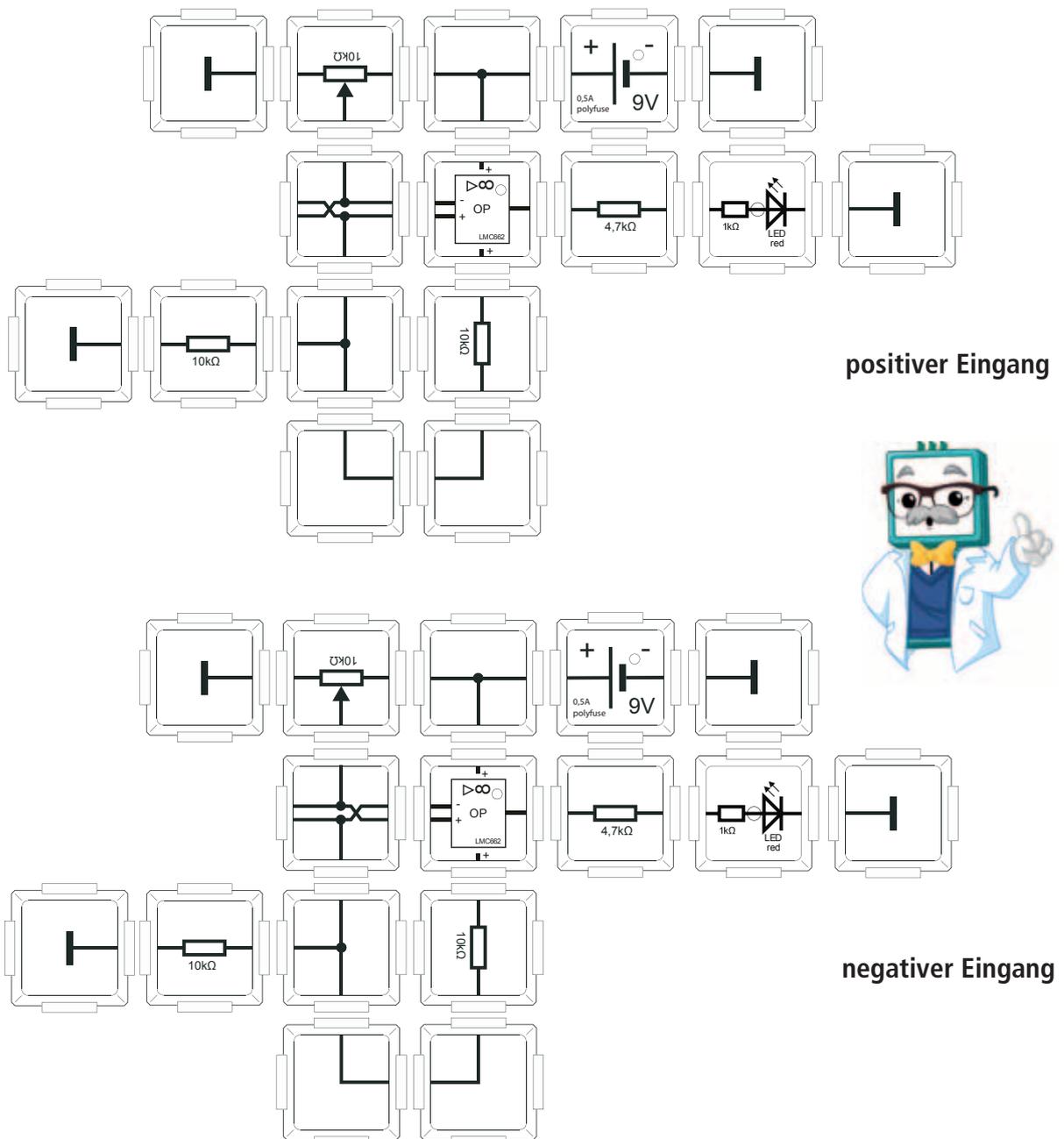
$$f_3 =$$



# 16. Der Operationsverstärker

## 16.1 Funktion des OPAMP (OperationAmplifier)

Der Operationsverstärker ist ein komplexer integrierter Schaltkreis. Er kann den Spannungsunterschied an seinen zwei Eingängen, von denen einer mit einem Plus und einer mit einem Minus gekennzeichnet ist, verstärken. Die Verstärkung beträgt mehrere Hunderttausend. Der OPAMP ist aus MOSFETs aufgebaut, deshalb ist der Stromfluss an seinen Eingängen im Femtobereich (10<sup>-15</sup>) liegend sehr klein. MOSFETs können schon durch elektrostatische Ladung zerstört werden. Daher müssen Sie sehr vorsichtig im Umgang mit diesem Brick sein. Der Spannungsteiler aus den 10kΩ-Festwiderständen halbiert die Versorgungsspannung. Die Polarität der Ausgangsspannung wechselt, wenn die Schwelle von 4,5V unterschritten wird und die rote LED erlischt. Der Vorzeichenwechsel der Ausgangsspannung findet beim Drehen des Potentiometers im Uhrzeigersinn, beim Überschreiten der Mittelstellung, statt. In der zweiten Schaltung ist der Brick an den Eingängen waagrecht gedreht, so dass die Polaritätsumkehr erfolgt und das Potentiometer in entgegengesetzter Richtung verstellt werden muss, um dieselbe Wirkung zu erzielen.



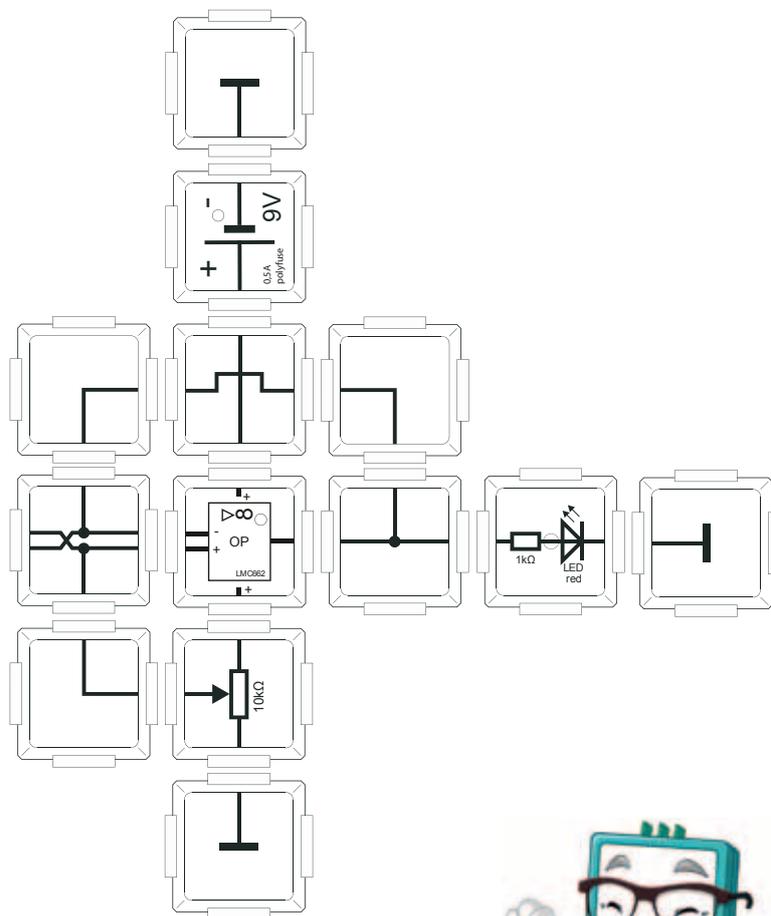
## 16.2 OPV als Spannungsfolger

Operationsverstärker haben mehrere Grundschaltungen. Eine, den Differenzverstärker, haben wir schon kennengelernt. Eine weitere ist die Beschaltung als Spannungsfolger. Hier wird der Minus-Eingang des OPVs mit seinem Ausgang verbunden und der Plus-Eingang über ein Potentiometer an Masse angelegt, so dass die Spannungsdifferenz null ist. Der OPV versucht die Spannungsdifferenz auszusteuern und folgt schließlich der Spannung, die am Plus-Eingang anliegt.

Es gilt:  $U_+ = U_-$  und  $U_- = U_a$ . Daraus folgt:  $U_a = U_+$ .

Die Leuchtintensität der roten LED kann jetzt mit dem Potentiometer gesteuert werden. Der Vorteil dieser Beschaltung ist, dass durch die Hochohmigkeit des Eingangs das Potentiometer nur sehr gering belastet wird, im Gegensatz zu einer direkten Steuerung über das Potentiometer.

Daher können auch andere Bauelemente verwendet werden, die einen viel höheren Widerstand besitzen, als das  $10k\Omega$ -Potentiometer.



## 16.3 OPV als nicht invertierender 11:1 Verstärker

Der Spannungsfolger ist eine Sonderform des Verstärkers, bei dem der Verstärkungsfaktor 11 ist. Dieser Faktor ist durch das Widerstandsverhältnis des Widerstandes am Minus-Eingang zu Masse zum Gesamtwiderstand des Ausgangs gegen Masse genau definiert.

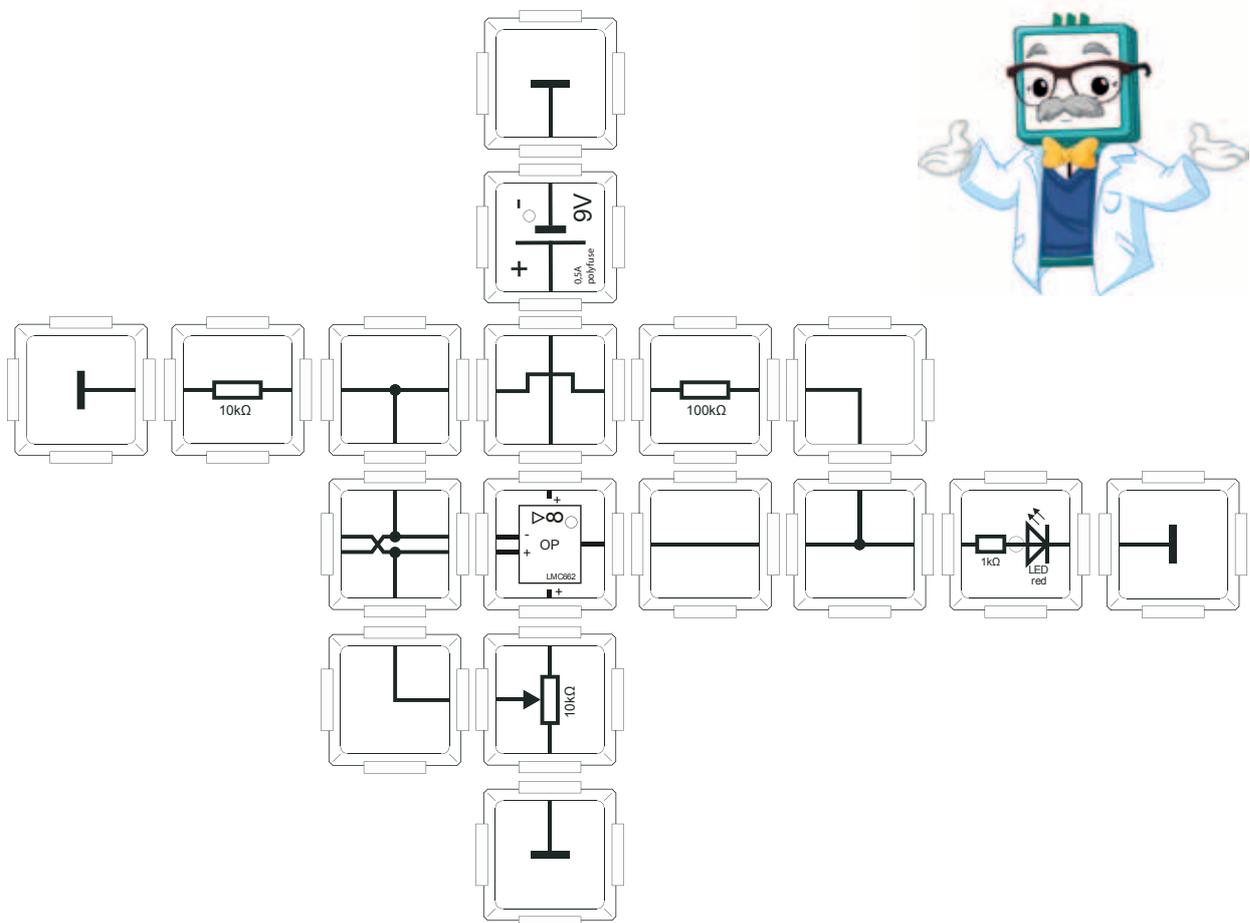
Es gilt:

$$U_{+} = U_{-} = U_a * \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \text{ umgeformt:}$$

$$U_a = (U_{-}) * \frac{R_1 + R_2}{R_1}, \text{ in unserem Fall, mit konkreten Werten:}$$

$$U_a = (U_{+}) * \frac{10k\Omega + 100k\Omega}{10k\Omega}, U_a = 11 * (U_{+}), \text{ der Verstärkungsfaktor beträgt } 11.$$

Also ist die Ausgangsspannung 11-mal höher als die Eingangsspannung. Wird die Eingangsspannung über das Potentiometer jetzt geändert, ändert sich die Ausgangsspannung wesentlich schneller und die Intensität der LED ebenso. Die Ausgangsspannung kann nicht über einen Maximalwert hinaus erhöht werden. Dieser ist folgerichtig bei einem Elftel der Eingangsspannung zur Versorgungsspannung erreicht. Danach ist keine Änderung der Leuchtintensität der LED mehr zu beobachten, ihr Maximalwert ist erreicht. Die Polarität der Ausgangsspannung ist positiv (nicht invertierend), da der Plus-Eingang beschaltet ist.



## 16.4 OPV als invertierender 10:1 mit virtueller Masse

Die folgende Schaltung besitzt zwei Lernziele: Die Erzeugung einer virtuellen Masse und die Änderung der Spannung am negativen Eingang. Eine einfachere Realisierungsmöglichkeit ist eine negative Spannung am Minus-Eingang anzulegen, um eine positive Ausgangsspannung zu erhalten bzw. diese zu verstärken. Der Verstärkungsfaktor beträgt -10. Er wird gegeben durch:

$$(U_+) = (U_-) \text{ mit } U_+ = \frac{1}{2} U_{max} = 4,5V, \text{ es gilt also:}$$

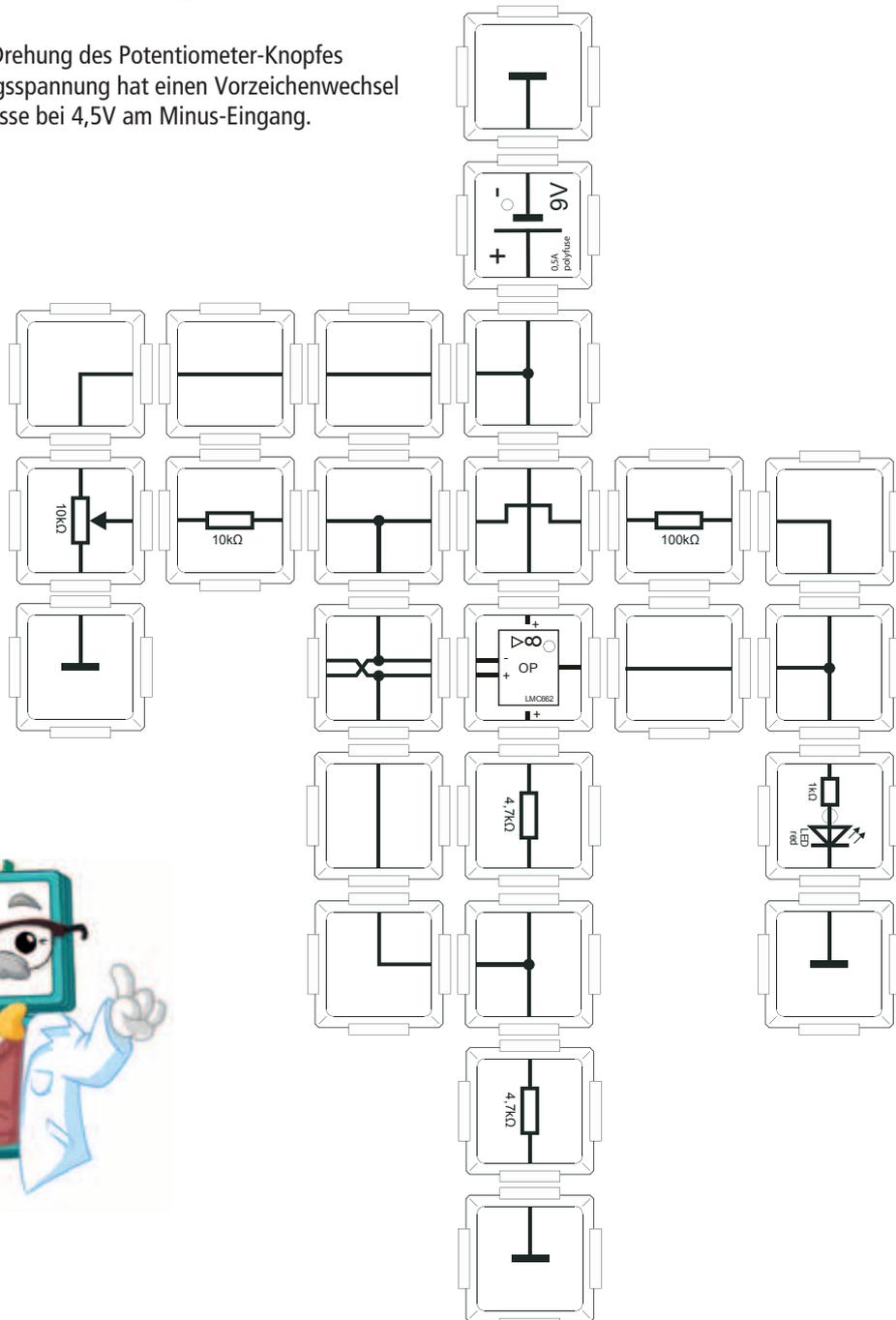
$$(U_-) = (U_a - U_e) * \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_e = (U_+) = \frac{1}{2} U_{max}$$

Um die Ausgangsspannung zu erhalten, muss der Term nach  $U_a$  auf gelöst werden.

$$U_a = ((U_-) - U_e) * \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right) + U_e, U_a = (U_-) * \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_e * \frac{R_2}{R_1}$$

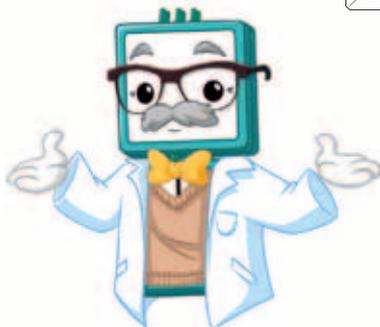
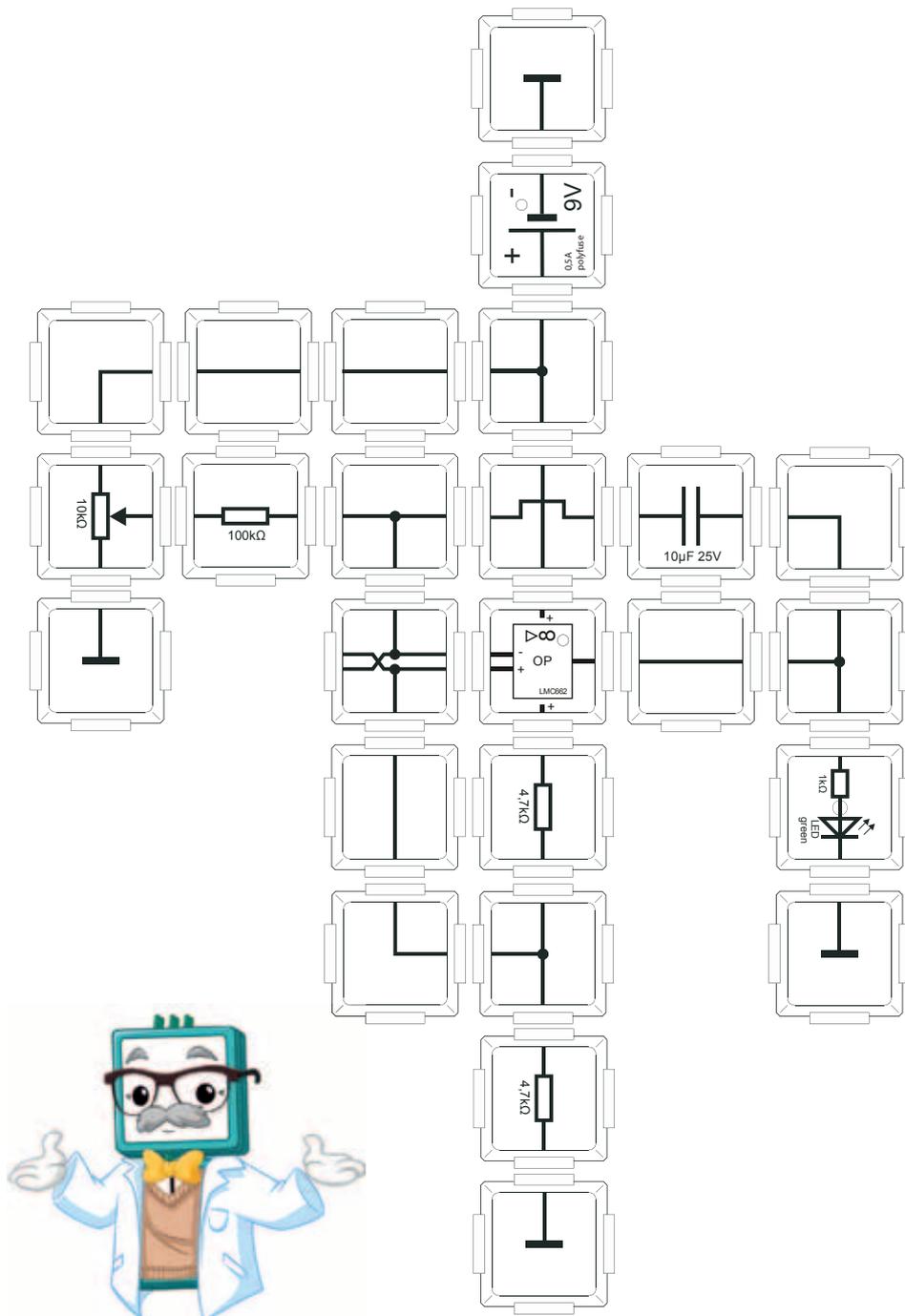
wenn  $(U_+) = 0V$  ist, dann ist  $U_a = U_e \frac{100k\Omega}{10k\Omega}$  Das entspricht einem Verstärkungsfaktor von -10 für 100kΩ und 10kΩ

Die rote LED leuchtet bei der Drehung des Potentiometer-Knopfes im Uhrzeigersinn. Die Ausgangsspannung hat einen Vorzeichenwechsel und man hat eine virtuelle Masse bei 4,5V am Minus-Eingang.



## 16.5 OPV als Integrator

Auch komplexe mathematische Operationen wie das Integrieren lassen sich mit dem OPV nachbilden. Die Integration bestimmt den Flächeninhalt unter einer Funktion, deren Teile addiert werden. Diese Summe bildet in der folgenden Schaltung der Kondensator, er lädt sich in Abhängigkeit von der Zeit auf, so dass das Verstärkungsverhältnis langsam zunimmt, bis die Versorgungsspannung erreicht ist. Es hat den Eindruck als würde die LED träge reagieren, der Kondensator "integriert" die Spannungsdifferenz am Eingang. Bei der Mittelstellung des Potentiometers ist die LED erloschen, da hier die Differenz zwischen den Eingängen null ist. Dies ist unter anderem durch die sehr hohe Verstärkung des OPV und Ungenauigkeiten der Widerstände erklärbar. Bei Linksdrehung steigt die Ausgangsspannung an, bei Rechtsdrehung ist sie negativ, so dass die LED hier nicht leuchtet.

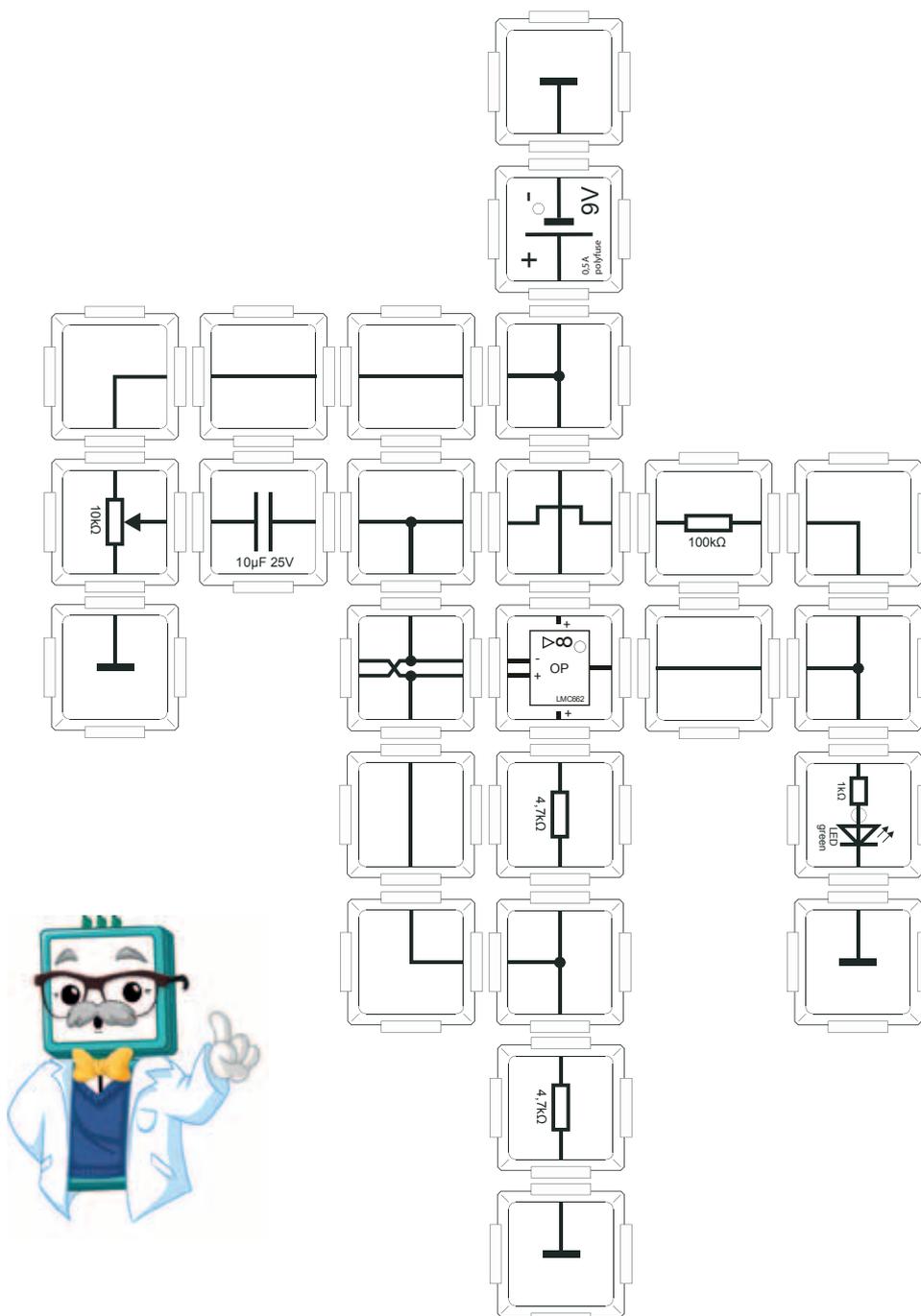


## 16.6 OPV als Differenzierer

Ein Differenzierer verstärkt die Spannungsänderung nach der Zeit an seinem Eingang. Der Bezug ist auch hier wieder die halbe Versorgungsspannung. Er ist nicht mit dem Differenzverstärker zu verwechseln! Die mathematische Operation ist die Differentiation, in ihr wird der Grenzwert einer Kurve an einer Stelle bestimmt. Beide Rechenoperationen, die Differential- und die Integralrechnung, sind auf die Grenzwerte zurückzuführen und werden daher als Infinitesimalrechnung bezeichnet.

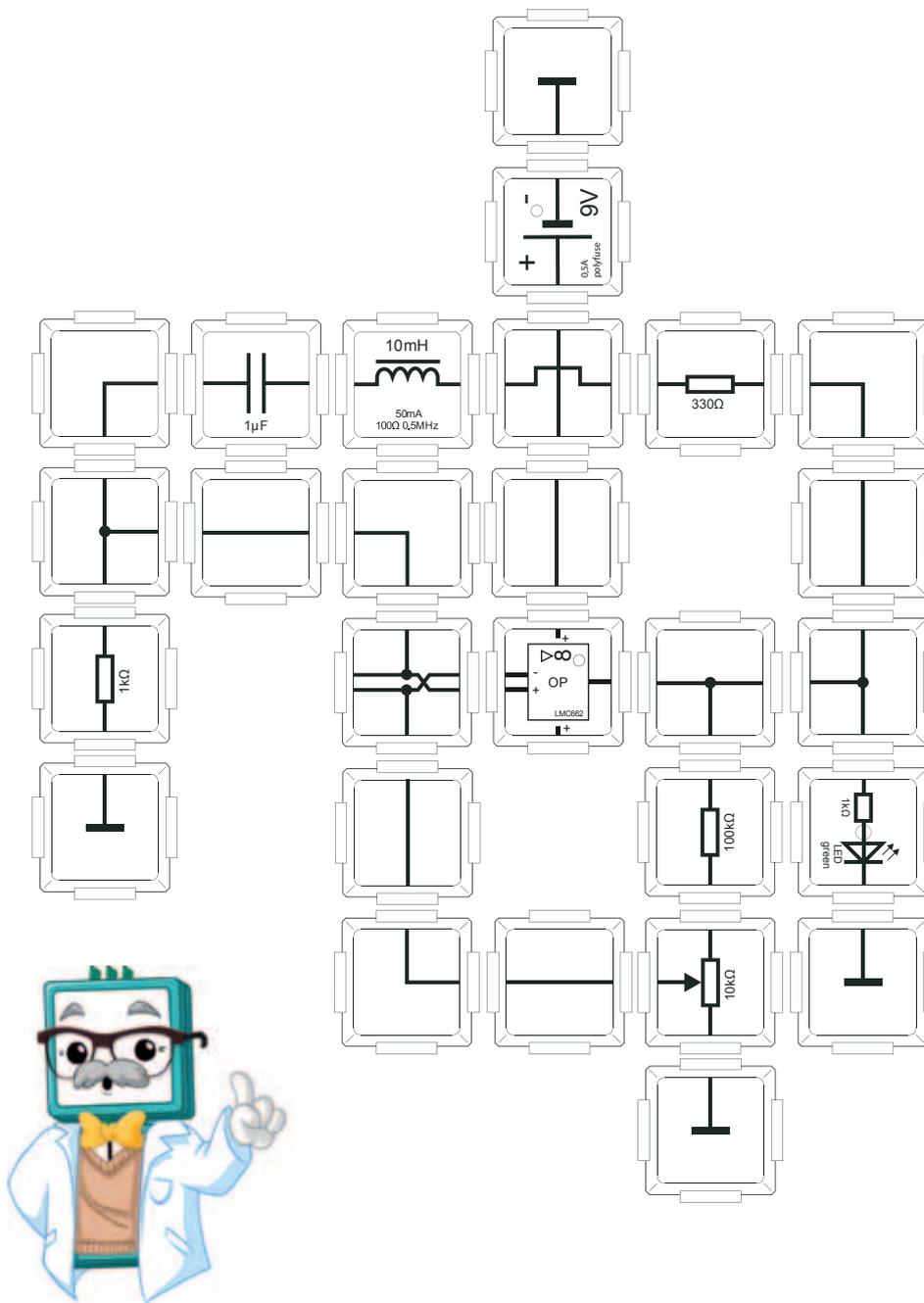
Diese wurde von Leibnitz und Newton zeitgleich und voneinander unabhängig im 17. Jahrhundert entdeckt. Der Kondensator hat nur zu Beginn der Spannungsänderung einen geringen Widerstand, so dass der OPV eine Ausgangsspannung, definiert über das Widerstandsverhältnis, liefert. Nach kurzer Zeit wird der Widerstand des Kondensators sehr groß und der Verstärkungsfaktor ist sehr klein. Er ist um ein "vielfaches" kleiner als eins bzw. die Dämpfung wird unendlich.

Sie müssen den Potentiometerknopf ständig hin- und her-drehen, damit die LED blinkt, da bei konstantem Spannungsfall am Potentiometer keine Änderung mehr stattfindet, und die grüne LED wird dunkel, geht aber nicht aus.



## 16.7 OPV als Oszillator mit Spule und Kondensator

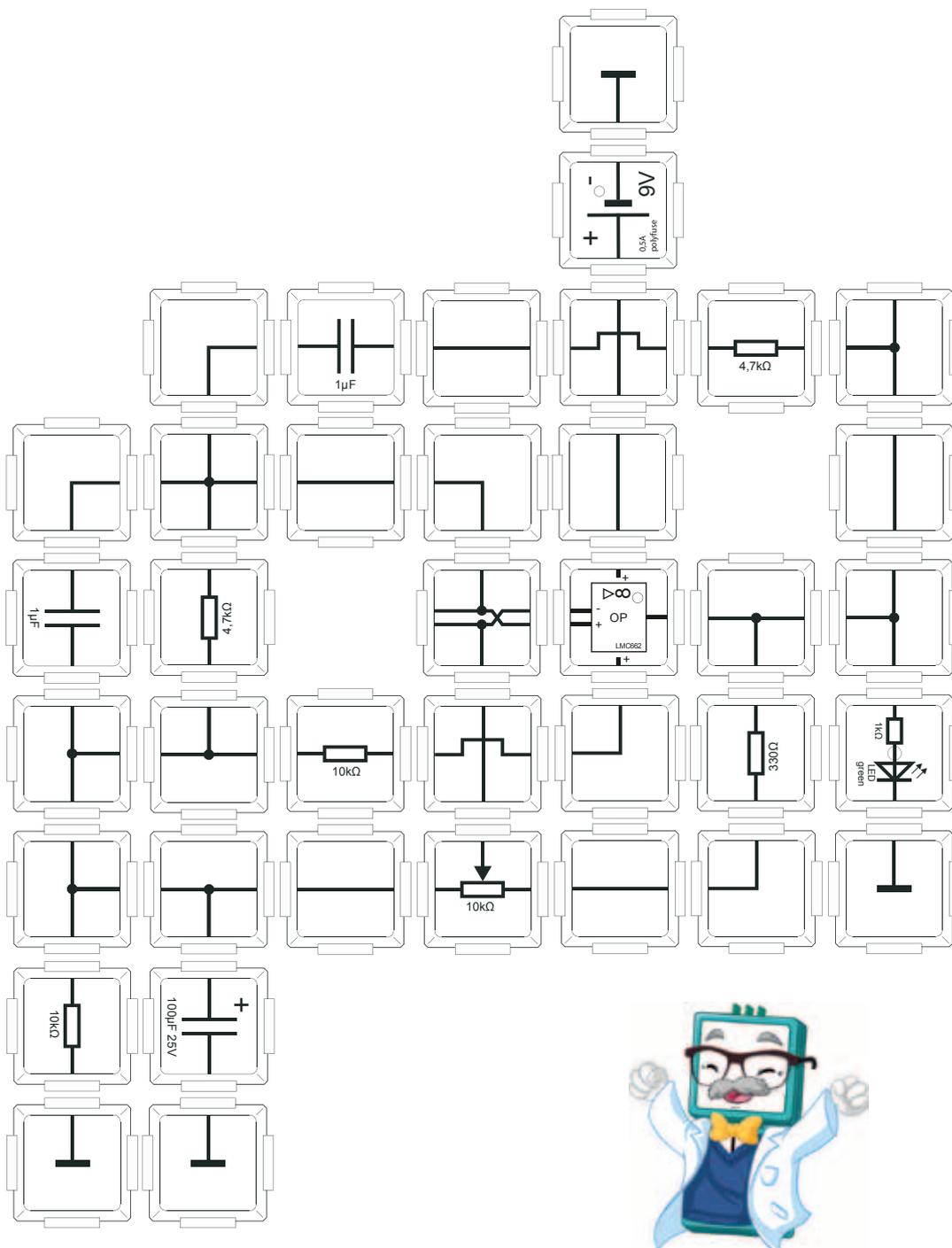
Der Operationsverstärker dient auch zur Schwingungserzeugung. Der "Taktgeber" ist eine klassische Reihenschaltung aus Kondensator und Spule, die an den Plus-Eingang geschaltet ist und die Rückkopplung des Ausgangs an den Eingang realisiert. Die Amplitude der Ausgangsspannung ist über das am Minus-Eingang liegende Potentiometer und den Verstärkungsfaktor (5,7) des Widerstandsverhältnisses von  $4,7\text{k}\Omega$  und  $1\text{k}\Omega$  gegeben. Die grüne LED leuchtet bei der Drehung des Potentiometerknopfes im Uhrzeigersinn.



## 16.8 OPV Wien-Robinson-Oszillator

Die klassische Wien-Robinson Brückenschaltung verwendet nur Widerstände und Kondensatoren, keine Spulen, um eine Schwingung zu erzeugen. Wenn der Verstärkungsfaktor genau drei beträgt, liegt am Ausgang ein Sinussignal an. Die Einstellung dieses Arbeitspunktes ist sehr sensibel. Bitte achten Sie unbedingt auf die Polung dieses Elektrolytkondensators. Die Anode (+) darf nicht an den Masse-Brick angeschlossen sein.

In der folgenden Schaltung zeigen wir eine bessere Alternative zum Erzeugen einer Sinusschwingung. Bei einem Verstärkungsfaktor größer drei, schwingt die Schaltung auf und es entsteht eine Rechteckspannung, da die Ausgangsspannung sehr schnell auf ihren Maximalwert steigt. Ist der Verstärkungsfaktor kleiner als drei, schwingt die Schaltung ab, so dass die grüne LED nicht mehr leuchtet. Über den Spannungsteiler der beiden  $10\text{k}\Omega$ -Widerstände wird am Plus-Eingang eine virtuelle Masse von der halben Versorgungsspannung erzeugt. So ist es leichter ein Sinussignal zu realisieren. Über das Potentiometer wird der Arbeitspunkt eingestellt. Ist er überschritten, bei einem Rechtecksignal, verändert er auch die Frequenz. Der  $100\mu\text{F}$ -Kondensator dient zur Glättung der Ausgangsspannung.



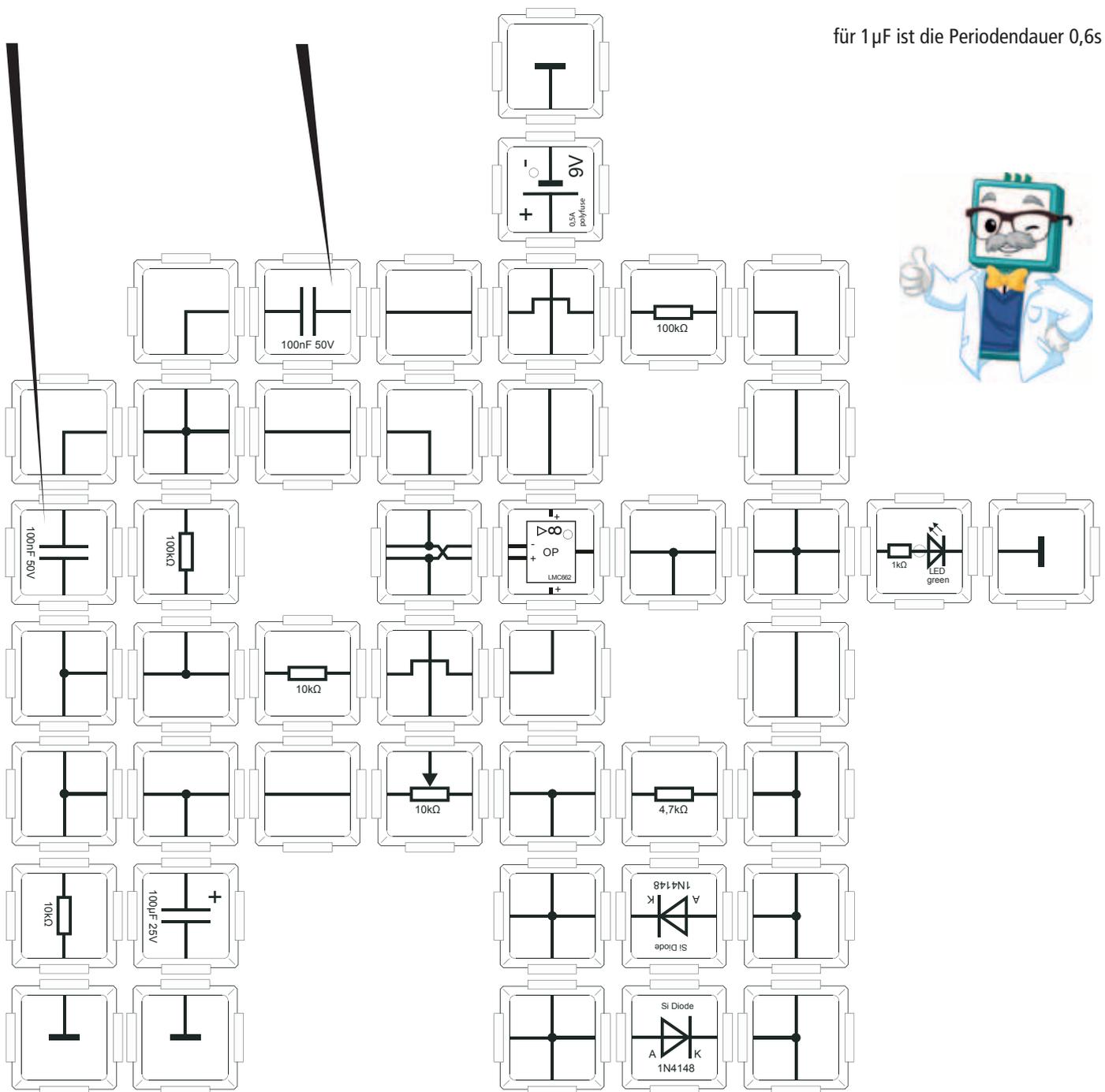
## 16.9 Wien-Robinson Oszillator mit Stabilisierung

Die im Versuch 16.8 vorweggenommene verbesserte Version des Wien-Robinson Oszillators verwendet zwei antiparallel geschaltete Dioden, um ein Aufschwingen zu verhindern. Die Amplitude kann jetzt den Höchstwert der Versorgungsspannung nicht mehr überschreiten. Die Einstellung des Arbeitspunkts ist somit sehr leicht, da dieser nur erreicht bzw. überschritten werden muss und danach über die Dioden stabilisiert wird. Bitte achten Sie genau auf die Änderungen zur vorhergehenden Schaltung! Das Kondensator-Widerstandsverhältnis wird unter Verwendung der beiden 100nF-Kondensatoren und 100kΩ-Widerstände verändert, ohne die Frequenz zu beeinflussen, um mit allen im Set enthaltenen Bricks zurechtzukommen. Wenn Sie die Kapazität der Kondensatoren um den Faktor zehn erhöhen, wird die Periodendauer so groß, dass die grüne LED blinkt. Jetzt ist das Sinussignal sehr gut zu erkennen.

Für „langsame“ Sinuswelle 2 x 1 μF verwenden!

$$f = \frac{1}{2 * \pi * R * C} = \frac{1}{2 * \pi * 100k\Omega * 100nF} = 16Hz$$

für 1 μF ist die Periodendauer 0,6s

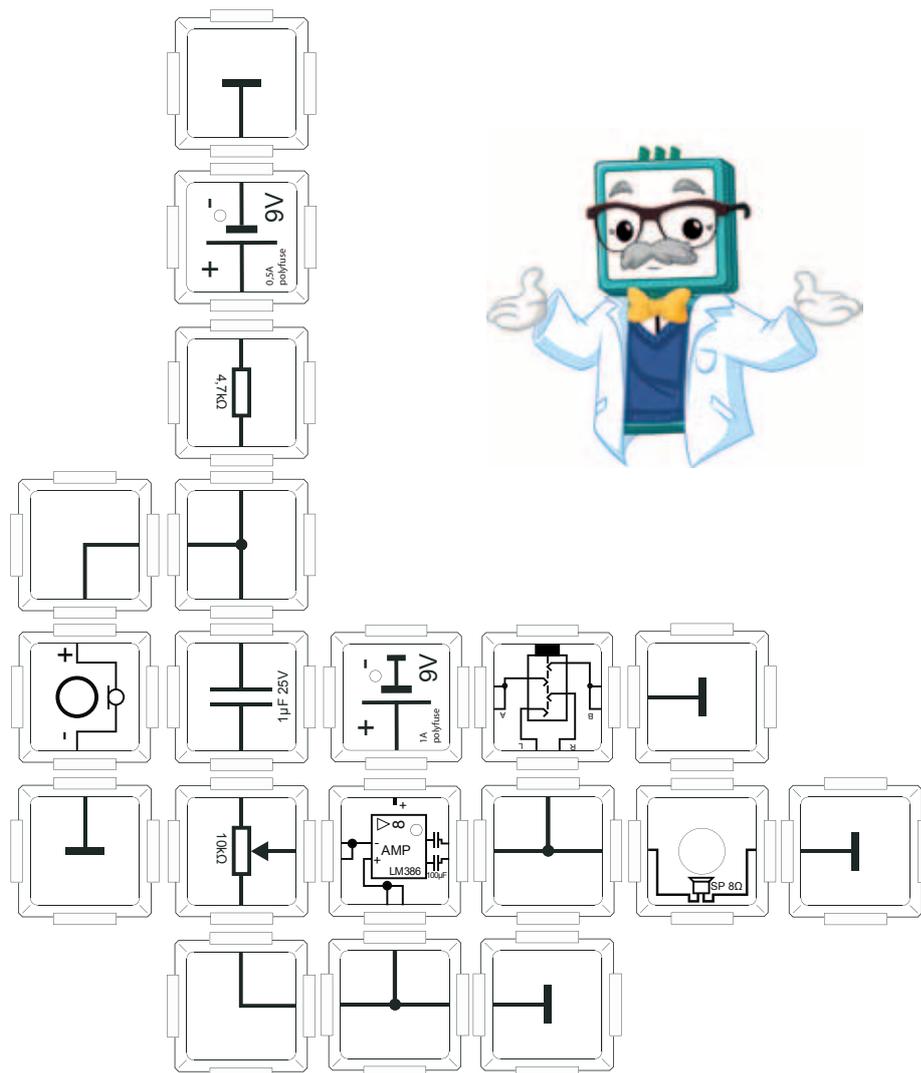


# 17. Audioverstärker mit LM386

## 17.1 Mikrophon und Verstärker

Wir haben mit dem Timer 555 und dem Operationsverstärker bereits zwei Integrierte Schaltkreise (IC) kennengelernt. Ein weiterer IC in unserem Set ist der Audioverstärker LM386. Er entspricht in der Grundschialtung einem Operationsverstärker, der sich speziell für die Verstärkung von akustischen Signalen eignet. So ist der Verstärkungsfaktor auf 200 festgelegt und der Ausgang ist über Kondensatoren gekoppelt um einem 8Ω-Lautsprecher anzusteuern. Bitte beachten Sie die Polarität des Mikrofons! Der 1µF-Kondensator filtert alle Gleichspannungsanteile heraus, und die Amplitude (Lautstärke) wird über unser Potentiometer gesteuert.

Wichtig ist, dass wir zwei getrennte Spannungsquellen verwenden, um Rückkopplungen zu vermeiden. Rückkopplungen entstehen, wenn das Ausgangssignal wieder auf den Eingang zurückgeführt wird und der Schaltkreis aufschwingt. Was als Prinzip der Beschaltung des Operationsverstärkers mit Gegenkopplung (Minus-Eingang) und Mitkopplung (Plus-Eingang) gewollt ist, wird hier vermieden. Eine andere Möglichkeit der Rückkopplung entgegenzuwirken ist ein zwischen Masse und 9V-Potential parallel geschalteter 100µF-Kondensator. Aber um den Versuchsaufbau einfacher zu gestalten, bietet es sich an dieser Stelle an zwei Spannungsquellen zu verwenden. So werden auch minimale Rückkopplungen, wie sie durch Glättung mit einem Kondensator noch möglich sind, vermieden. Die Wirkungsweise ist einfach: Das vom Mikrophon in elektrische Schwingung umgeformte akustische Signal wird vom IC LM386 verstärkt und an den Lautsprecher und die Klinkenbuchse weitergegeben.

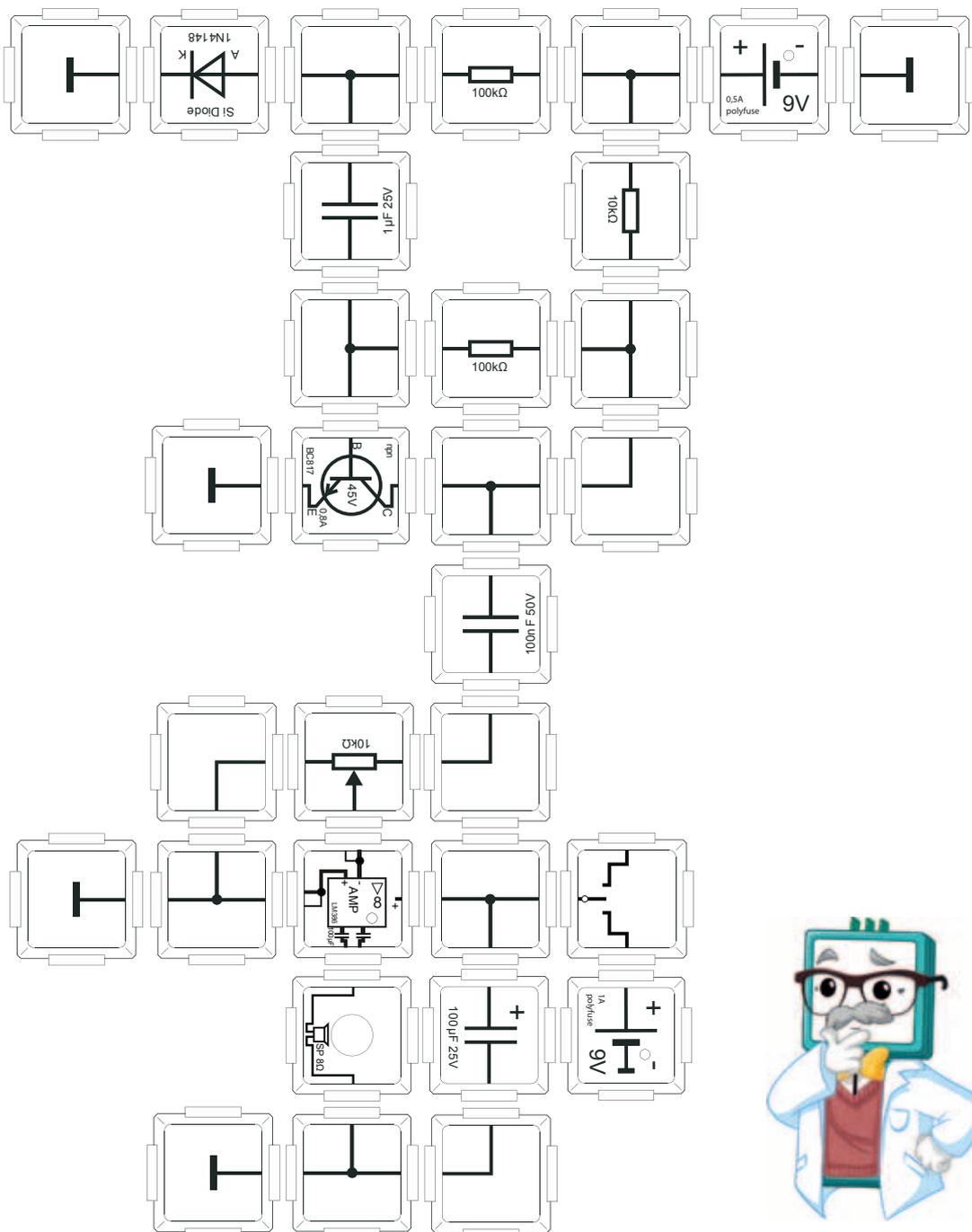


## 17.2 Rauschgenerator

Dioden und andere Halbleiterbauelemente bestehen aus sogenannten Halbmetallen. Sie besitzen sowohl Eigenschaften von Nichtleitern als auch von Leitern. In Halbleitern fluktuieren permanent Ladungen. Diese Fluktuation ist von vielen Parametern abhängig, insbesondere von der Temperatur und kann als Rauschen, der zufälligen, sich überlagernden Summschwingung vieler einzelner Frequenzen aufgefasst werden. Es ist vergleichbar mit dem akustischen Rauschen eines Radios, das keine modulierte Frequenz (Sender) empfängt, oder dem Meeresrauschen. In der nun folgenden Schaltung wird das Rauschen einer Diode durch einen Transistor vorverstärkt und über den LM386 am Lautsprecher ausgegeben.

Bitte achten Sie auf die Polung von Diode und Elektrolytkondensator!

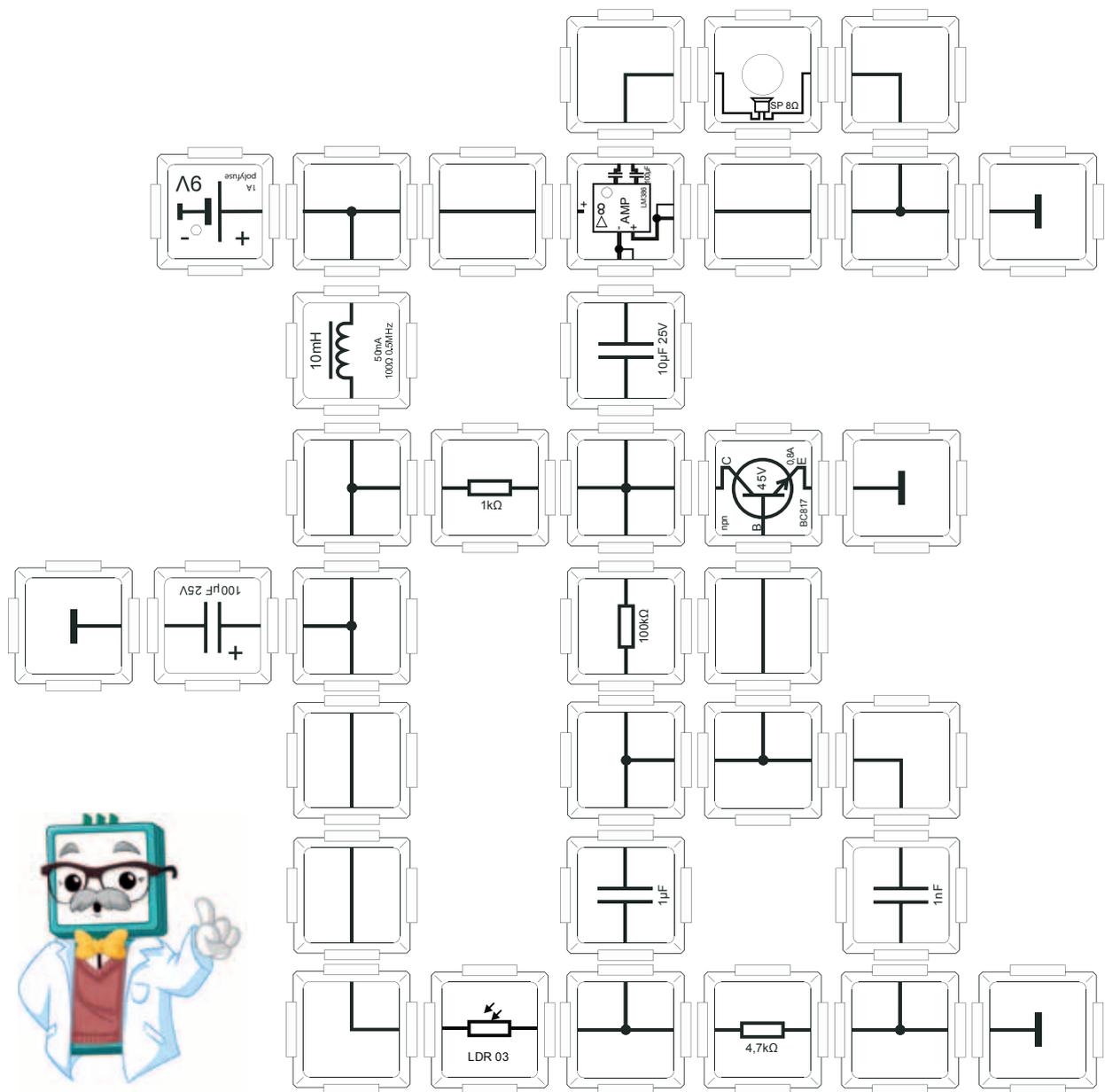
Der Umschalter muss die Versorgungsspannung an den Audioverstärker anlegen, dieser ist zu schließen. Mit dem Potentiometer ist die Lautstärke einstellbar.





## 17.4 Licht-Verstärker

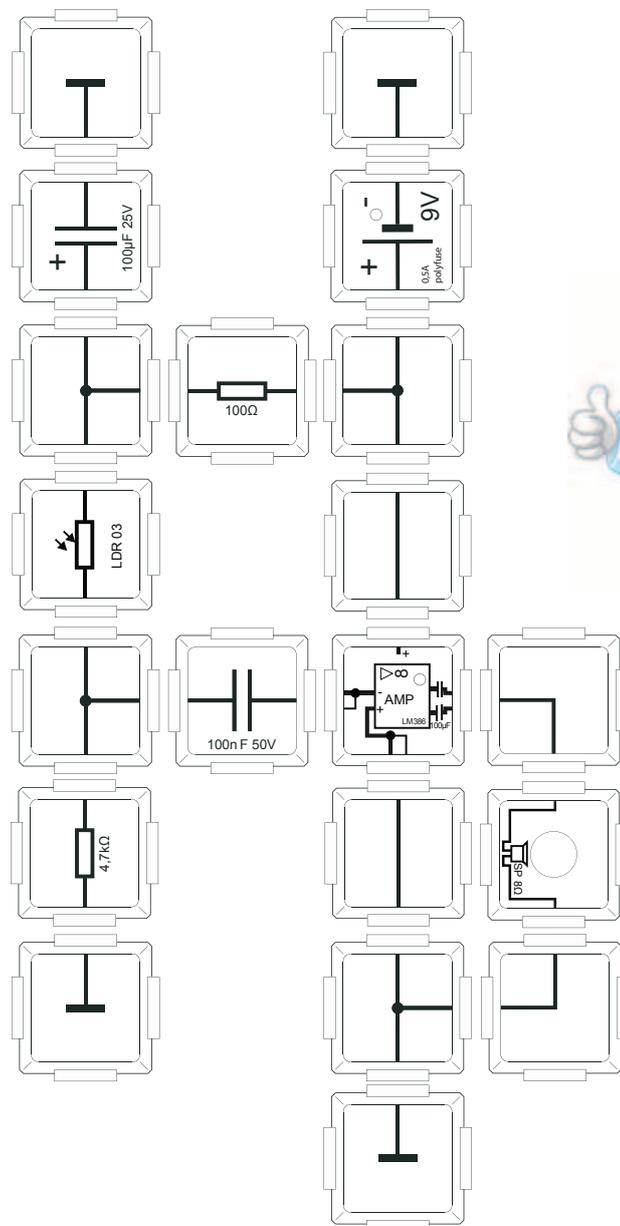
In der folgenden Schaltung werden wir Licht hörbar machen. Unser Auge ist zu träge um selbst geringe Frequenzen ab 20Hz wahrzunehmen. Daher wandeln wir die Lichtimpulse, die die 50Hz Netzfrequenz in den Leuchtmitteln unserer Wohnungen verursacht in akustische Signale um. Leuchtstoffröhren verursachen z.B. ein Brummen. Als Sensor dient dazu der LDR 03. Er ändert seinen Widerstand mit den Impulsen, die auf ihn einwirken. Diese werden als von einer Gleichspannung überlagerte geringe Wechselfspannung deutlich. Die Gleichspannungsanteile werden von den beiden 1µF-Kondensatoren herausgefiltert und das Netzbrummen durch den Transistor vorverstärkt. Der Audioverstärker LM386 nimmt die Endverstärkung vor und ermöglicht das Netzbrummen im Lautsprecher zu hören. Sie können jetzt auf die Suche nach Wechsellichtquellen in ihrer Wohnung gehen, je näher Sie dieser kommen, umso lauter wird das Brummen.



## 17.5 OP als Brummdetektor

Eine weitere Möglichkeit einen Brummdetektor zu realisieren zeigt der folgende Aufbau. Er ist wesentlich einfacher und nicht so störanfällig, dafür aber unsensibler. Die Verstärkung des Netzbrummens aus unseren Wechsellichtquellen nimmt hier nur der Audioverstärker vor. Der 100 $\mu$ F-Elektrolytkondensator minimiert die Rückkopplung und verhindert damit ein Aufschwingen der Schaltung. Bitte auf seine richtige Polung achten!

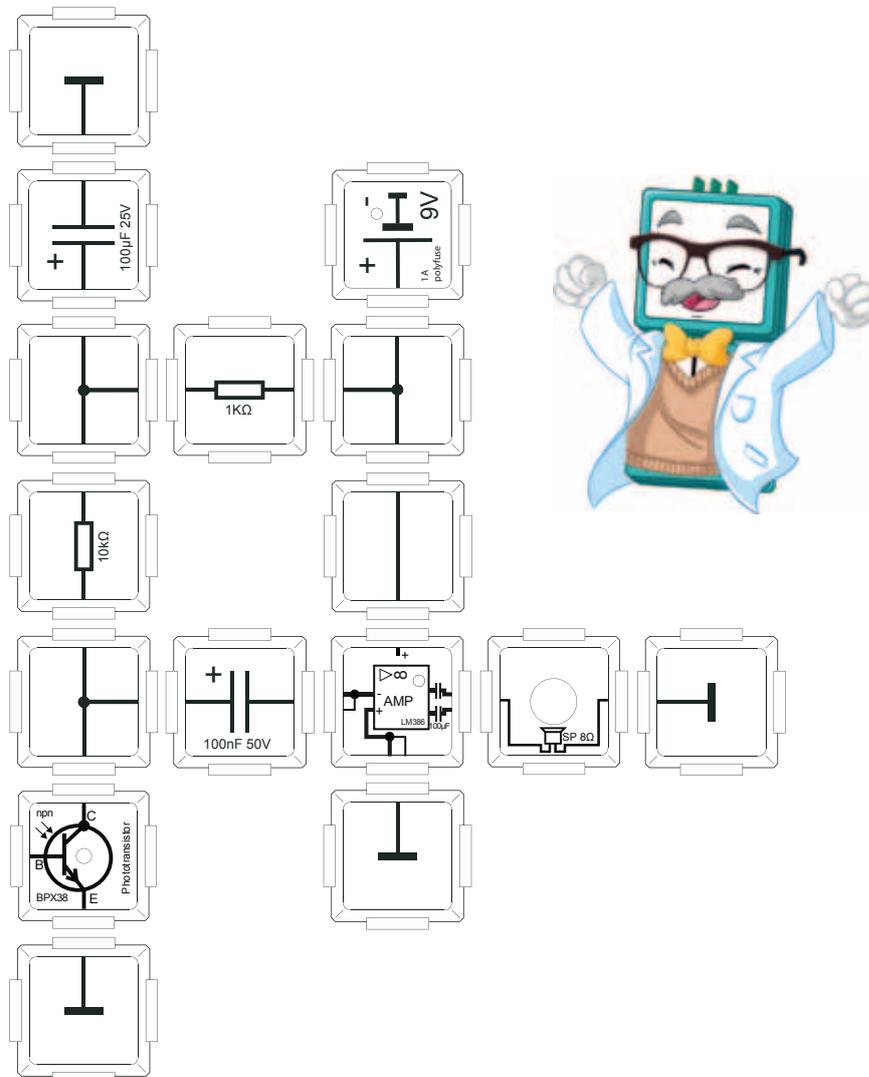
Viel Spaß mit dem Aufspüren von Wechsellichtquellen!





## 17.7 Phototransistor mit Vorverstärker

Um das Netzbrummen anders akustisch darzustellen, haben wir jetzt den LDR03-Brick gegen einen Phototransistor ausgetauscht. Ansonsten handelt es sich um fast die gleiche Schaltung wie im Versuch 17.5. Wir erinnern uns, dass der Phototransistor an seiner Basis durch Photonen verursachte Ladungen verstärkt. Je höher der Photonenstrom, desto höher der Stromfluss zwischen Emitter und Kollektor. Der Photonenstrom ist auf diese Weise sehr viel leichter zu bestimmen als z.B. mit einer Photodiode, die Verstärkung ist hier schon realisiert. Bitte achten Sie auf die richtige Polung des Elektrolytkondensators, der zur Rückkopplungsverringering eingebracht ist! Sie können jetzt Wechsellichtsignale in Ihrer Umgebung auffinden. Interessant ist der Vergleich der akustischen Signale einer flackernden Kerze mit einer Glühlampe oder Leuchtdiode.







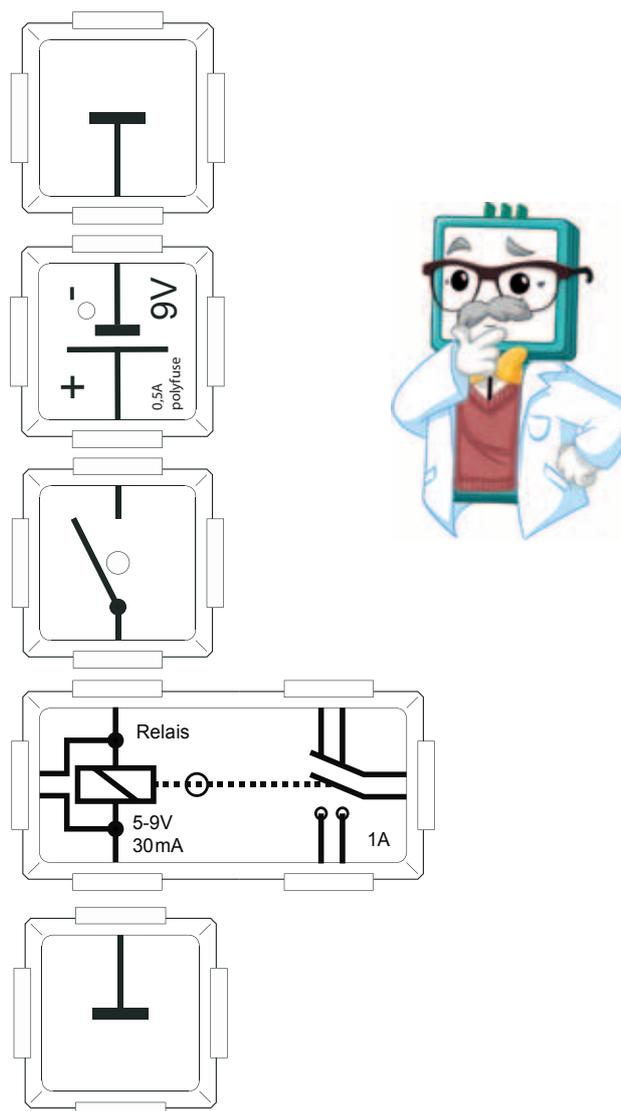
# 18. Relaisschaltungen

## 18.1 Relais

Ein Relais ist ein elektromechanisch betriebener Schalter. Durch das Anlegen einer Schaltspannung und den daraus resultierenden Stromfluss an der Eingangsseite, wird über eine Spule ein Magnetfeld erzeugt, das einen Anker anzieht der die Arbeitskontakte betätigt. Die Übermittlung des Schaltvorgangs mittels eines Magneten hat den Vorteil, dass der gesteuerte Stromkreis elektrisch getrennt vom steuernden Stromkreis ist. Ein Kurzschluss in einem Stromkreis hat keinen im anderen zur Folge.

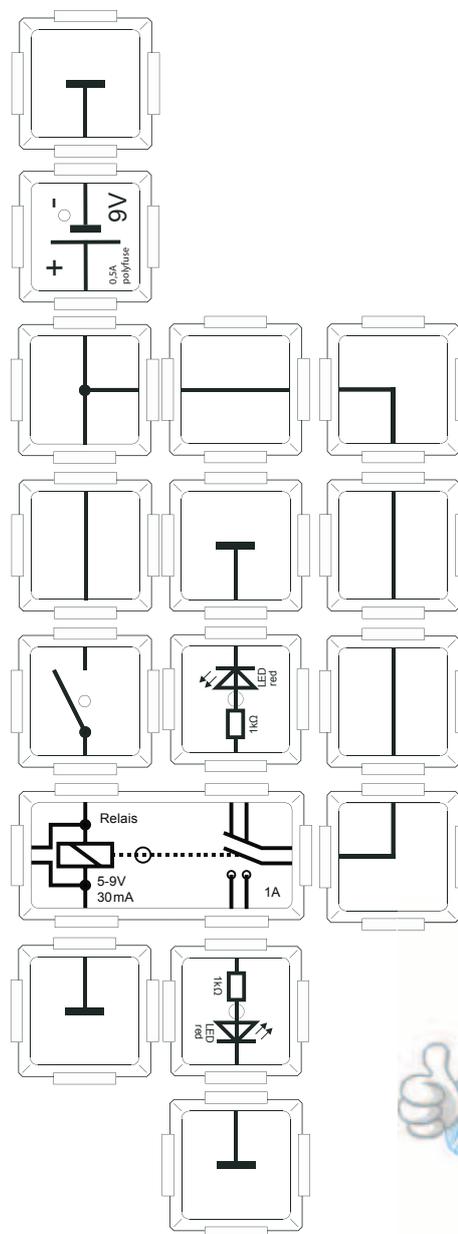
Unser Relais ist sehr modern, da es über eine Schutzschaltung gegen Verpolung und Überspannung verfügt. Es schaltet ab einer Spannung von 5V bei einem Stromfluss von 30mA. Die Kontroll-LED in unserem Brick gibt Auskunft über den Schaltzustand: Leuchtet die LED, so sind die Kontakte von der Mitte nach unten gesetzt, wenn nicht, ist die Schalterstellung so wie auf dem Brick dargestellt. Man kann es ausgangsseitig als Öffner, Schließer oder Wechsler beschalten. Die doppelten Kontakte sind mit Hilfe unserer Spezialverbinder sowohl getrennt abschließbar als auch zusammen nutzbar, je nach Zweck und Erfordernis.

Relais werden heute in der Technik an vielen Stellen eingesetzt, da sie sehr hohe Lasten schalten können. Zur Übertragung von großen Informationsmengen eignen sie sich nicht gut, da sie im Verhältnis zu elektronischen Schaltern sehr lange Schaltzeiten haben. In der ersten Schaltung wird der Schaltvorgang realisiert: Wenn der Taster betätigt ist, dann ist das Relais angezogen und die Kontakte sind geschalte. Die Kontroll-LED leuchtet.



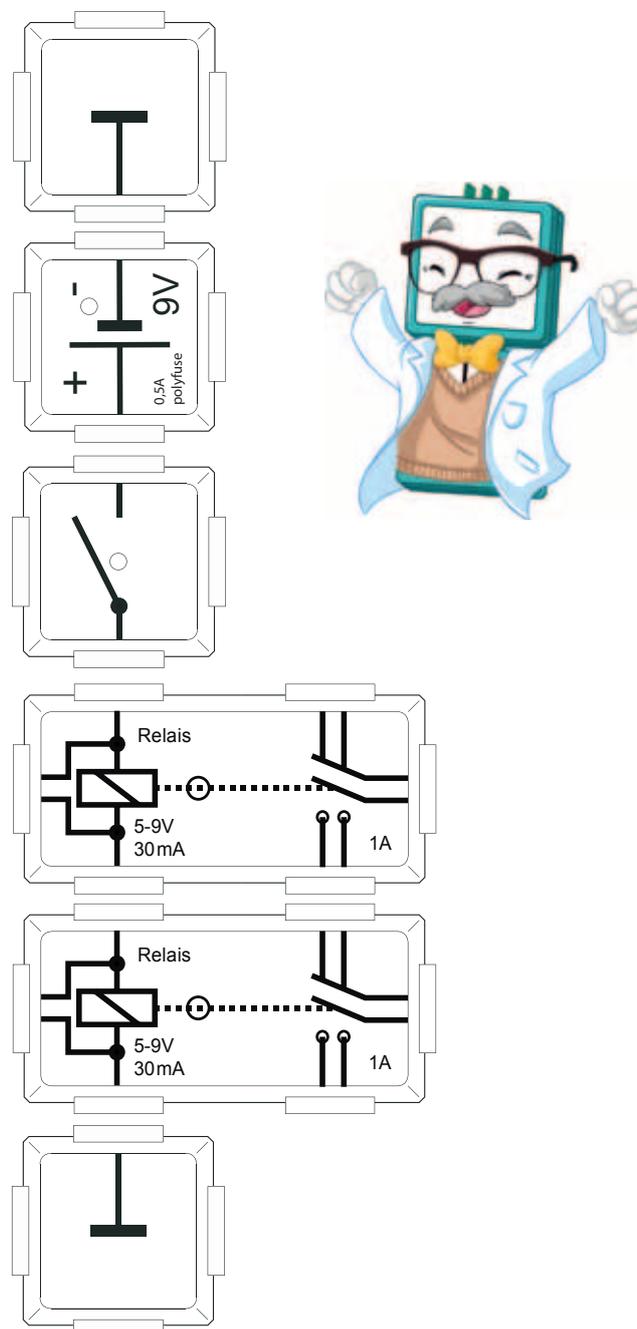
## 18.2 Das Relais als Umschalter

Unser Relais ist als Umschalter verwendbar. Der Mittelkontakt stellt hier, je nach Schaltvorgang, eine Verbindung zu den gegenüberliegenden Kontakten her. Das signalisiert die gelbe LED bei unbetätigtem und die rote LED bei betätigtem Taster. In allen sicherheitsrelevanten Schaltkreisen werden z.B. geschaltete Schließer-Kontakte verwendet, die ein Unterbrechen des Stromkreises im Fehlerfall melden. Diese Aufgabe kann man sich leicht für die rote LED vorstellen. In diesem Fall ist der Taster im Normalzustand geschlossen, die rote LED leuchtet. Im Fehlerfall öffnete der Schließer-Kontakt, was die gelbe LED aktiviert und somit ein optisches Fehlersignal bietet.



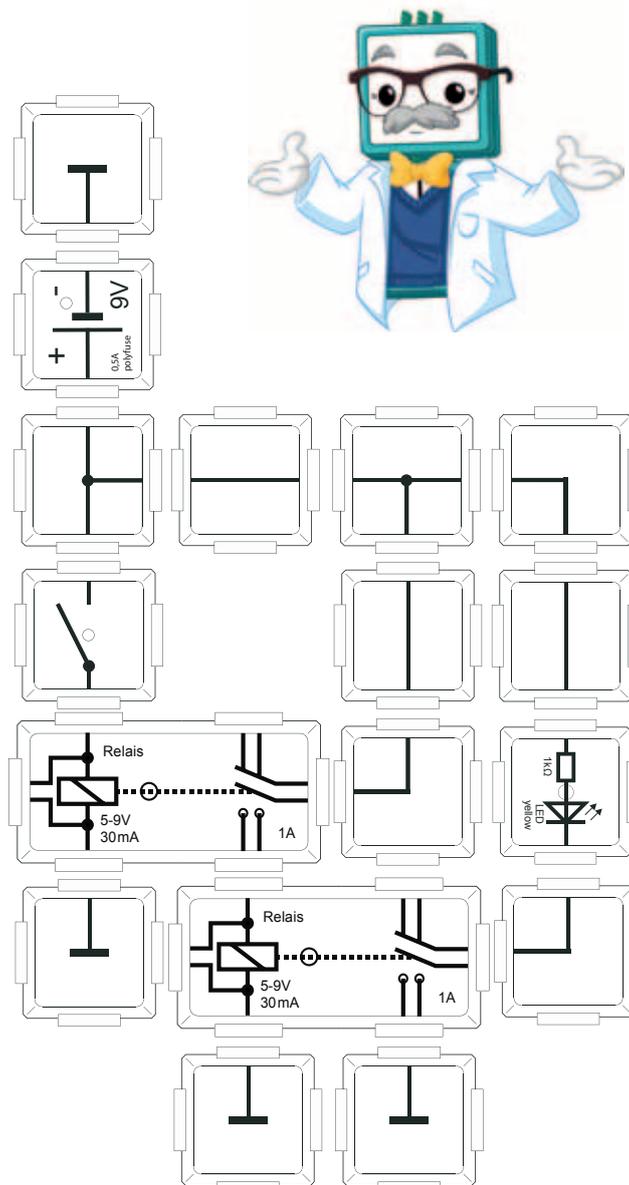
## 18.3 Relais in Serie

Die Mindestspannung der Relais-Bricks ist so ausgelegt, dass es möglich ist zwei Relais in Reihe zu schalten. Die Innenwiderstände fungieren als Spannungsteiler, wodurch beide Relais einen gleichen Spannungsabfall von 4,5V erfahren, da sie der Bauart nach gleich sind. Im Fall von drei Relais wird die Mindestspannung nicht mehr erreicht, damit ist der Stromfluss zu gering, um den Anker elektromagnetisch zu betätigen. Die Relais bleiben inaktiv. Unsere Beispielschaltung macht bei genauerem Hinsehen keinen Sinn, da die gegenüberliegenden Kontakte von erstem und zweitem Relais nicht beschaltet werden können, aber als Funktionstest macht die Schaltung neugierig. Ist der Taster geschlossen, ziehen beide Relais an, und die Kontroll-LEDs leuchten.



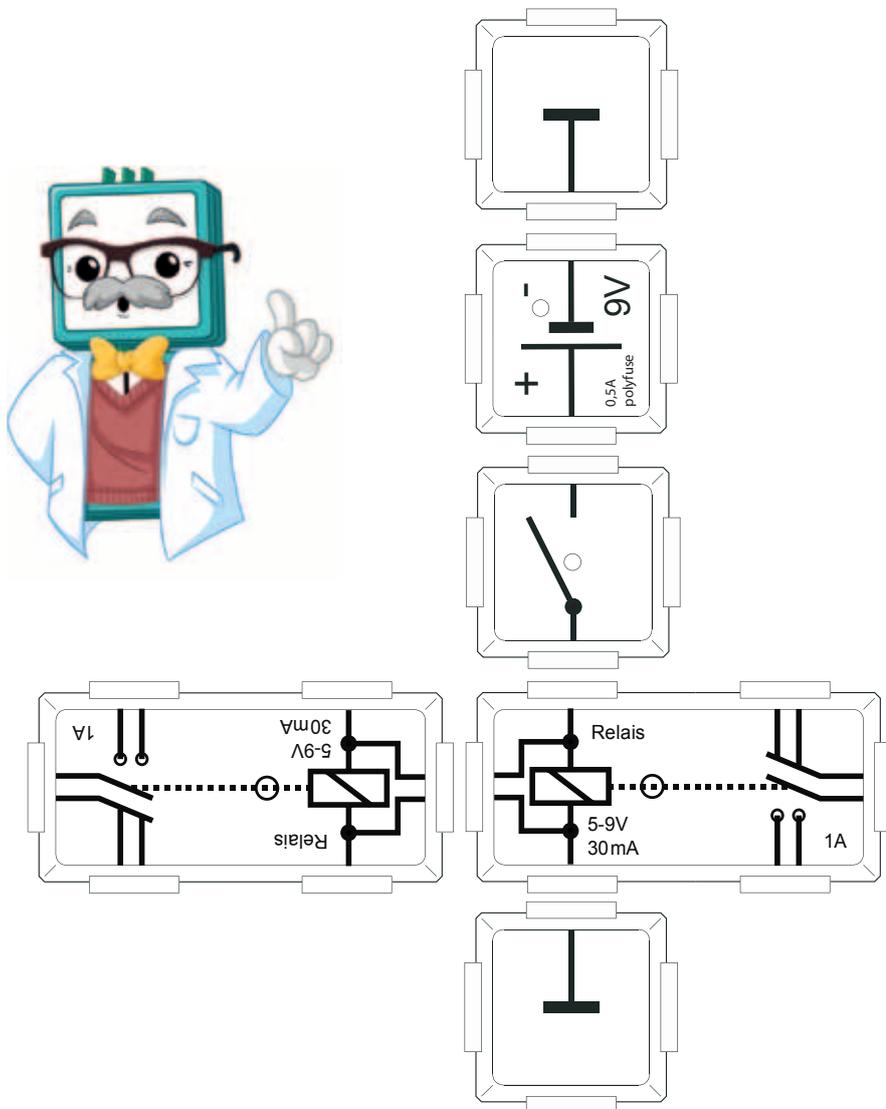
## 18.4 Relais in Serie

In dieser Schaltung löst das erste Relais das zweite aus, was dann die gelbe LED zum Leuchten bringt. Zur Steuerung von Starkstromanlagen oder in der Hochspannungstechnik ist das Hinzuschalten von getrennten Stromkreisen wichtig. So können die Spannungsbereiche von Spulen, z.B. in einem Umschaltwerk, ohne Eingriffe in den Stromkreis realisiert werden. Die Schaltkaskade wird durch das Betätigen des Tasters ausgelöst und die gelbe LED signalisiert einen Stromfluss im gesteuerten "dritten" Stromkreis.



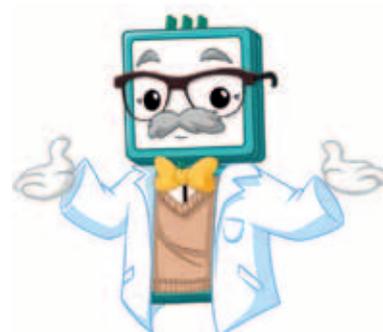
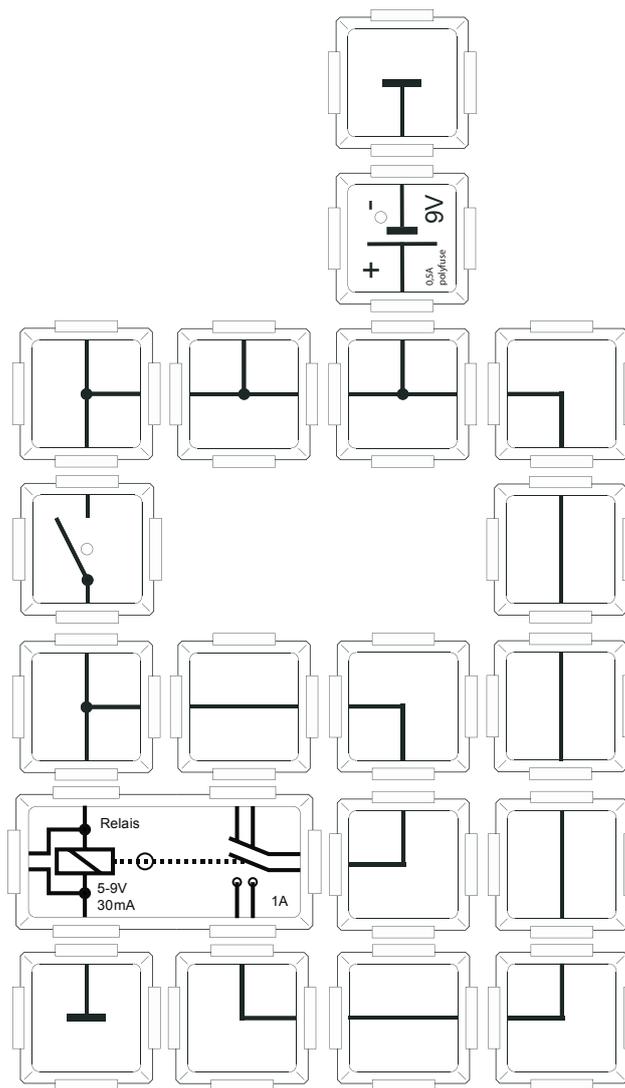
## 18.5 Relais in Parallelschaltung

Eine Parallelschaltung von elektronischen Bauelementen haben wir schon kennengelernt. Intuitiv lässt sie sich gut mit einer Vervielfältigung oder Verzweigung vergleichen. So sind in der Digitaltechnik z.B. die Oder- und Nicht-Verknüpfung durch parallel liegende Stromkreise realisiert. Jetzt bringen wir zwei Relais parallel in die Schaltung ein. Das ist durch die doppelte Kontaktierungsmöglichkeit an unserem Relais-Bricks gegeben. Beide Relais werden mit dem Taster geschaltet, wodurch sich die Anzahl der Kontakte von drei auf sechs erhöht, also vervielfältigt, ohne dass wir in dem Stromkreis wesentliche Veränderungen vorgenommen haben oder einen weiteren Taster hinzugefügt. Der Spannungsabfall über beide Relais ist gleich und entspricht der Versorgungsspannung. Der Gesamtstrom hat sich verdoppelt. (Es gelten natürlich auch hier die Maschenregel und das Kirchhoff'sche Gesetz.) Wie in der vorangegangenen Schaltung lösen beide Relais bei betätigtem Taster aus, was die Kontroll-LED signalisiert.



## 18.6 Relais in der Selbsthaltung

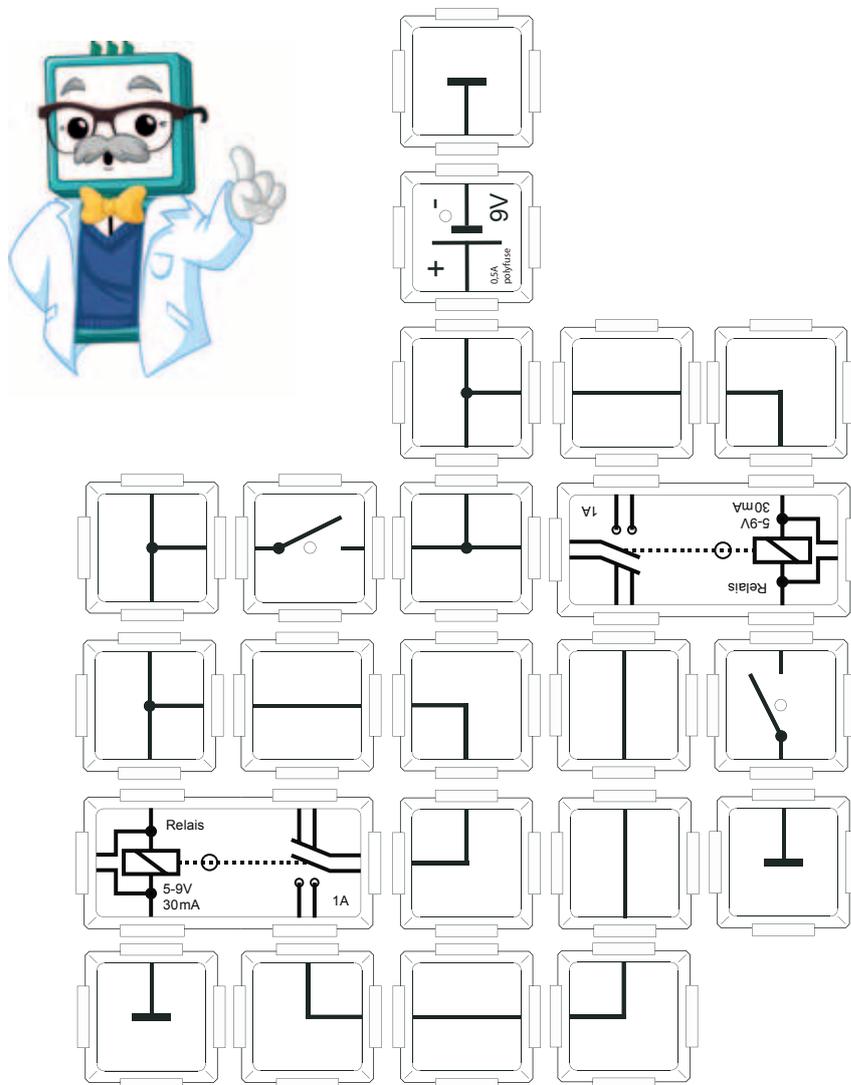
Die Selbsthaltung von Relais ist in der Technik überall dort anzutreffen, wo der Schaltimpuls nur kurzzeitig erfolgt, der gesteuerte Stromkreis danach aber in Betrieb bleiben soll. Wir haben das schon als Flip-Flop kennengelernt. So ist es mit der Selbsthaltung möglich einen leistungsstarken Elektromotor, z.B. in einer Drehbank, über ein Schütz (ähnlich einem Relais) nur durch einen Tastendruck anzusteuern, solange bis ein Rücksetzen erfolgt. Der Arbeiter muss den Einschalttaster nicht permanent gedrückt lassen, was anschaulich schwer möglich ist. Hier nun der prinzipielle Schaltkreis der Selbsthaltung mit dem Relais-Brick. Wird der Taster betätigt, bleibt das Relais angezogen, auch wenn dieser nach dem Loslassen wieder öffnet. Die Kontroll-LED leuchtet weiterhin. Erst das Trennen von der Versorgungsspannung setzt die Selbsthaltung zurück.



## 18.7 Relais in der Selbsthaltung mit Unterbrecher

Vergleicht man elektronische und elektromagnetische Bauelemente miteinander, stellt man schnell fest, dass sie sich bei gleicher Funktion in der Größe wesentlich unterscheiden. Jetzt realisieren wir eine Selbsthaltung mit Unterbrecher. Das linke Relais bleibt nach Betätigen des linken Tasters solange angezogen, bis ein Rücksetzen mit Hilfe des anderen Relais erfolgt. Wir haben also einen 1-Bit-Speicher, so wie wir ihn der Funktion nach als Flip-Flop erfahren haben, verwirklicht.

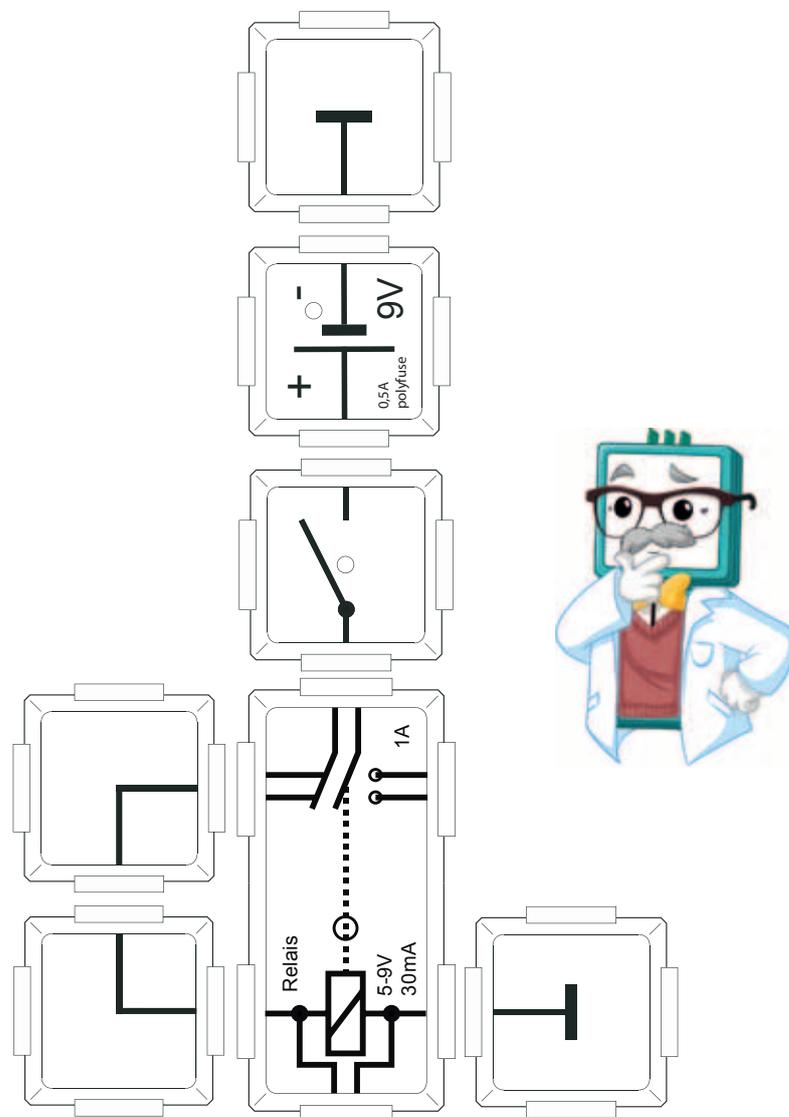
Tatsächlich wurden die ersten Computer mit Relais anstelle von Transistoren aufgebaut. Einer dieser ersten Computer hatte allein 1.600 Relais nur für den Speicher. Man kann sich schwer vorstellen wie groß diese Computer waren, wenn man sie mit heutigen Schreibtischcomputern vergleicht. Nach dem Drücken des linken Tasters leuchtet die Kontroll-LED des linken Relais, der Speicherzustand ist "1". Kurzzeitiges Drücken des anderen Tasters löscht die Selbsthaltung und der Speicherzustand wechselt auf "0".



## 18.8 Relais mit Selbstunterbrecher

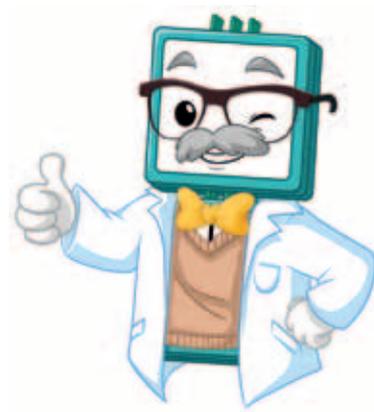
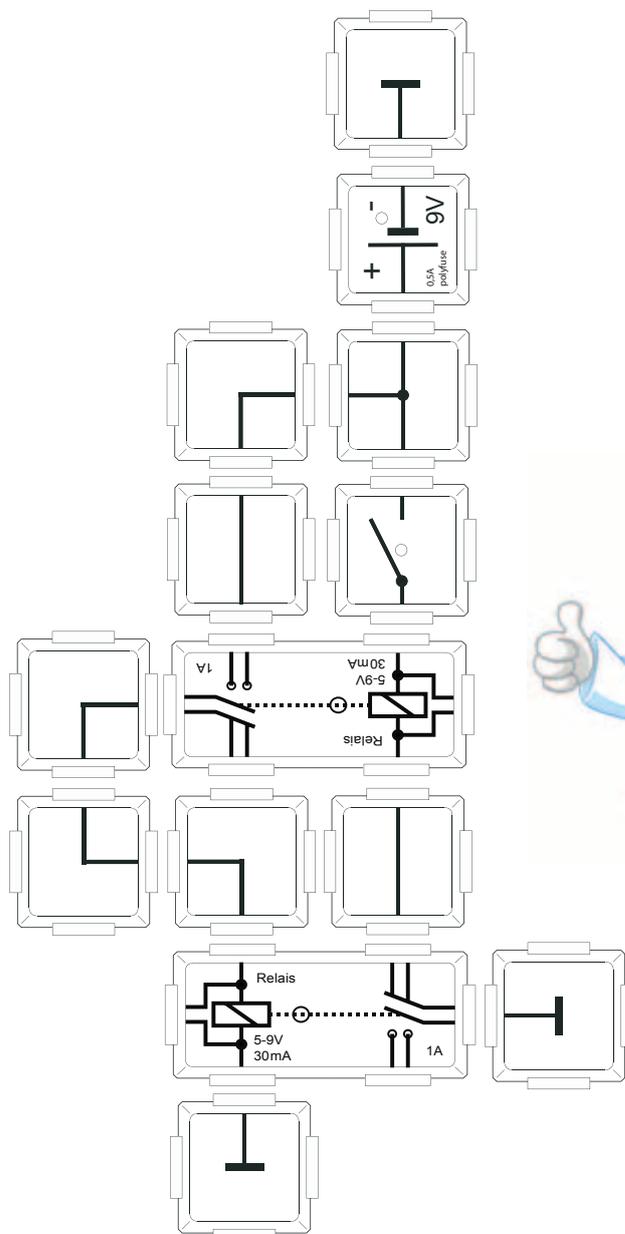
Der nächste Versuch macht sich die Verzögerung zwischen Steuerimpuls und Schaltvorgang trickreich zu nutze. Ist der Taster betätigt, schaltet das Relais ein und unterbricht dadurch seinen Haltestrom woraufhin es wieder abfällt. Anziehen und Abfallen bedingen sich gegenseitig. Der Vorgang wiederholt sich so oft, bis der Taster die Stromzufuhr unterbricht.

Keine Sorge: Das Relais ist intern gegen einen Schaden durch zu schnelles Hin- und Herschalten sowie Überlast geschützt. Die Reaktionszeit liegt im Millisekundenbereich (z.B. 10ms) und ist verglichen mit der Transitfrequenz eines Transistors (z.B. 1GHz) zehn Milliarden mal langsamer.



## 18.9 Relais mit Selbstunterbrecher über zweites Relais

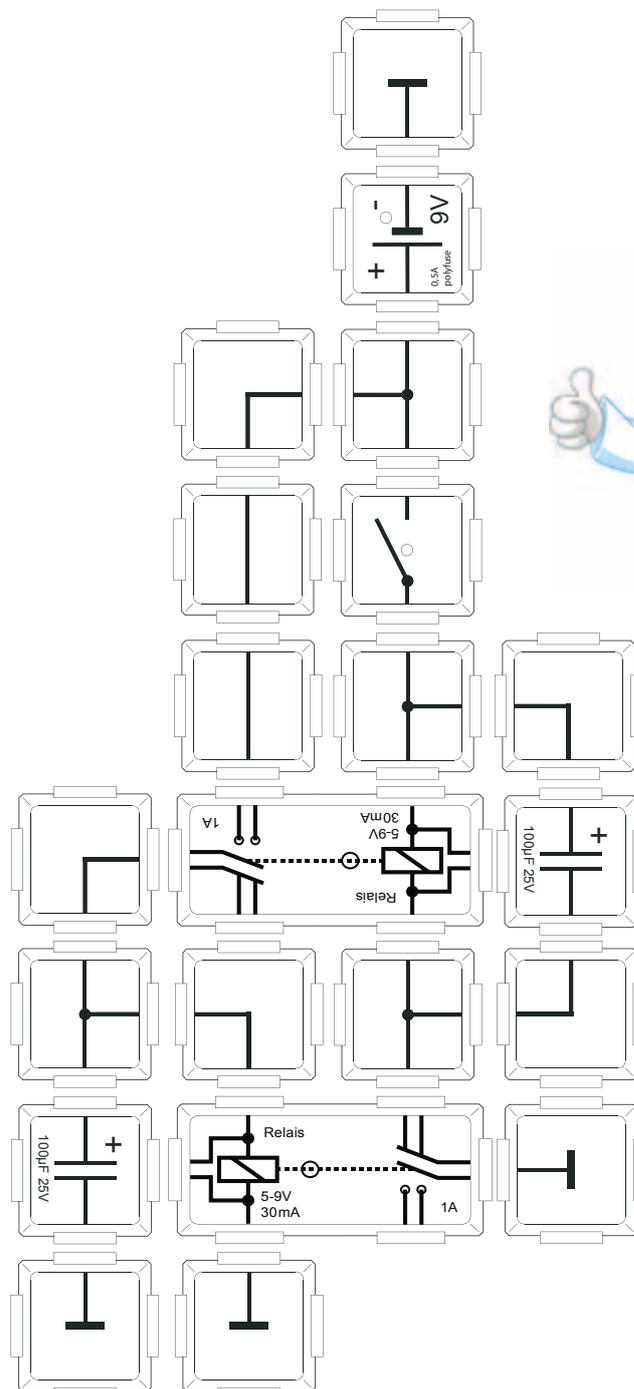
Jetzt haben wir unsere Selbstunterbrecherschaltung um ein zweites Relais erweitert. Wird der Taster betätigt, schaltet das erste Relais ein und löst das zweite über seine Arbeitskontakte aus. Das zweite unterbricht das Steuersignal des ersten Relais, das seinerseits das Steuersignal des zweiten Relais nicht mehr aufrecht erhalten kann und dieses fällt ebenso ab. Zur Kontrolle der Schaltung ist ein Summen der beiden Kondensatoren zu hören, sowie ein Leuchten der LED sichtbar. Der Vorgang beginnt von neuem, solange bis der Taster wieder öffnet.



## 18.10 Relais-Selbsthaltung langsam

Parallel eingebrachte Kondensatoren verlängern die Schaltzeiten der Relais. Die Schaltfrequenz ist über die Wahl der Kapazität leicht einzustellen. Die Kondensatoren speichern die elektrische Energie kurzzeitig, auch wenn die Spannungsversorgung unterbrochen ist, so dass das Relais erst wieder abfällt, wenn der Kondensator über die Relaispule entladen wurde, bzw. die Haltespannung unterschritten ist. Wird der Taster geschlossen zieht das erste Relais an und gibt die Steuerspannung für das zweite frei. Dieses zieht daraufhin an und unterbricht die Steuerspannung des ersten Relais.

Das bleibt bis zum Entladen des Kondensators angezogen und gibt danach die Arbeitskontakte frei. Das zweite Relais unterbricht das erste nur solange, bis seinerseits der Kondensator entladen und die Steuerspannung für das erste Relais wieder freigegeben ist. Der Zyklus wiederholt sich bis der Taster öffnet. Hierbei ist auf die Polung der Elektrolytkondensatoren zu achten!



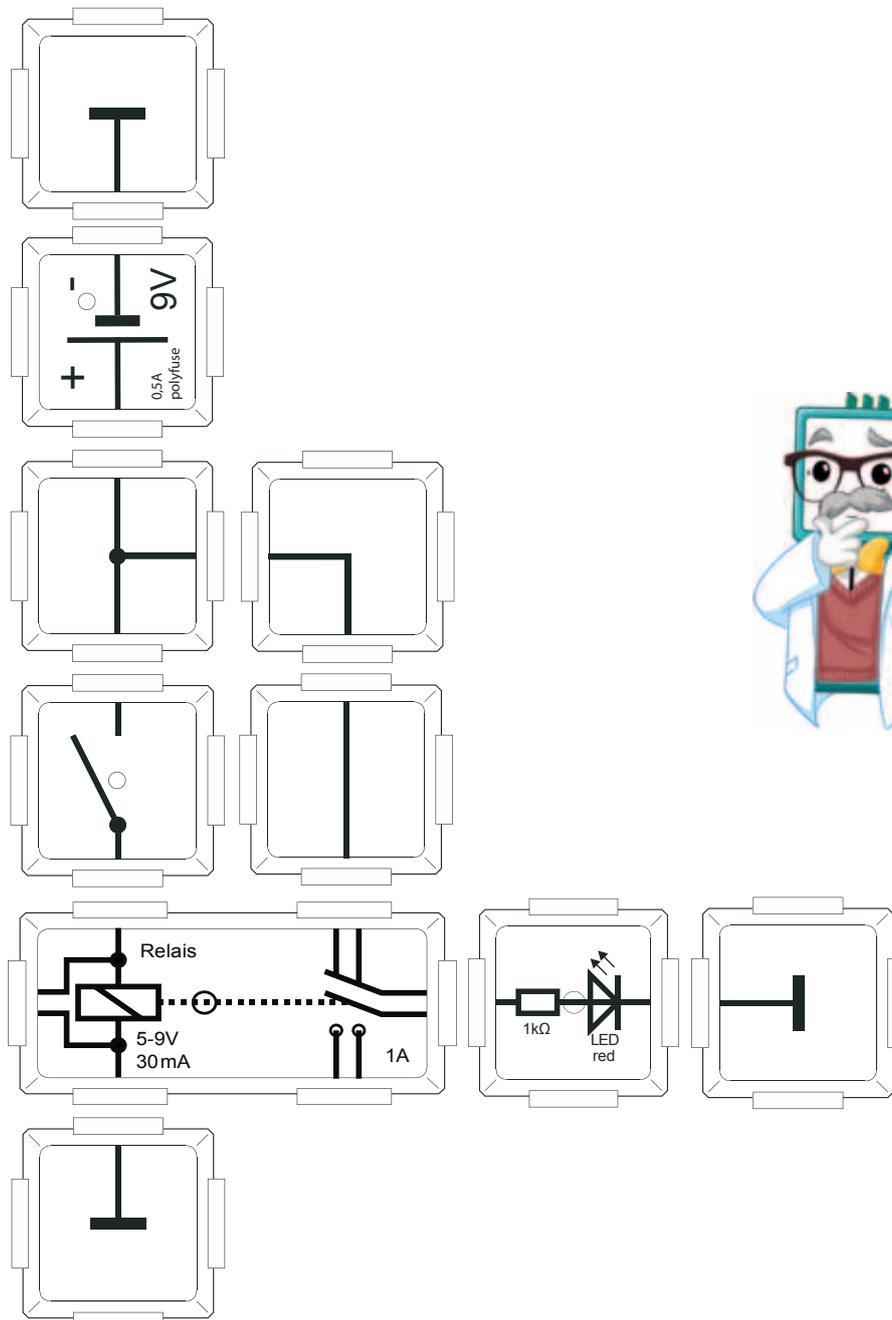
## 18.11 Relais (Nicht-Verknüpfung)

In Schaltung 18.7 sind wir auf die Verwendung von Relais in frühen Computern eingegangen. In dem Rechenwerk des Zuse-Computers wurden Nicht-Verknüpfungen so realisiert, wie wir es in dem folgenden Schaltkreis nachempfinden. Der hohe Pegel (Level) ist am Ausgang immer dann vorhanden, wenn der Taster nicht kontaktiert ist. Das Eingangssignal von "0" hat ein Ausgangssignal von nicht "0" zur Folge, das in der Digitaltechnik nur "1" lauten kann. Es sind nur zwei Zustände möglich. Ein Eingangssignal von "1" realisiert ein Ausgangssignal von nicht "1", also "0". Die rote LED gibt den Ausgangspegel an.

Noch ein Hinweis: In der Digitaltechnik werden das „L“ und „H“ zur Kennzeichnung der Pegel verwendet. Diese können je nach verwendeter Technik unterschiedlichen Logik-Werten zugeordnet werden. Die gebräuchlichste Definition für Pegelbereich und Zuordnungen sind:

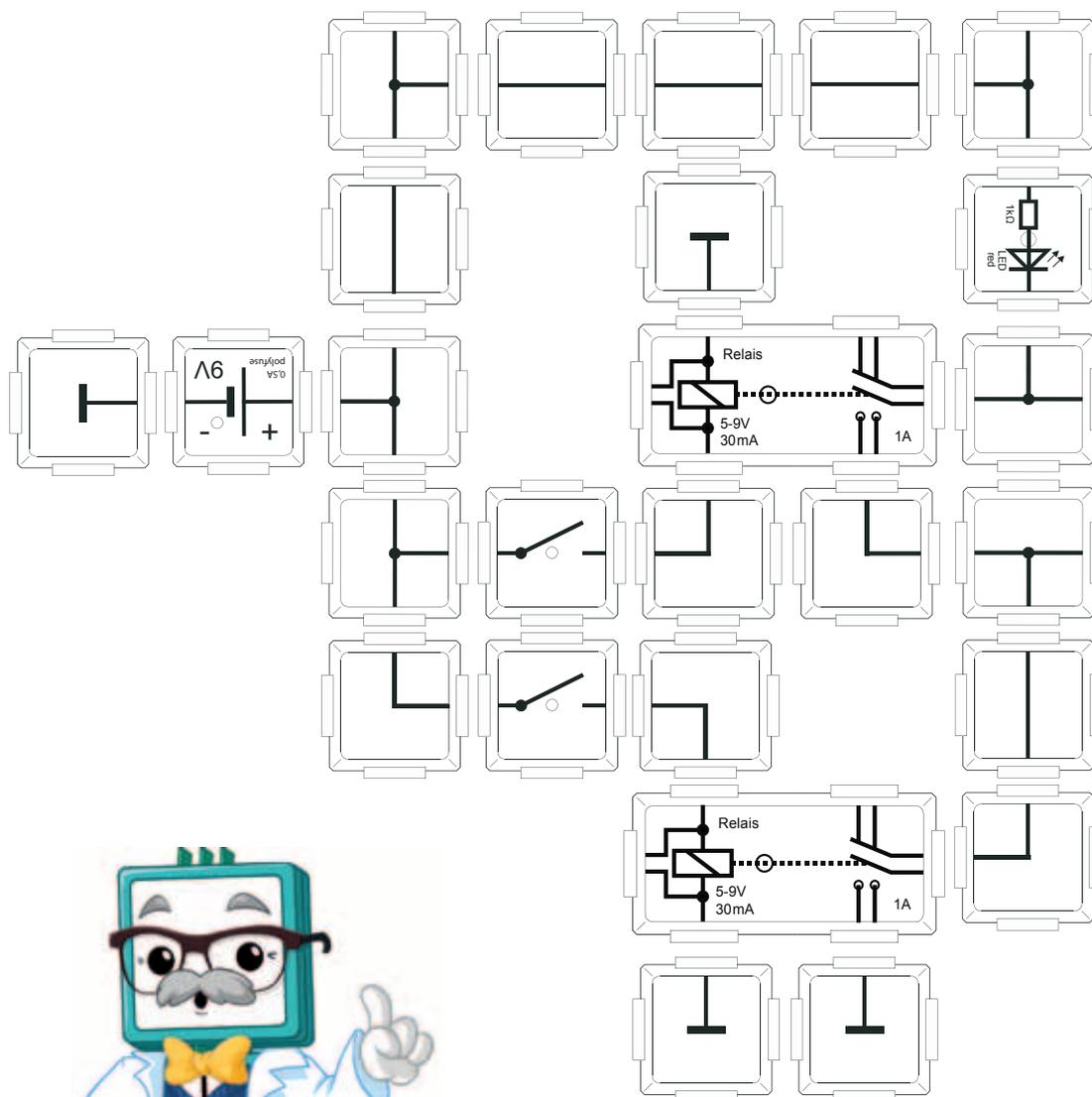
- "L" entspricht 0 z.B. 0V bis 0.8V und „H“ mit >2V entspricht 1, bei Standard TTL-Logik. Dazwischen z.B. 1V, ist der Wert undefiniert.
- "L" entspricht 0 z.B. 0V bis 0.7V und „H“ mit >1.7V entspricht 1, bei CMOS-Logik in 2.5V. Dazwischen ist der Wert undefiniert.
- "L" entspricht 0 z.B. <-1.4V und „H“ mit >-1.2V entspricht 1, bei ECL-Logik. Dazwischen ist der Wert undefiniert.

Wenn man dem „L“ statt einer 1 einer 0 zuordnet (und umgekehrt dem „H“ eine 0 statt der 1) spricht man von negativer Logik, sonst von positiver Logik.



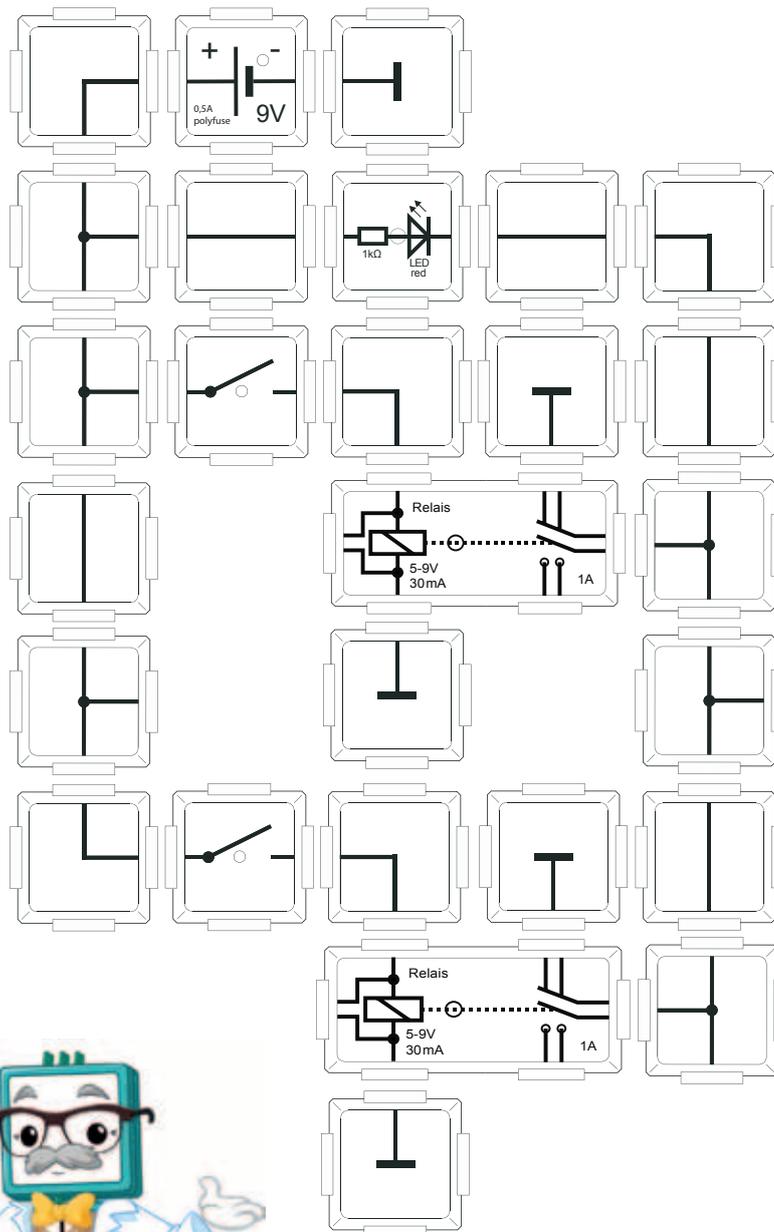
## 18.12 Relais (UND-Verknüpfung)

Die UND-Verknüpfung kann mit einer Relaischaltung ebenso verwirklicht werden wie mit Transistoren (Kap. 14.5), Dioden (Kap. 14.1) oder Tastern (Kap. 5.1). Hier sind die Arbeitskontakte der beiden Relais in Serie gebracht, so dass nur dann ein Ausgangssignal anliegt, wenn beide Taster geschlossen sind. Der Versuchsaufbau ist untenstehender Schaltung zu entnehmen. Analog zu den anderen UND-Versuchen leuchtet auch hier die rote LED nur, wenn beide Schalter - in diesem Fall die Relais - angezogen haben. Die Wahrheitstabelle zur UND-Verknüpfung ist Kap. 5.1 oder 14.5 zu entnehmen.



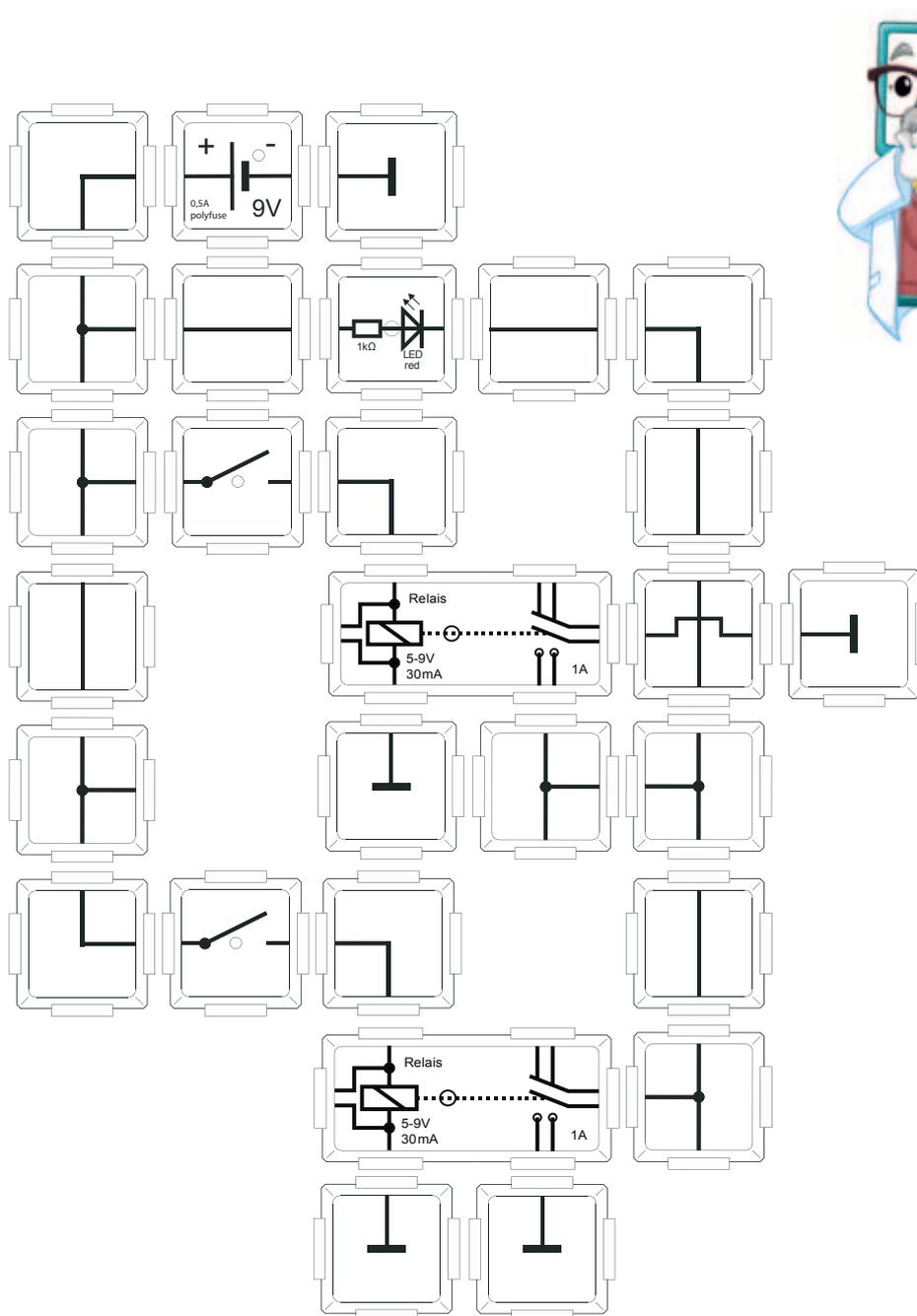
## 18.13 Relais (NICHTUND (NAND) -Verknüpfung)

Eine NAND-Verknüpfung wird in der folgenden Schaltung durch zwei Nicht-Glieder, die je parallel zur LED liegen, dargestellt. Nur wenn beide Taster geschlossen sind, erlischt die rote LED und ein "LOW"-Pegel liegt am Ausgang an. Die Beschriftung der Arbeitskontakte findet hier als Öffner Anwendung. Die Wahrheitstabelle sowie weitere allgemeine Informationen zum Thema NAND-Verknüpfung sind Kapitel 14.3 (NAND mit Transistoren) zu entnehmen.



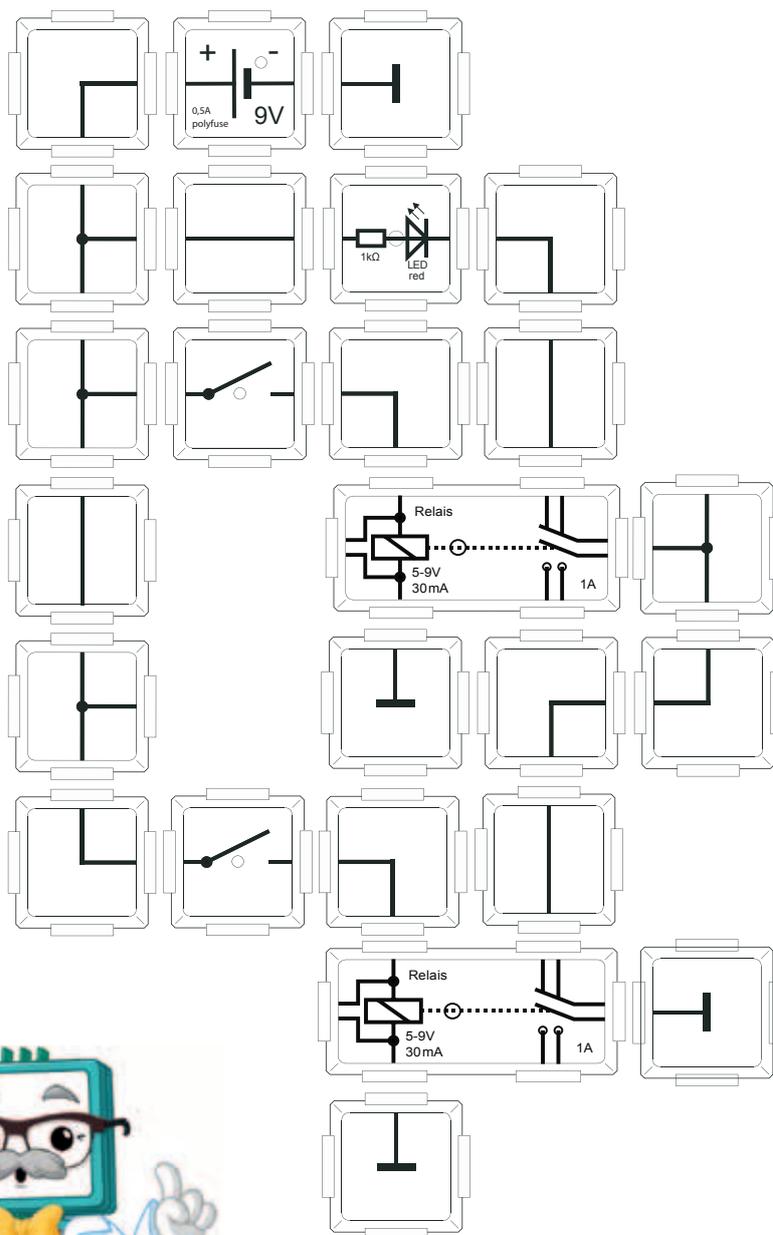
## 18.14 Relais (ODER(OR)-Verknüpfung)

Wer die elementaren Prinzipien der Digitaltechnik verstanden hat, kann aus der vorhergegangenen Schaltung 18.13 leicht eine ODER-Verknüpfung entstehen lassen. Versuch 18.13 lässt sich leicht in eine ODER-Verknüpfung überführen. Hierzu könnten Sie Funktion der beiden Arbeitskontakte der Relais umkehren und diese als Schließer verwenden. Nur die Masse-Bricks werden dann an die gegenüberliegende Seite der Relais-Bricks gebracht. Die rote LED leuchtet, wenn einer oder beide geschlossen sind. Die Wahrheitstabelle zur ODER-Verknüpfung ist Kapitel 5.2 und Kapitel 14.6 zu entnehmen, wo weitere ODER-Realisierungen rein mit Taster bzw. mit Transistoren anstelle der Relais beschrieben sind. In der booleschen Algebra bilden Oder- und UND-Verknüpfung eine Einheit, den sogenannten Ring.



## 18.15 Relais (NICHTODER (NOR)-Verknüpfung)

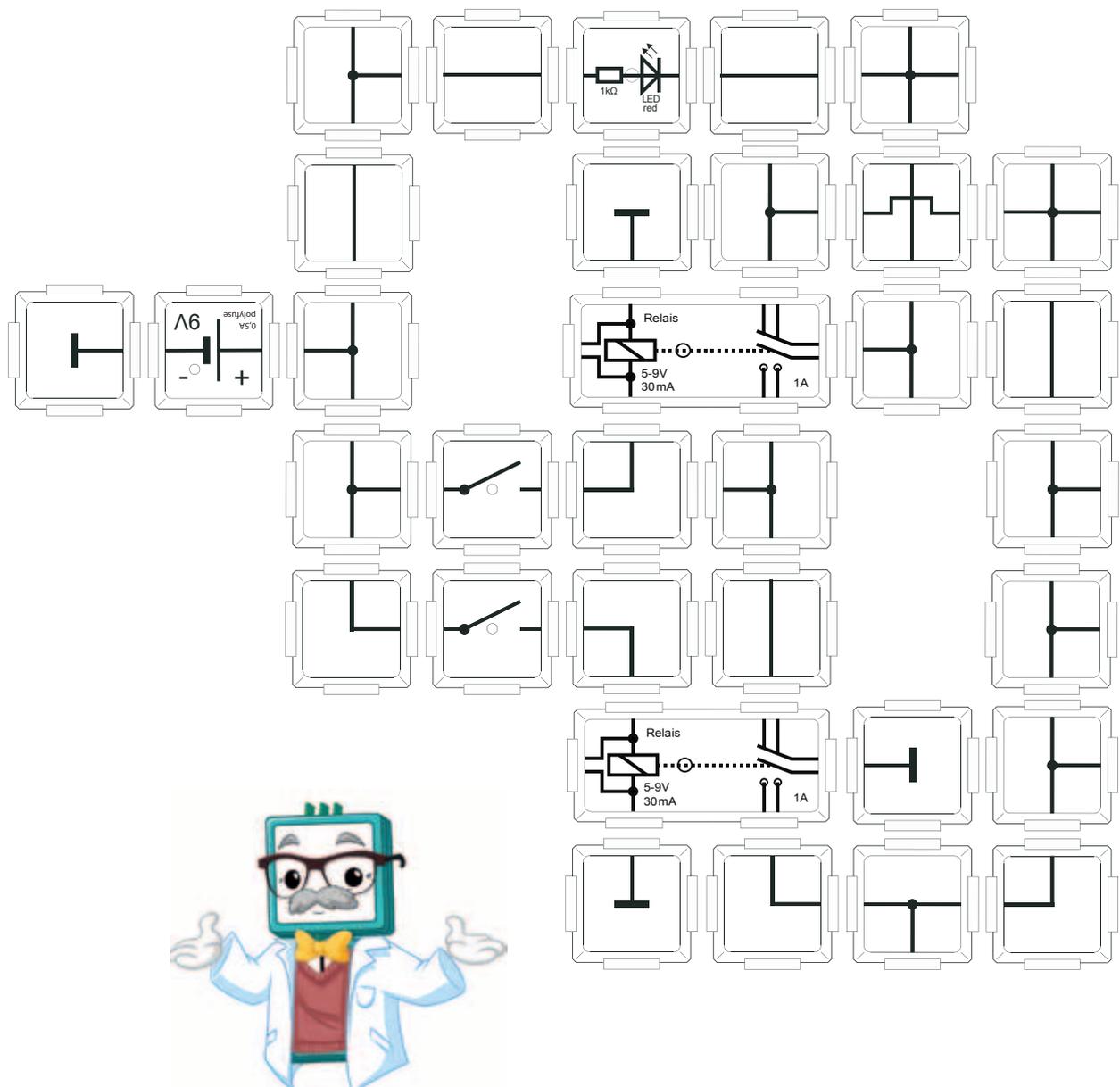
Die Ähnlichkeit der NAND- und ODER-Verknüpfung bei deren technischer Realisation haben wir kennengelernt. Jetzt negieren wir die Funktion aus Schaltung 18.14. Hierzu sind die Arbeitskontakte als Öffner in Serie in den Schaltkreis eingebracht, so dass diese nur dann ein Ausgangssignal anliegen lassen, wenn beide Taster geöffnet sind. Es existiert nur eine Konstellation von Eingangssignalen, bei denen ein Ausgangssignal anliegt und zwar immer dann, wenn kein Taster betätigt ist. Die Wahrheitstabelle zur NOR-Verknüpfung ist Kapitel 14.4 zu entnehmen, welches die alternative NOR-Realisierung auf Transistorebene beschreibt. Die NICHTUND- und die NICHTODER-Verknüpfung bilden in der booleschen Algebra ebenso eine Einheit.



## 18.16 Relais (Exklusiv-ODER(XOR)-Verknüpfung)

Das ausschließende ODER ist in der Technik durch zwei Umschalter realisiert. Das haben wir mit unseren Arbeitskontakten der Relais nachempfunden. Man erkennt es leicht daran, dass alle drei Anschlüsse an den Arbeitskontakten belegt sind. Die rote LED leuchtet nur, wenn entweder der eine Taster oder der andere Taster geschlossen ist. Sind es beide gleichzeitig oder es beide gleichzeitig nicht, erlischt die LED: Nur unterscheidbare Eingangssignale geben einen "High"-Pegel am Ausgang. Die Wahrheitstabelle und weitere allgemeine Informationen zum Thema XOR sind Kapitel 5.4 zu entnehmen.

Als weiterführende Denksportaufgabe bieten sich an dieser Stelle Überlegungen an, was ein Exklusiv-NICHTODER- bzw. Exklusiv-UND wäre.

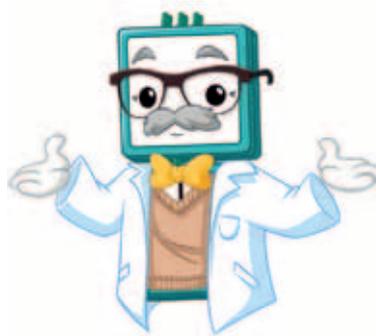
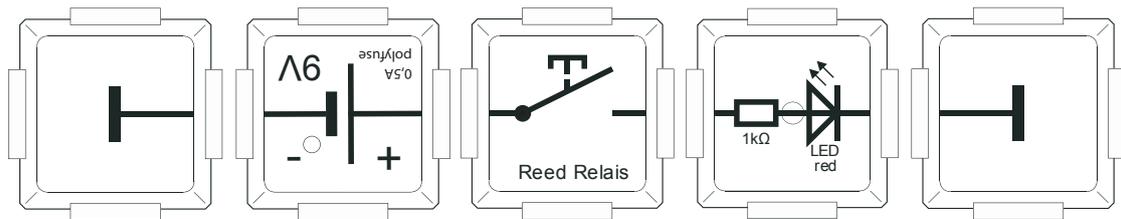


# 19. Reed Relais

## 19.1 Reed Relais

Das Reed Relais kann sehr leicht zerstört werden, da es aus einer kleinen Glasröhre besteht (Röhrchen). Das Röhrchen enthält einen vormagnetisierten Kontaktstift, der unter Einfluss eines Magnetfeldes schaltet. Dieses Magnetfeld muss zu dem im Innern entgegengesetzt gerichtet sein. Der Versuch selbst besteht aus einer Serienschaltung von Versorgungs-, Reed Relais- und LED-Bricks zusammen mit den abschließenden Massen. Die Aktivierung des Reed Relais erfolgt mit einem Stabmagneten. Dieser kann, in der richtigen Richtung in die Nähe des Reed Relais-Baustein gebracht, den Kontakt schließen und die rote LED leuchten lassen. Reed Relais werden in der Technik als Näherungsschalter für metallische Gegenstände verwendet.

In handelsüblichen Notebooks z.B. sind Reed Kontakte verbaut, um ein Abschalten des Bildschirms beim Zuklappen umzusetzen. Das Reed Relais hat den großen Vorteil gegenüber mechanischen Sensoren, dass es ohne Verschleiß arbeitet.

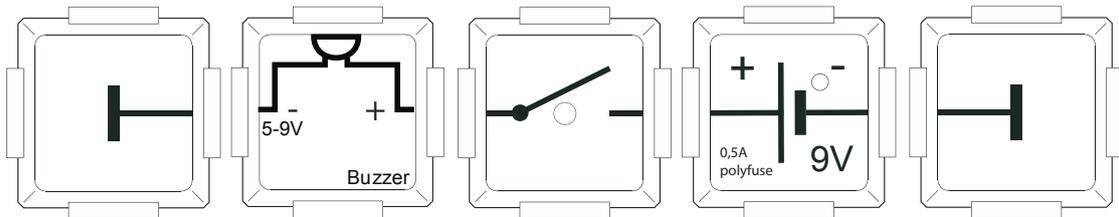


## 20. Buzzer (Summer) - Morseschaltung

Ein Buzzer ist ein akustischer Signalgeber mit geringer Bandbreite, anders als ein Lautsprecher. Da die hier verwendete Quelle eine Betriebsspannung von 9V bereitstellt, kann der Buzzer richtig gepolt sehr laut werden. Untenstehende Abbildung zeigt die korrekte Anordnung der Bricks. Wenn der Taster geschlossen wird, ertönt ein lautes, helles Piepsen. Diese Schaltung eignet sich daher gut zum Morsen.

Hierbei übermitteln schnelle Abfolgen von kurzen und langen Tönen und Pausen Buchstaben oder Zahlen. Das bekannteste Signal ist das "SOS" ("...---...": Drei mal kurz, drei mal lang, drei mal kurz) es steht für englisch "Save our Souls" (Rettet unsere Seelen) und wird in der Seefahrt als Notsignal verwendet.

Das Morsealphabet wurde von Samuel Morse im frühen 19. Jahrhundert entwickelt und machte es, den damaligen technischen Bedingungen angepasst, möglich, mit geringem Aufwand Informationen über weite Strecken per Funk zu übertragen, das Telegrafieren entstand. Durch die Einfachheit der Codierung kann das Morsealphabet auch optisch z.B. durch kurze Lichtsignale mit einem Scheinwerfer übertragen werden. Heute ist der Morsecode als Betriebsart CW bei Amateurfunkern sehr beliebt, über eine der SDR Stationen unter <http://www.websdr.org> kann man per Web im Kurzwellenbereich mithören (Z.B. University of Twente).



### Zeichen - Morsecode

A	. —	S	...	.	..-.-.-
B	—...	T	—	,	—-.-.-
C	—.-.-.	U	..—	?	..-.-.-
D	—..	V	...—	"	..-.-.-
E	.	W	.——	!	—.-.-.-
F	..-.-.	X	—.-.-	/	—.-.-.
G	—.-.	Y	—.-.-	(	—.-.-.
H	....	Z	—-..	)	—.-.-.-
I	..	0	—- - - -	&	..-.-.-
J	.- - - -	1	.- - - -	:	—- - - -
K	—.-	2	..- - -	;	—.-.-.-
L	.-.-.	3	...- -	=	—-.-.-
M	—- -	4	....-	+	.-.-.-.
N	—.	5	.....	-	—-.-.-
O	—- - -	6	—-....	_	..-.-.-
P	.-.-.-.	7	—-.-.-	"	..-.-.-.
Q	—-.-.-	8	—-.-.-.	\$	..-.-.-.
R	.-.-.	9	—-.-.-.	@	..-.-.-.

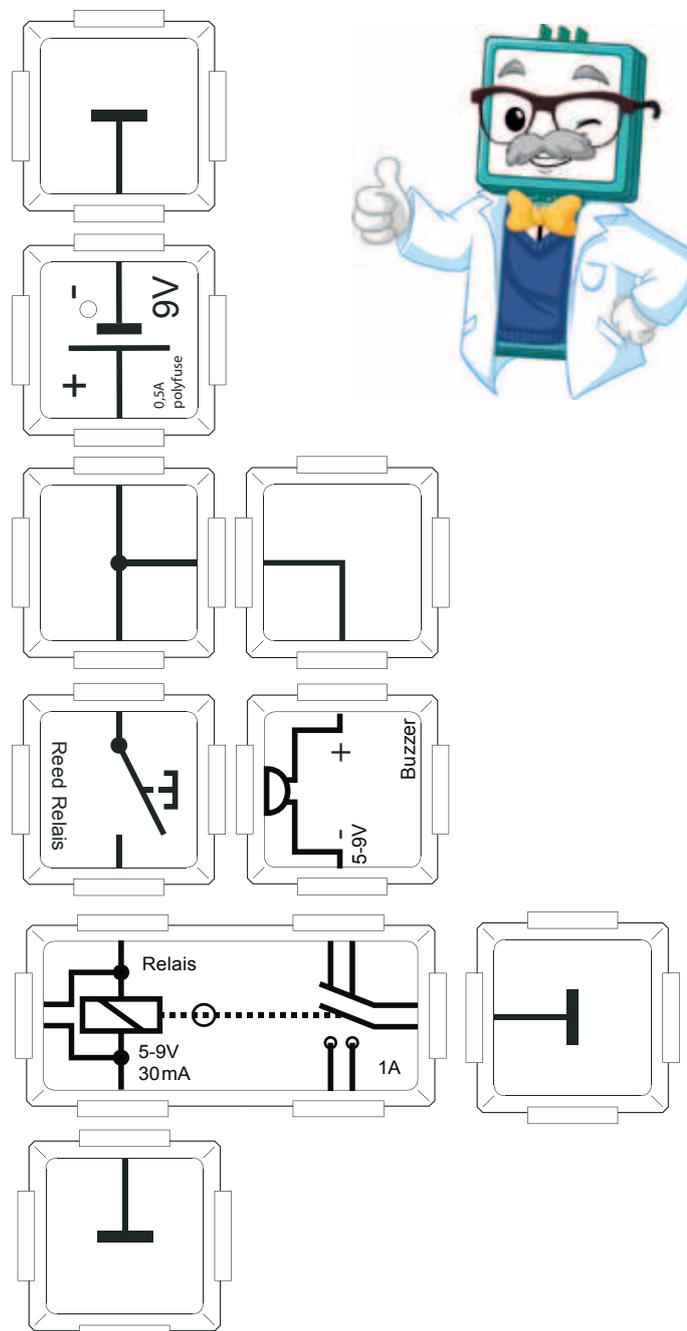


# 21. Alarmanlagen

## 21.1 Alarmschaltung 1

Alarmanlagen müssen so konzipiert sein, dass sie im Notfall auslösen. Deshalb ist es sinnvoll eine Stromunterbrechung zu realisieren. Dazu wird ein betätigter Schließer, in diesem Beispiel ein magnetisch aktiviertes Reed Relais, als Sensor verwendet. Vorstellbar ist das beispielsweise an einer geschlossenen Tür, die beim Öffnen den Kontakt frei gibt und über eine NICHT-Verknüpfung einen Signalgeber aktiviert. In der untenstehenden Schaltung ist das Relais bei geschlossenem Reed Relais angezogen.

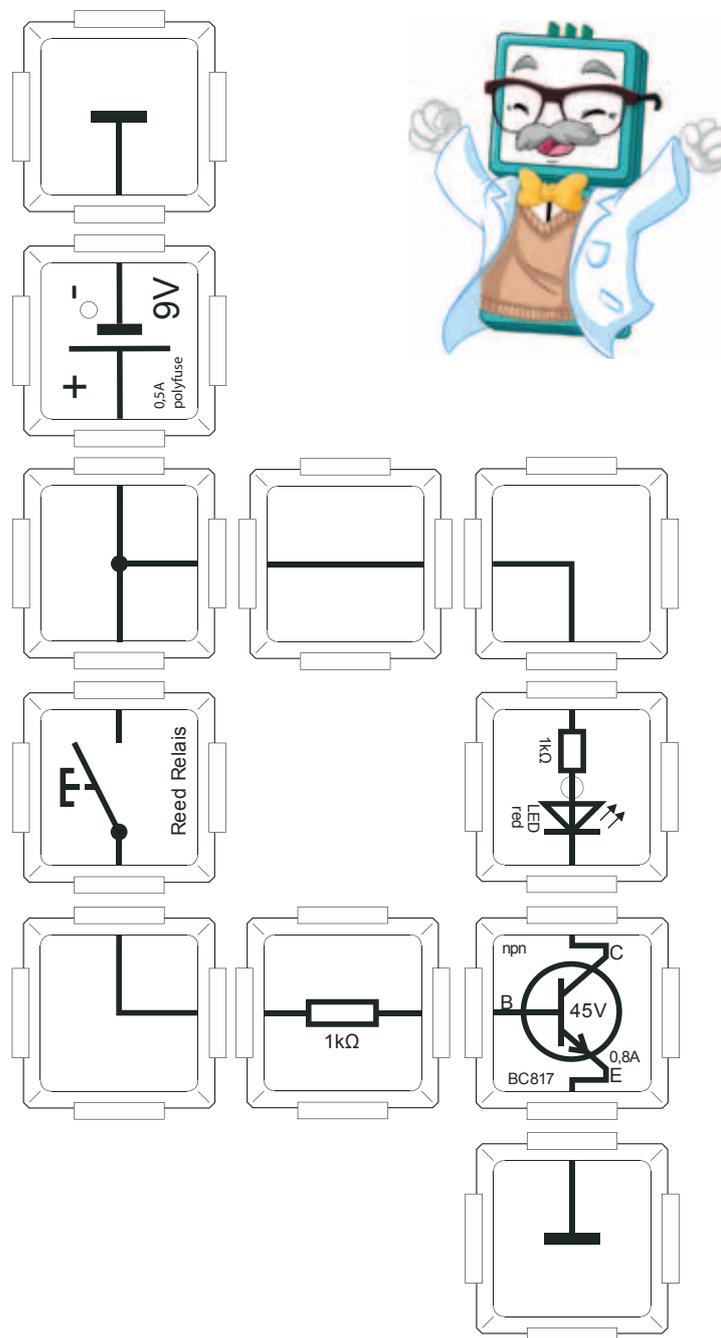
Die Arbeitskontakte sind daher als Öffner beschaltet, so dass sich die Funktion umkehrt. Wenn das Relais abfällt/öffnet, signalisiert das der Buzzer. An der Tür muss dazu natürlich z.B. ein Stabmagnet angebracht sein. Das System löst auch dann aus, wenn ein potentieller Einbrecher in der Hoffnung die Anlage zu sabotieren, die Signalleitung durchtrennt.



## 21.2 Alarmschaltung 2

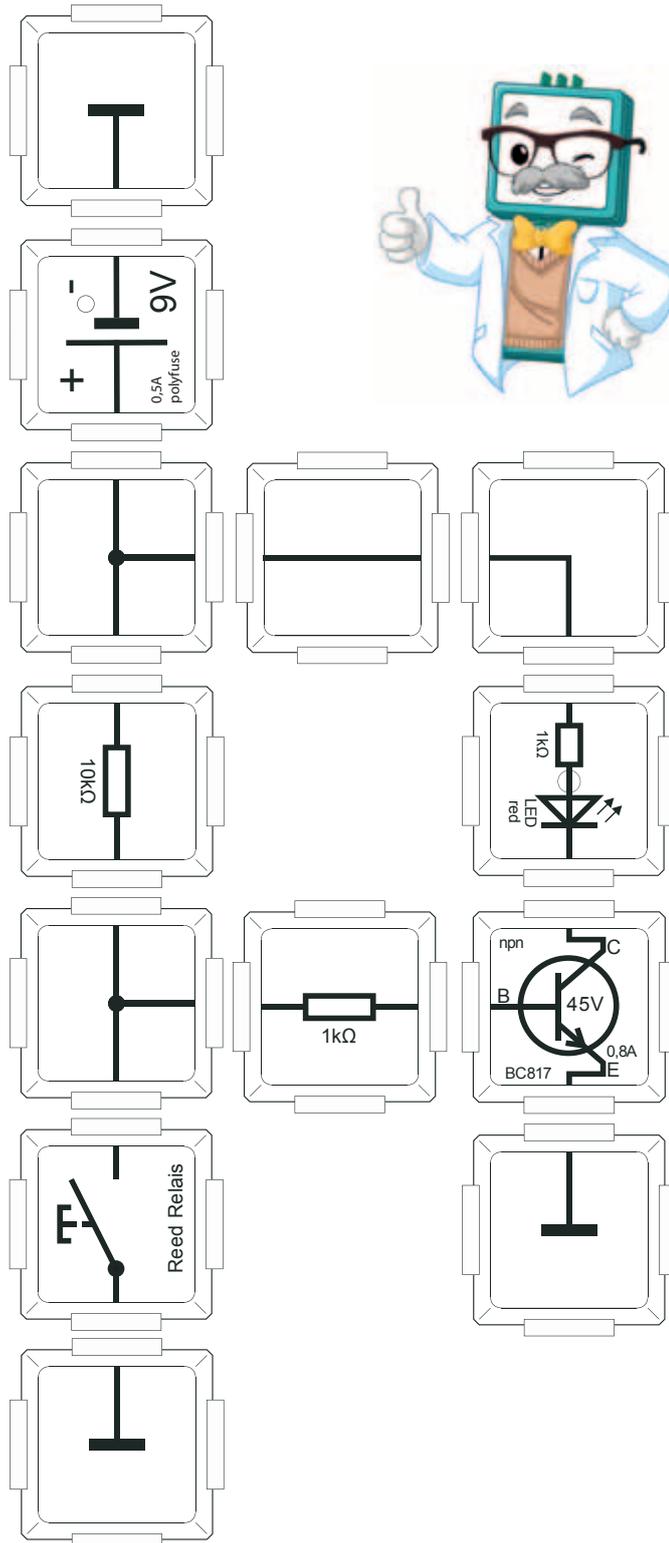
Bei Überwachungseinrichtungen ist es notwendig den sicheren Zustand z.B. in einem Kontrollraum anzeigen zu lassen. Hierzu ist einen Transistor als elektronischen Schalter anstelle des Relais aus dem Vorgängerversuch in die Schaltung eingebracht. Er löst dann aus, wenn das Reed Relais geschlossen ist. Die rote LED fungiert als optischer Signalgeber.

Sie informiert z.B. über den Zustand eines unbedingt geschlossen zu haltenden Fensters. An diesem Fenster muss natürlich ein Magnet, der das Reed Relais schaltet, angebracht sein. Wird das Fenster unautorisiert geöffnet, erlischt der Signalgeber im Kontrollraum und zeigt die potentielle Gefahr an. Das kann z.B. bei der Produktion unter Reinraumbedingungen Anwendung finden.



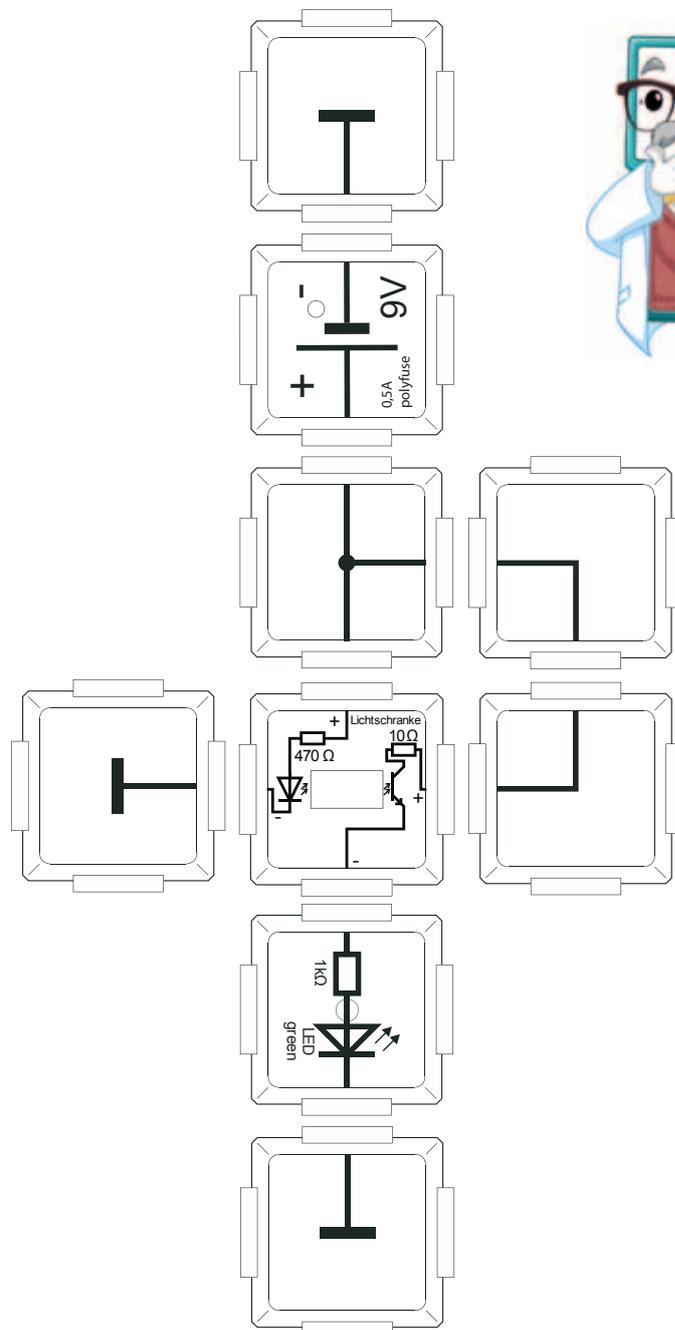
## 21.3 Alarmschaltung 3

Im Vergleich zum vorherigen Versuch (Kap. 21.2) ist an die Stelle des Reed Relais ein  $10\text{k}\Omega$ -Widerstand gerückt. Das Reed Relais hingegen ist jetzt in der Funktion als offener Schließer in den Stromkreis eingebracht. Ein Schließen zieht den Basiskontakt des Transistors auf Masse. Er kann so den Emitter-Kollektor-Strom nicht mehr aufrechterhalten und die rote LED erlischt. So kann das Überlaufen eines Tanks signalisiert und verhindert werden. Wenn der Füllstand eine kritische Marke erreicht hat, wird über den auf einem Schwimmer angebrachten Magneten das Reed Relais geschlossen und z.B. die Pumpe solange aktiviert bis ein Sollwert erreicht ist.



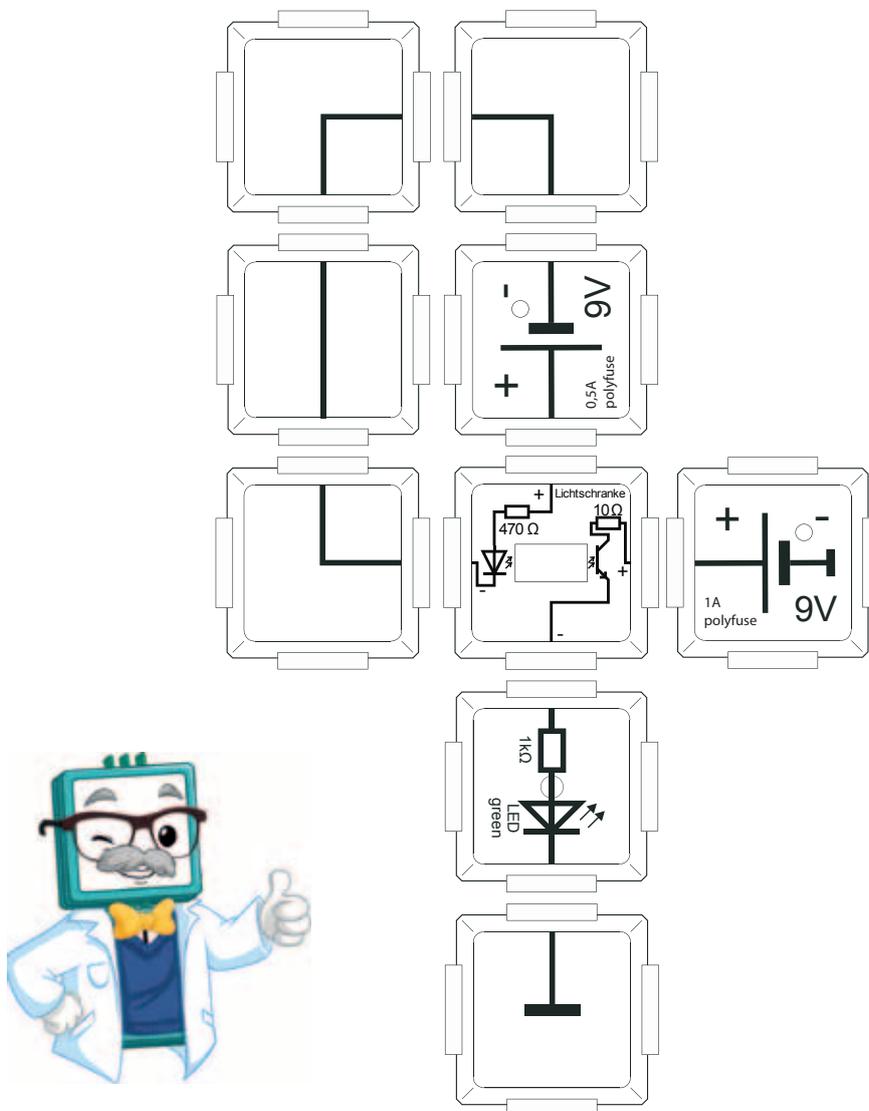
## 21.4 Lichtschanke 1

Lichtschanken werden als optoelektronische Sensoren an vielen Stellen im technischen Alltag eingesetzt. Sie sind leicht zu handhaben, sehr genau und verbrauchen wenig Energie. Z.b. in der Automatisierungstechnik werden Lichtschanken dazu verwendet Hindernisse zu erkennen. Die Anlage unterbricht bis der Gegenstand den Weg wieder freigegeben hat. An Automattüren verhindern Lichtschanken ein Schließen, solange der Türbereich nicht vollständig geräumt ist. Die vorliegende Schaltung verwendet die grüne LED als Signalgeber für die Aktivierung der Lichtschanke. Wenn die Lichtintensität auf dem Phototransistor der Lichtschanke groß genug ist, leuchtet die grüne LED. Soll die LED langsam erlöschen, reicht es aus ein optisches Hindernis, beispielsweise ein Blatt Papier, in die Lichtschanke zu schieben.



## 21.5 Lichtschranke 2

Die Informationsübermittlung kann auch mit galvanischer Trennung erfolgen. Untenstehende Abbildung zeigt zwei getrennte Stromkreise, die optisch gekoppelt sind. Das hat viele Vorteile: Z.B. müssen Alarmanlagen ihre Funktion auch beibehalten können, wenn sie vom äußeren Stromnetz getrennt wurden. Dies gilt vor allem wenn z.B. ein potentieller Einbrecher diese extern abschaltet. Die galvanische Trennung ist ein Fehlen eines gemeinsamen Bezugspotentials zwischen zwei oder mehreren Stromkreisen. Es können keine Ladungsträger ausgetaucht werden und ein Kurzschluss in einem, verursacht daher auch keinen Kurzschluss in einem weiteren Stromkreis. In der vorliegenden Schaltung sind daher zwei Spannungsquellen verbaut: Eine für die Sende-LED und eine zweite für den Stromkreis über Phototransistor und Signalgeber (grüne LED). Unterbricht die Sende-LED im ersten Kreis, reagiert der zweite und die die grüne LED verlicht etwas verzögert. Einen weiteren Vorteil hat die galvanische Trennung im Wechseln der Spannungsebene. Bauelemente sind so besser an ihre Funktion anpassbar. (Spartransformatoren sind galvanisch nicht getrennt!)

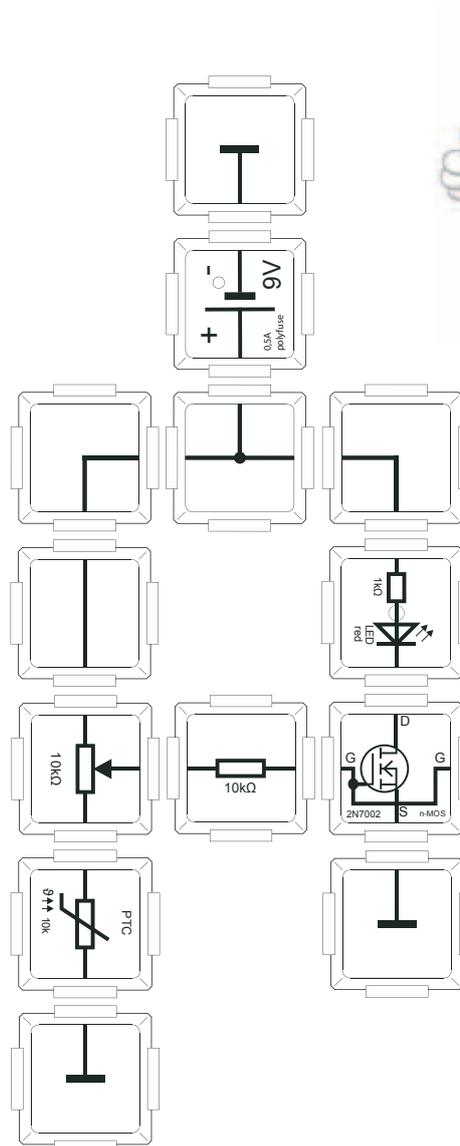


# 22. Thermoelemente

## 22.1 Thermoelemente mit PTC (Kaltleiter)

Ein PTC ist ein temperaturabhängiger Widerstand (PTC: Positive Temperature Coefficient). Positiv meint in diesem Zusammenhang, dass sich Widerstand und Temperatur proportional zueinander verhalten. Der Widerstandswert steigt also mit zunehmender Temperatur, das Bauelement leitet im kalten Zustand besser als im warmen. PTCs eignen sich daher gut als Temperatursensoren.

Der hier dargestellte Versuchsaufbau verbindet den PTC mit dem Potentiometer-Brick. Durch diese Kombination lässt sich die Schwellenspannung des PTC leicht einstellen, da seine Widerstandsänderung im Bereich der Zimmertemperatur relativ gering ausfällt. Über den Mittenabgriff des Potentiometers und einen 10kΩ-Widerstand ist zudem ein Transistor-Brick angeschlossen. Der hier verwendete MOSFET (n-Kanal, normal sperrend) reagiert bei empfindlichen Spannungsänderungen und bringt die zwischen Drainkontakt und Versorgung platzierte rote LED bei steigender Temperatur zum Leuchten. Ein Verstellen des Potentiometers gegen den Uhrzeigersinn hebt den Temperatur-Arbeitspunkt an. Ein Beispiel für Kaltleiter aus dem normalen Hausgebrauch sind Glühlampen. Sie werden in der Regel nicht bewusst als solche wahrgenommen, erhöhen allerdings mit zunehmender Betriebsdauer rasch Temperatur und Widerstand von 20°C und wenigen Milli-Ohm auf ca. 3.500°C und ca. 1.000Ω, was genau der Arbeitsweise von Kaltleitern entspricht.



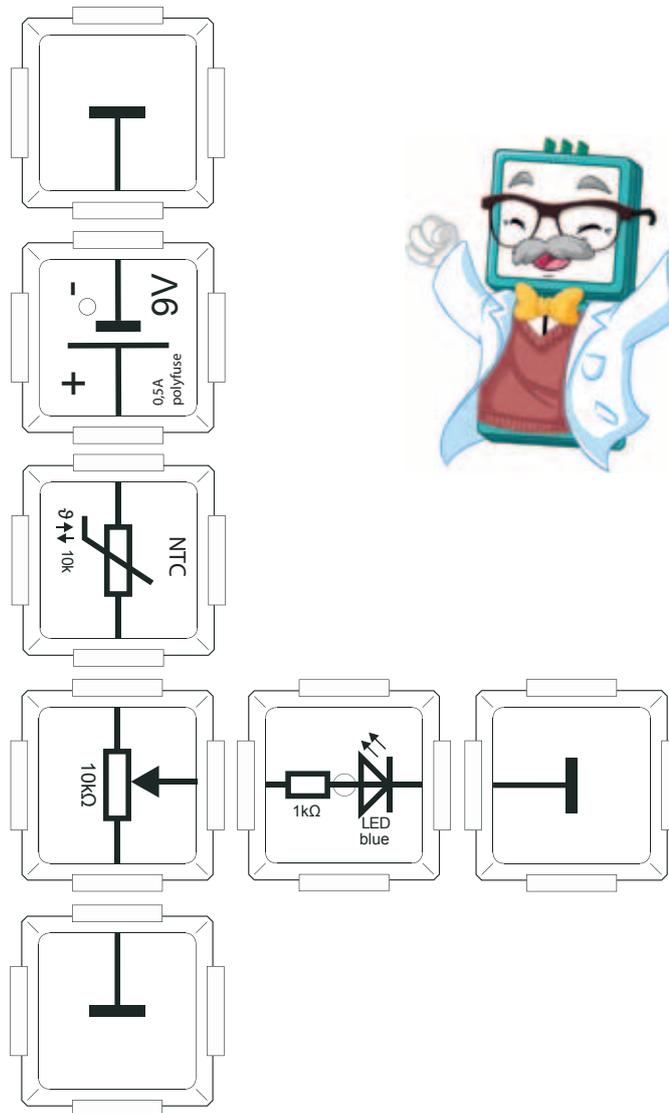
## 22.2 Versuche mit NTC (Heißleiter)

Ein NTC ist ein temperaturabhängiger Widerstand (NTC: Negative Temperature Coefficient). Negativ meint in diesem Zusammenhang, dass sich Widerstand und Temperatur antiproportional zueinander verhalten. Der Widerstandswert sinkt also mit zunehmender Temperatur, das Bauteil leitet im heißen Zustand besser als im kalten.

NTCs finden als Temperatursensoren Verwendung. Der vorliegende Versuchsaufbau bringt den NTC in Serie mit dem Potentiometer, um die Leuchtintensität der blauen LED besser konfigurieren zu können.

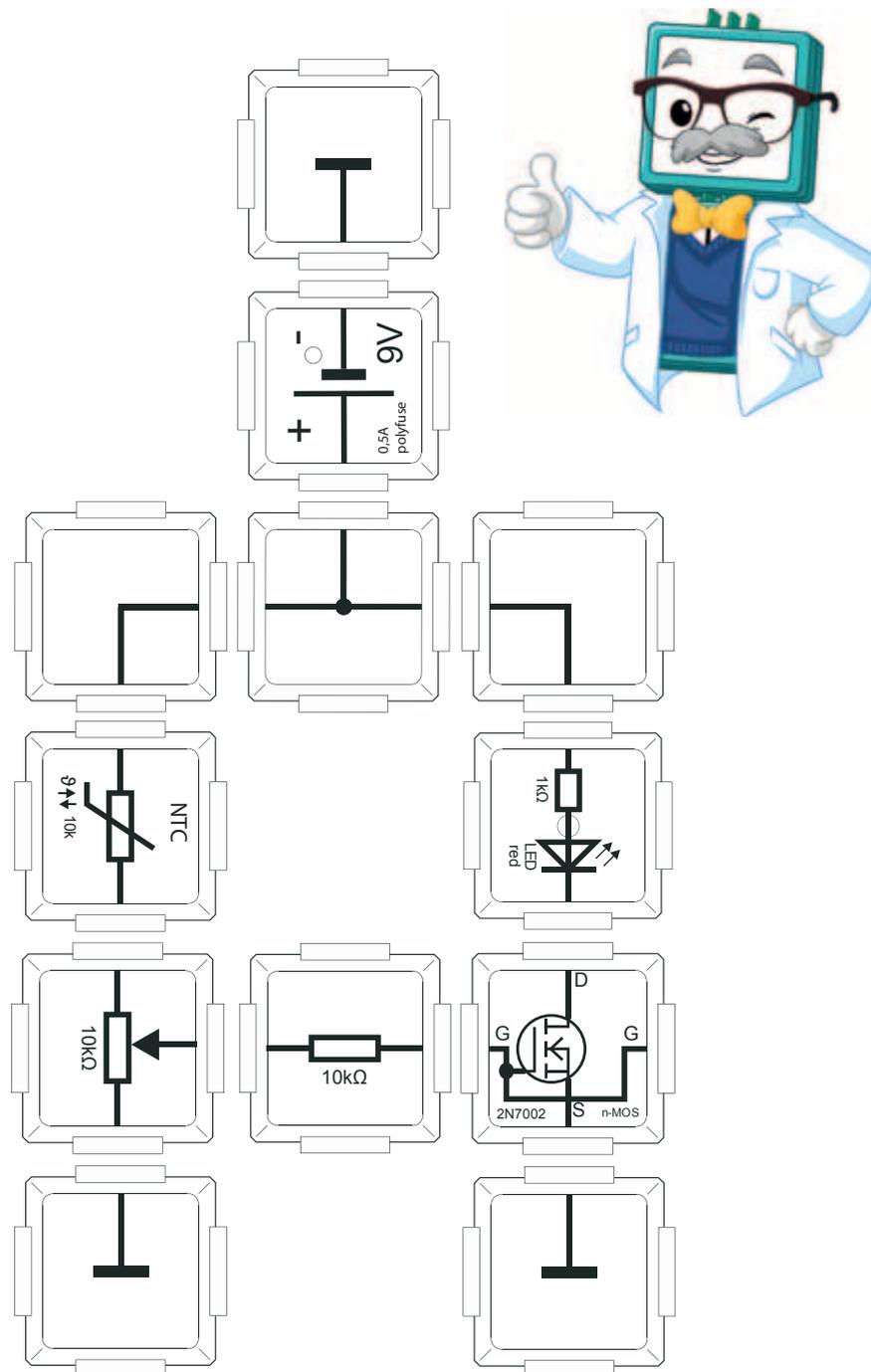
Blaue LEDs haben eine höhere Betriebsspannung als andere LEDs und NTCs und sind bei Raumtemperatur relativ hochohmig, daher ist die Schaltung ohne Verstärkung z.B. durch einen Transistor realisierbar. Kontaktiert ist die LED über den Mittenabgriff des Potentiometers.

Ein Verstellen des Potentiometer gegen den Uhrzeigersinn senkt den Temperatur-Arbeitspunkt. Die Funktion ist leicht mit einem Kühlakku zu überprüfen. Hier ist Vorsicht geboten. Wasser kann den Brick zerstören. Es empfiehlt sich den Kühlakku vor dem Anlegen an den NTC-Brick in ein Handtuch zu wickeln. Je kälter der NTC-Brick, desto früher erlischt die blaue LED. Die Wirkungsweise ist umkehrbar. Hierfür ist in in der Serienschaltung NTC und Potentiometer zu vertauschen.



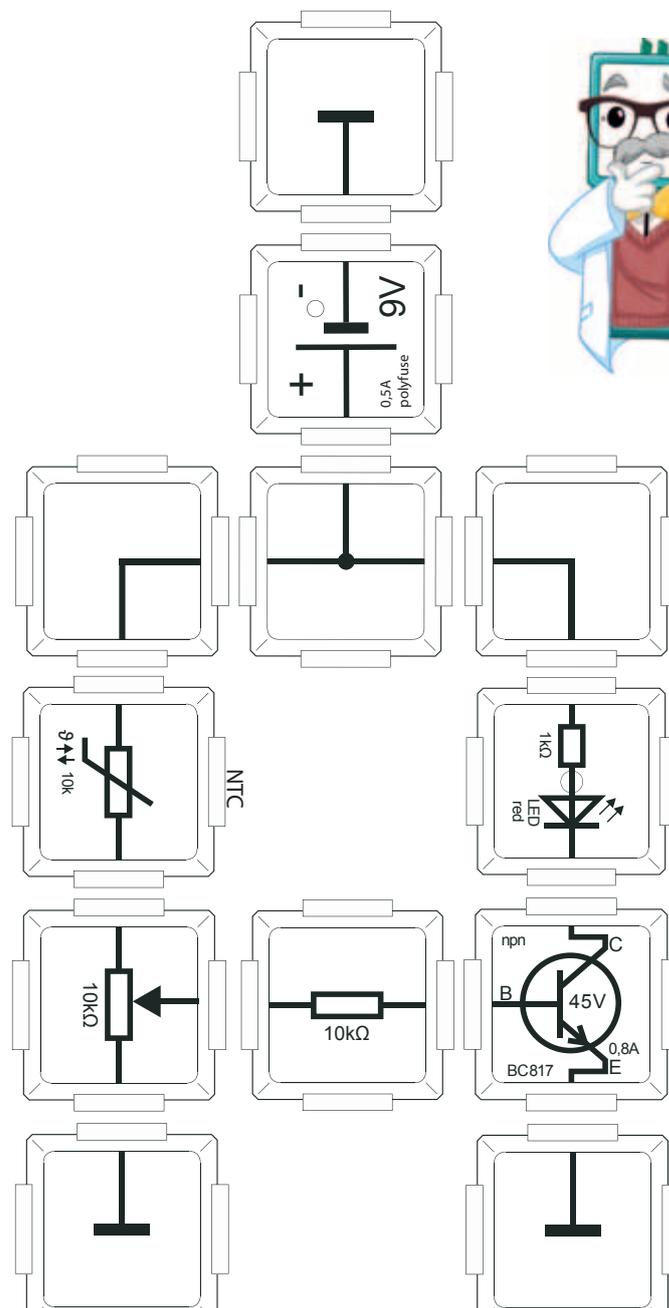
## 22.3 NTC mit MOSFET (n-Kanal, normal sperrend)

Im Vergleich zum Vorgängerversuch ist in der aktuellen Schaltung ein MOSFET zwischen LED und Potentiometer verbaut. Die Wirkungsweise ist mit der aus Versuch 22.2 identisch. Der Einsatz des Transistors macht den Schaltkreis lediglich etwas empfindlicher, wodurch die Schwellspannung besser einstellbar ist. Je wärmer der PTC wird, desto weniger Spannung fällt über ihm ab. Folglich verschiebt sich der Spannungsteiler zu Gunsten der Schaltschwelle des MOSFETs und die rote LED leuchtet.



## 22.4 NTC mit Bipolartransistor (BC817)

Wie untenstehender Abbildung dargestellt gleicht der Versuchsaufbau weitgehend dem aus Kapitel 22.3. Lediglich der MOSFET-Brick ist durch den Brick mit dem Bipolartransistor BC817 auszutauschen. Die Wirkungsweise dieser Schaltung ist mit der aus Versuch 22.2 und 22.3 identisch. Je stärker die Temperatur des PTC steigt, desto weniger Spannung fällt über ihn ab. Der Spannungsteiler verschiebt sich zu Gunsten der Schaltschwelle des Transistors und die rote LED leuchtet. Die Aufschrift auf dem NTC-Brick gibt den Widerstandwert bei 20°C an. Da der Widerstandswert eines NTC bei Temperaturerhöhung zunimmt, werden diese Bauelemente auch als Strombegrenzungswiderstand verwendet. An dieser Stelle findet der Effekt Anwendung, dass ein stromdurchflossener Leiter seine Temperatur in Abhängigkeit von der ihn durchfließenden Stromstärke ändert. Da dieser bei einem NTC entgegengesetzt proportional ist, eignet er sich gut zur Realisierung eines sog. Softstarts (sanftes Anlaufen) von Elektromotoren. Temperatur und Stromfluss sind zu Beginn minimal. Mit zunehmender Betriebsdauer erhöhen sich der Stromfluss und Temperatur auf ein Maximum.



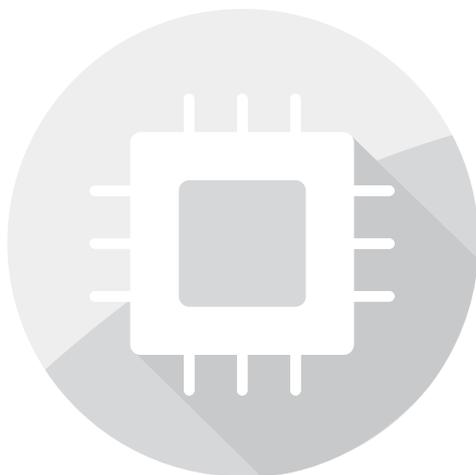
## 23. Ein Ausblick in die Zukunft

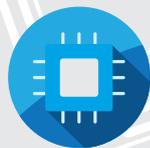
In Kürze folgen weitere Elektronik-Sets mit faszinierenden Möglichkeiten. Diese beinhalten unter anderem:

- Amateurfunk: Auch geeignet zur Prüfungsvorbereitung für Amateurfunker!
- HF Technik
- Digitaltechnik
- Modulares Digitaloszilloskop: Mit 100 MSPS, 2 Kanälen, 14Bit Auflösung und 2 Digital/Analog Wandern 120 MSPS
- Spektrum Analyser ca 200 MHz
- CPU Adapter: Für Arduino, Nano, Raspberry, BananaPI mit LEDs
- Giga-Hertz Sets
- Signalgenerator 250kHz-3GHz
- Frequenzmessgerät DC-2.5GHz und mit Adaptern bis 26GHz
- weitere Messgeräte
- I2C Bausteine, Leerbausteine und weitere Spezialelemente

Entwickelt von: DM7RDK

Im Rahmen der Nachwuchsförderung und Ausbildung im Bereich Amateurfunk und Industrie.





**ALLNET GmbH**  
**Maistrasse 2**  
**D-82110 Germering**

**Tel.: +49 89 894 222-22**  
**Fax.: +49 89 894 222-33**

**[www.brickrknowledge.de](http://www.brickrknowledge.de)**  
**email: [info@brickrknowledge.de](mailto:info@brickrknowledge.de)**