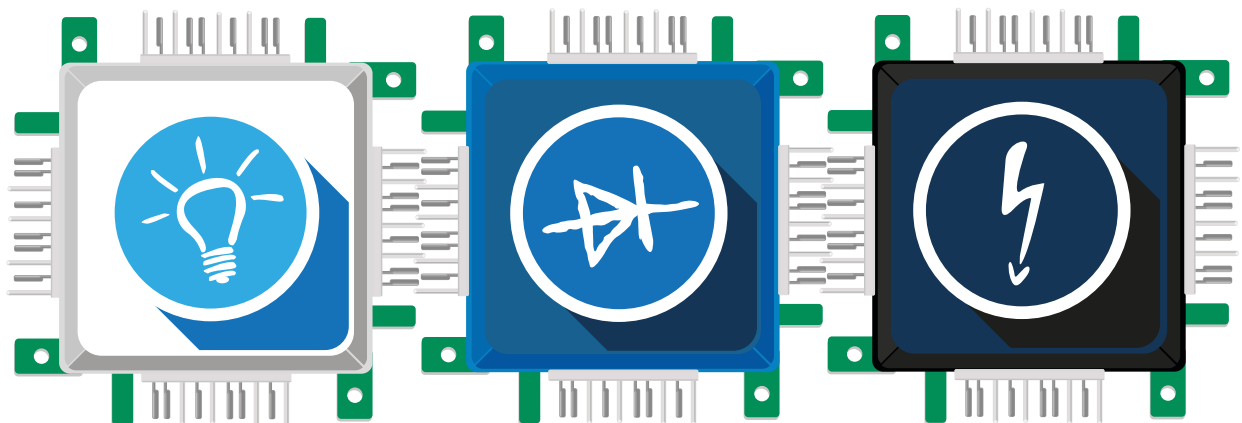


Brick 'R'
knowledge

Advanced Set

Experimentierkasten von Brick'R'knowledge
Kreativität fördern – Entwicklung stärken

Experimental kit by Brick'R'knowledge
Promote creativity – strengthen development



Impressum

Brick'R'knowledge Advanced Set Anleitung
Rev. 2.0
Datum: 12.12.2017

ALLNET® und Brick'R'knowledge® sind eingetragene Warenzeichen der ALLNET® GmbH Computersysteme.

ALLNET® GmbH Computersysteme
Brick'R'knowledge
Maistraße 2
D-82110 Germering

© Copyright 2017 ALLNET GmbH Computersysteme. Alle Rechte vorbehalten.

Alle in dieser Anleitung enthaltenen Informationen wurden mit größter Sorgfalt und nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind wir jederzeit dankbar. Bitte sende diese an info@brickrknowledge.de.



Inhaltsverzeichnis

1. Sicherheitshinweise	7
2. Grundlagen des Brick'R'knowledge Systems	8
2.1 Der Masse-Brick	8
2.2 Die Spannungsversorgung	8
2.3 Die Steckverbinder	9
2.4 Signalführung	9
3. Grundlagen allgemein	10
3.1 Elektrische Größen	10
3.2 Präfixe	11
4. Die Bricks im Überblick	12
4.1 Versorgungs-Bricks	12
4.2 Leitungs-Bricks	13
4.3 Taster, Schalter und Relais	14
4.4 Widerstände	16
4.5 Kondensatoren (Kapazitäten)	18
4.6 Spulen (Induktivitäten)	21
4.7 Dioden/LEDs und optoelektronische Bauteile	22
4.8 Bipolar-Transistoren	25
4.9 Feldeffekt-Transistoren	26
4.10 Audioelemente	28
4.11 Operationsverstärker	30
4.12 Sonstige Elemente	31
5. Schaltungsbeispiele	32
5.1 Der Stromkreis	32
5.1.1 Die Spannungsversorgung	32
5.1.2 Einfacher Stromkreis mit LED	33
5.1.3 Vereinfachte Schaltung mit Masse-Brick	34
5.1.4 Unterbrochener Stromkreis	35
5.1.5 Stromkreis mit Taster	36
5.1.6 Stromkreis mit Umschalter	36
5.1.7 Parallelschaltung zweier LEDs	37
5.1.8 Batterie-Polung testen	38
5.2 Digitale Logik mit Tastern	39
5.2.1 UND-Schaltung	39
5.2.2 ODER-Schaltung	40
5.2.3 NICHT-Schaltung	41
5.2.4 Exklusiv-ODER-Schaltung (Wechselschaltung)	42
5.3 Der Widerstand	43
5.3.1 LED-Vorwiderstand berechnen	44
5.3.2 Widerstand variieren	45
5.3.3 Serienschaltung	46
5.3.4 Parallelschaltung	47
5.3.5 Potentiometer als Spannungsteiler	48
5.3.6 Schwellenspannung	49
5.3.7 Lichtempfindlicher Widerstand	50
5.4 Der Kondensator	51
5.4.1 Entladen eines 1 μF Kondensators mit LED beobachten	51
5.4.2 Entladen eines 100 μF Kondensators mit LED beobachten	52
5.4.3 Laden und Entladen eines Kondensators mit LEDs beobachten	53

5.5	Die Spule	54
5.5.1	Entladen einer Spule mit LED beobachten	54
5.5.2	Laden und Entladen einer Spule mit zwei LEDs beobachten	55
5.5.3	Induktionsspannung mit Glimmlampe beobachten	56
5.5.4	Energiespeicherung in Spule und Kondensator	57
5.6	Der Transistor	58
5.6.1	Der Transistor als Schalter	58
5.6.2	Resistiver Touch-Sensor mit Darlington-Schaltung	59
5.6.3	Kapazitiver Touch-Sensor mit Darlington-Schaltung	60
5.6.4	Dämmerungserkennung mit lichtempfindlichem Widerstand (LDR)	61
5.6.5	Dämmerungsschalter mit lichtempfindlichem Widerstand (LDR)	62
5.6.6	Normale LED als Photodiode	63
5.6.7	Dämmerungsschaltung mit Transistor als Inverter	64
5.6.8	Logische Invertierung mit Transistor	65
5.6.9	Konstantstrom für LED bei 9V-Versorgung	66
5.6.10	Konstantstrom für LED bei 18V-Versorgung	67
5.6.11	Astabiler Multivibrator	68
5.6.12	Monostabiler Multivibrator	69
5.6.13	Bistabiler Multivibrator	70
5.7	Feldeffekt-Transistoren (FET)	71
5.7.1	Junction-FET (JFET) – Sperrschichtfeldeffekttransistor	71
5.7.2	Metall-Oxid-Halbleiter-FET (MOSFET)	72
5.7.3	MOSFET als Schalter	73
5.7.4	MOSFET als Touchsensor	74
5.8	Spezial-Halbleiter	75
5.8.1	Programmierbarer Unijunction Transistor (PUT)	75
5.8.2	Thyristor im Ersatzschaltbild	76
5.9	Timer-Baustein 555	77
5.9.1	Timer astabil	77
5.9.2	Timer monostabil	78
5.9.3	Timer bistabil (Variante 1)	79
5.9.4	Timer bistabil (Variante 2)	80
5.9.5	Timer bistabil (Variante 3)	81
5.9.6	Timer als Spannungsgenerator	81
5.10	Logikschaltungen mit Halbleiter	83
5.10.1	ODER-Schaltung mit Dioden	83
5.10.2	UND-Schaltung mit Dioden	84
5.10.3	NAND-Schaltung mit Transistoren	85
5.10.4	NOR-Schaltung mit Transistoren	86
5.10.5	AND-Schaltung mit Transistoren	87
5.10.6	OR-Schaltung mit Transistoren	88
5.11	Oszillatorschaltungen	89
5.11.1	Quarz-Oszillator im 13,56 MHz ISM-Band	89
5.11.2	Quarz-Oszillator mit Abstimmung	90
5.11.3	Quarz-Oszillator mit Kapazitätsdiode	91
5.11.4	Schwingkreis mit Kondensator und Spule	92
5.12	Der Operationsverstärker (OPV)	93
5.12.1	Operationsverstärker als Komparator	93
5.12.2	Operationsverstärker als Spannungsfolger	95
5.12.3	Operationsverstärker als nicht-invertierender 11:1 Verstärker	96
5.12.4	Operationsverstärker invertierend mit virtueller Masse und 10:1 Verstärkung	97
5.12.5	Operationsverstärker als Integrator	99
5.12.6	Operationsverstärker als Differenzierer	100

5.13	Audio-Verstärker mit LM386	101
5.13.1	Mikrofon und Verstärker	101
5.13.2	Rauschgenerator mit Diode als Rauschquelle	102
5.13.3	Rauschgenerator mit Transistor als Rauschquelle	103
5.13.4	Licht hörbar machen – ein „Licht-Verstärker“	104
5.13.5	Brummdetektor	105
5.13.6	Lichtschranke zur Audioübertragung	106
5.13.7	Lichtverstärker mit Phototransistor	107
5.13.8	Infrarot-Übertragung mit Phototransistor	108
5.13.9	Infrarot-Übertragung mit Photodiode	109
5.14	Das Relais	110
5.14.1	Relais Grundsaltung	110
5.14.2	Das Relais als Umschalter	111
5.14.3	Relais-Kaskade im Steuerstromkreis	112
5.14.4	Relais-Kaskade im Schaltstromkreis	113
5.14.5	Relais in Parallelschaltung	114
5.14.6	Relais-Selbsthaltung	115
5.14.7	Selbsthaltung als 1-Bit Speichereinheit	117
5.14.8	Relais mit Selbstunterbrecher – „Hausklingel“	118
5.14.9	Relais mit Selbstunterbrecher über zweites Relais	119
5.14.10	Relais-Selbthaltung verzögert	120
5.14.11	Relais als NICHT-Verknüpfung (Invertierschaltung)	121
5.14.12	Relais als UND-Verknüpfung (AND)	122
5.14.13	Relais als invertierende UND-Verknüpfung (NAND)	123
5.14.14	Relais als ODER-Verknüpfung (OR)	124
5.14.15	Relais als invertierende ODER-Verknüpfung (NOR)	125
5.14.16	Relais als Exklusiv-ODER-Verknüpfung (XOR)	126
5.14.17	Der Reed-Relais-Brick	127
5.15	Alarmschaltungen	128
5.15.1	Morse-Schaltung mit Buzzer	128
5.15.2	Alarmanlage mit Relais	129
5.15.3	Alarmanlage mit Transistor	130
5.15.4	Alarmanlage mit Transistor in invertierter Funktion	131
5.15.5	Lichtschranke als Sensor	132
5.15.6	Optokoppler zur galvanischen Trennung	133
5.16	Thermoelemente	134
5.16.1	Kaltleiter (PTC) als Temperatursensor mit Verstärkung	134
5.16.2	Heißeiter (NTC) als Temperatursensor ohne Verstärkung	135
5.16.3	Heißeiter (NTC) als Temperatursensor mit MOSFET-Verstärker	136
5.16.4	Heißeiter (NTC) als Temperatursensor mit Bipolartransistor	137
6.	Brick Community	138
7.	Brick Sets im Überblick	141

Vorwort

Das Brick'R'knowledge Experimentiersystem wurde zum ersten mal auf der HAM Radio Ausstellung am 28.06.2014 von Rolf-Dieter Klein (Amateurfunkrufzeichen: DM7RDK) vorgestellt. Das Besondere an unseren Elektroniksets ist, dass die einzelnen Bausteine über ein Stecker-System verbunden werden, bei dem die zusammenzufügenden Teile baugleich sind (Hermaphrodite). So können auch knifflige Stromkreise realisiert werden. Auch das Zusammenstecken der einzelnen Bausteine in verschiedenen Winkeln ist möglich! Für die Rückführung der Masse (0Volt) sind gleich zwei Kontakte vorhanden! Damit lassen sich kompakte Schaltungen aufbauen, bei der die Masse-Rückführung für eine stabile Spannungsversorgung der Bausteine sorgt. Eine weitere Besonderheit ist, dass man solche Schaltungen sehr leicht erklären und dokumentieren kann.

Viel Spass mit dem Advanced Set wünscht

Rolf-Dieter Klein



Weiterführende Literatur und interessante Web-Tutorials:

- Halbleiter-Schaltungstechnik; Tietze Ulrich; Schenk Christoph; Gamm Eberhard; Springer Vieweg Verlag; ISBN: 978-3-662-48354-1
- Grundwissen in Elektronik, Mathematik und Physik von Bernhard Grotz: <http://www.grund-wissen.de>
- Elektronische Schaltungstechnik von Patrick Schnabel: <http://www.elektronik-kompodium.de>
- Elektroniktutor von Detlef Mietke: <http://www.elektroniktutor.de>
- Wikipedia: <https://www.wikipedia.de>

1. Sicherheitshinweise

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

Zur Spannungsversorgung ausschließlich die mitgelieferten Bricks zum Anschluss einer 9V-Batterie oder zu Einspeisung über das 9V-Netzteil verwenden. Die Versorgungsspannung beträgt hier gesundheitsungefährliche 9 Volt. Das Netzteil liefert maximal 1 Ampere, die Batterie noch weniger. Bitte trage auch Sorge dafür, 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 gesundheitsgefährlichen Stromschlags bzw. elektrischen Schocks.

Schaue niemals direkt in eine Leuchtdiode (LED), denn moderne LEDs können so stark leuchten, dass die Gefahr besteht, die Netzhaut zu schädigen. Bitte 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) anschließen und **nicht** den mit „Plus“ gekennzeichneten Kontakt mit dem mit „Minus“ gekennzeichneten Anschluss an der Spannungsversorgung (9V) verbinden. Man spricht hier von korrekter 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 und die 9V-Batterie nach den Versuchsaufbauten wieder von allen Bausteinen zu trennen, andernfalls besteht die Gefahr eines Elektrobrandes!

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

2. Grundlagen des Brick'R'knowledge Systems

2.1 Der Masse-Brick

Der Masse-Brick ist ein besonderer Baustein des Brick'R'knowledge Systems. Er spart zusätzliche Verbindungen mit Hilfe anderer Bricks oder Leitungen. Hier wird das Geheimnis unserer vierpoligen, sog. hermaphroditischen Steckverbinder 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 der 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 etwa das Gewicht eines Gegenstandes beschrieben wird, sondern das Bezugspotential, auf das sich alle anderen Spannungen in der Regel beziehen. Der Masse-Brick stellt in allen Brick'R'knowledge-Sets 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 in der Praxis nur so zu lesen.

Tatsächlich verbindet der Masse-Brick an seinem Steckverbinder die beiden mittleren Kontakte mit den beiden äußeren. Doch keine Angst, wir verursachen damit keinen Kurzschluss, denn der Strom durchfließt ja über die mittleren Kontakte die Bauelemente in unserem Brick-Stromkreis. Der rote Pfeil in der Abbildung symbolisiert den Pluspol und die blauen Pfeile zeigen die Masserrückführung zum Minuspol der Spannungsversorgung.

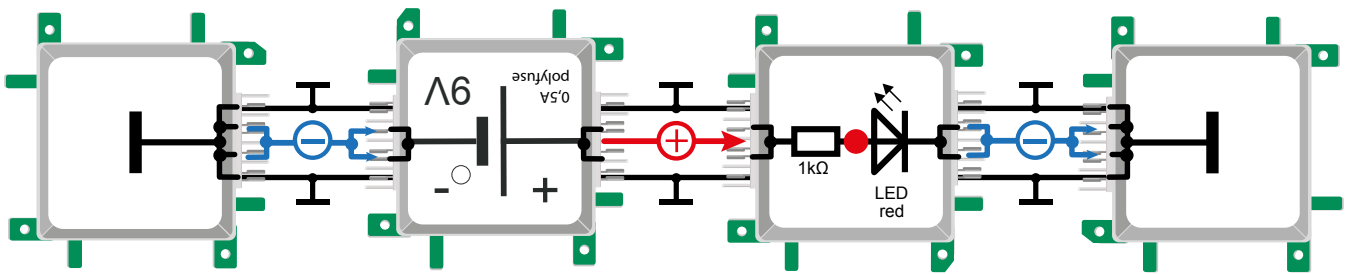


Abb. 1: Die Masse-Verbindung

2.2 Die Spannungsversorgung



9V-Steckernetzteil

9V-Batterie-Brick

Die Spannungsversorgung des Advanced Sets erfolgt über das mitgelieferte 9V-Steckernetzteil (ALL-BRICK-0221). Es liefert eine stabilisierte Gleichspannung von 9V und einen Maximalstrom von 1 A. Bei Überlastung schaltet das Netzteil ab, d. h. es ist kurzschlussicher. Eine LED zeigt an, sobald der Brick Spannung bereitstellt.

In manchen Schaltungen wird als zusätzliche Spannungsquelle der 9V-Batterie-Brick (ALL-BRICK-0001) benötigt. Grundsätzlich kann der 9V-Batterie-Brick auch alternativ zum 9V-Steckernetzteil verwendet werden.

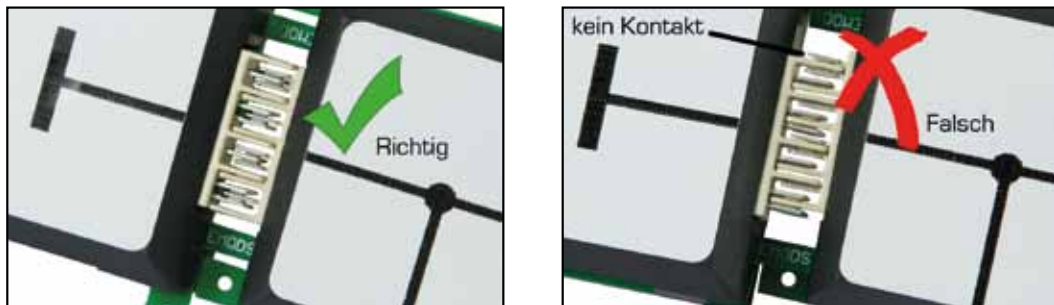
Abb. 2: Spannungsversorgung



Wenn du später die Bricks in den Übungsbeispielen zusammensteckst, achte darauf, den Versorgungs-Brick stets als letzten Brick an deine Schaltung zu stecken, nachdem du diese nochmals kontrolliert hast. **Am Ende der Versuchsdurchführung muss das Netzteil vom Stromnetz getrennt werden!**

2.3 Die Steckverbinder

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



Richtig gesteckt

Falsch gesteckt

Abb. 3: Die Steckverbinder

Im linken Bild sieht ihr eine richtig gesteckte Verbindung. Die Verbindung besteht jeweils aus kleinen Stiften, die sich mechanisch verklemmen und dabei eine elektrische Verbindung herstellen. Um eine Isolation zwischen den Kontakten zu gewährleisten und einen Kurzschluss zu verhindern sind dazwischen Stege aus Kunststoff eingebracht, die den elektrischen Strom nicht leiten.

Ein Beispiel einer fehlerhaften Verbindung ist im rechten Bild zu sehen. Hier treffen Isolierstege auf Kontakte, sodass kein Strom fließen kann. Der Stromkreis bleibt „offen“ oder ist instabil und die Funktion der Schaltung ist 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 der elektrische Strom überwinden muss, der Innen-Widerstand der Spannungsquelle ist. Dieser Widerstand ist anschaulich sehr klein, sodass der Kurzschlussstrom bei längerer Dauer zur Überhitzung führen kann. Es besteht Brandgefahr!



Wichtig: Immer die richtige Stellung der Kontakte überprüfen!

2.4 Signalführung

Für die Kennzeichnung der beiden mittleren Signalpins der Brick'R'knowledge Stecker gilt:

Falls nur ein einpoliges Signal über die Anschlüsse des Bricks geführt wird, zeigt das Label nur eine Linie, die mittig zum jeweiligen Stecker führt. In diesem Fall sind die beiden mittleren Signalpins stets verbunden (linkes Beispiel).

Sofern es sich um einen Brick handelt, der zwei getrennte Signale über einen oder mehrere seiner Stecker führt, werden grundsätzlich beide Signalpins gekennzeichnet. Falls an einem Stecker beide Signalpins verbunden sind, wie am oberen und unteren Stecker in Abb. 4 rechts zu sehen, wird dies entsprechend dargestellt.



Abb. 4: Signalführung einpolig (links) und zweipolig (rechts)

3. Grundlagen allgemein

3.1 Elektrische Größen

Zur Beschreibung der elektrischen Bauteile benötigen wir elektrische Größen, die im Rahmen des Internationalen Einheitensystems (SI = "Système international d'unités") definiert sind. Daher auch die weitverbreitete Bezeichnung SI-Einheiten. Man unterscheidet zwischen dem Namen der Größe, der Einheit und dem Einheitenzeichen (Symbol).

In folgender Tabelle sind die für das Advanced Set relevanten Größen zusammengefasst.

Name der Größe	Formelzeichen	Einheit	Einheitenzeichen (Symbol)
Elektrische Spannung	U	Volt	V
Elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
(Wirk-)Leistung	P	Watt	W
Elektrische Energie	E	Joule (Wattsekunde)	J (Ws)
Elektrischer Widerstand	R	Ohm	Ω
Elektrische Ladung	Q	Coulomb	C (As)
Elektrische Kapazität (Kondensator)	C	Farad	F
Induktivität (Spule)	L	Henry	H
Frequenz	f	Hertz	Hz

Die Symbole sind international einheitlich. Die Namen unterscheiden sich je nach Sprache. Für die Umsetzung sind in der Regel nationale metrologische Institute zuständig. Zum Beispiel:

- Deutschland: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
- Schweiz: Eidgenössisches Institut für Metrologie (METAS)
- Österreich: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV)

Übrigens:

Die Metrologie ist die „Wissenschaft vom Messen und ihre Anwendung“, nicht zu verwechseln mit der Meteorologie also der Wetterkunde.

Mehr zum Thema Internationales Einheitensystem findet Ihr unter:

https://de.wikipedia.org/wiki/Internationales_Einheitensystem

... und eine umfassende Liste physikalischer Größen unter:

https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_physikalischer_Gr%C3%B6%C3%9Fen.

3.2 Präfixe

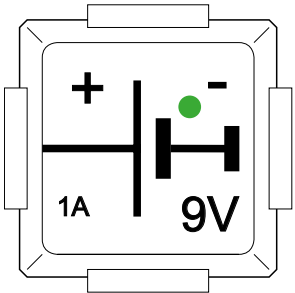
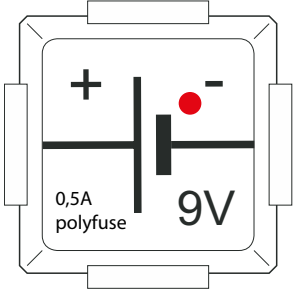
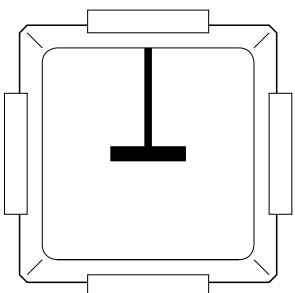
Die sog. SI- oder Dezimalpräfixe sind für die Verwendung im Internationalen Einheitensystem (SI) definiert. Sie basieren auf Zehnerpotenzen mit ganzzahligen Exponenten. Man unterscheidet zwischen dem Namen des Präfix und seinem Symbol. Die Symbole sind international einheitlich. Die Namen unterscheiden sich je nach Sprache. Beachte die Groß-/Kleinschreibung der Symbole, das Symbol für Kilo wird aus historischen Gründen kleingeschrieben.

Name des Präfix	Symbol	Wert
Tera	T	10^{12} (Billion)
Giga	G	10^9 (Milliarde)
Mega	M	10^6 (Million)
Kilo	k	10^3 (Tausend)
–	–	10^0 (Eins)
Milli	m	10^{-3} (Tausenstel)
Mikro	μ	10^{-6} (Millionstel)
Nano	n	10^{-9} (Milliardstel)
Piko	p	10^{-12} (Billionstel)
Femto	f	10^{-15} (Billiardstel)

4. Die Bricks im Überblick

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 zahlreiche passive und aktive Bauelemente, wie Widerstände, Kondensatoren, Transistoren, etc., welche in den folgenden Kapiteln kurz vorgestellt werden.

4.1 Versorgungs-Bricks

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	9V Netzteiladapter	Art.-Nr.: 118627 Brick-ID: ALL-BRICK-0221
<p>Der Netzadapter liefert eine stabilisierte 9V Gleichspannung. Der Maximalstrom beträgt 1 A und mit einer selbstheilenden Sicherung vom Typ Polyfuse abgesichert. Eine LED zeigt an, sobald der Brick Strom liefert. Der Pluspol ist direkt herausgeführt und der Minuspol ist mit Masse verbunden, sodass kein weiterer Masse-Brick verwendet werden muss.</p>		Beachte: Es empfiehlt sich die Schaltung vor Inbetriebnahme nochmals zu kontrollieren, da ansonsten die Gefahr besteht, dass durch Kurzschluss, Verpolung oder einen anderen Fehler empfindliche Bauteile beschädigt werden! Das Netzteil ist am Ende der Versuchsdurchführung sofort vom Stromnetz zu trennen!	
	1	9V Block-Batterie	Art.-Nr.: 113628 Brick-ID: ALL-BRICK-0001
<p>Der Batterie-Brick verwendet eine 9V Block-Batterie und versorgt die Schaltung mit einer Gleichspannung von 9V. Die LED leuchtet rot, sobald die selbstheilende Sicherung vom Typ Polyfuse bei Kurzschluss oder Überlastung (> 0,5A) den Stromkreis trennt.</p>		Beachte: Es empfiehlt sich die Schaltung vor Inbetriebnahme nochmals zu kontrollieren, da ansonsten die Gefahr besteht, dass durch Kurzschluss, Verpolung oder einen anderen Fehler empfindliche Bauteile beschädigt werden! Die Batterie ist am Ende der Versuchsdurchführung sofort von der Schaltung zu trennen!	
	5	Leitung Masse-Brick	Art.-Nr.: 113630 Brick-ID: ALL-BRICK-0003
<p>Der Masse-Brick stellt den Anschluss zum Bezugspotential „Masse“ her. Mit Hilfe solcher „Masse“-Anschlüsse kann der Stromkreis auf einfache Weise und sehr zuverlässig geschlossen werden ohne eine Vielzahl an Leitungsbricks zu benötigen. Zudem werden die Schaltungen dadurch übersichtlicher. Bei allen theoretischen Betrachtungen wird das Potential dieses Leitungsnetzes normalerweise als Bezugspotential 0 Volt definiert. Der Masse-Brick verbindet die beiden mittleren Kontakte des 4-poligen Hermaphrodit-Steckers mit den beiden außen liegenden Massekontakten. Siehe auch Kap. 5.1.3 auf Seite 34.</p>			

4.2 Leitungs-Bricks

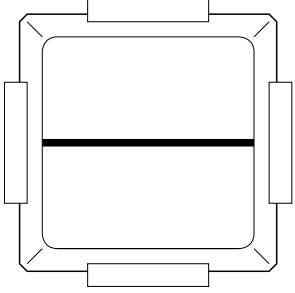
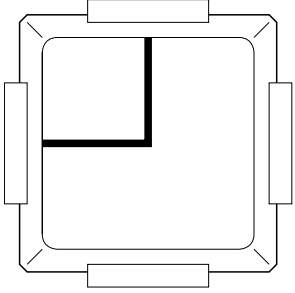
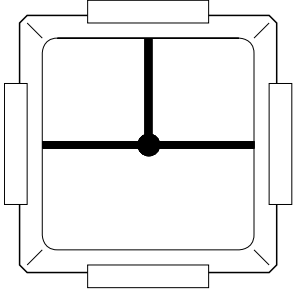
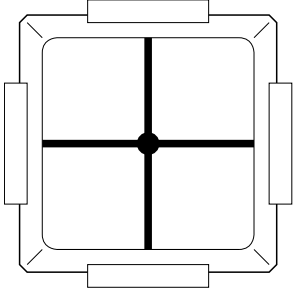
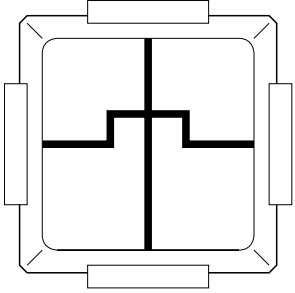
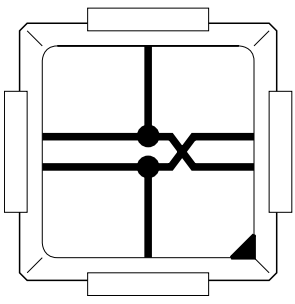
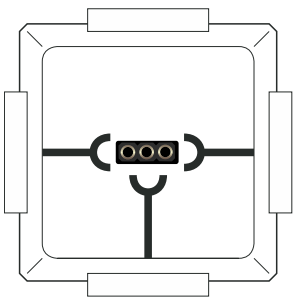
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	5	Leitung Gerade	Art.-Nr.: 113631 Brick-ID: ALL-BRICK-0004
Die gerade Leitung verbindet zwei gegenüberliegende Anschlüsse miteinander.			
	5	Leitung Ecke	Art.-Nr.: 113632 Brick-ID: ALL-BRICK-0005
Mit dem Eck-Brick werden zwei angrenzende Seiten miteinander verbunden.			
	10	Leitung T-Kreuzung	Art.-Nr.: 113633 Brick-ID: ALL-BRICK-0006
Mit der T-Kreuzung werden Abzweigungen hergestellt. Der Brick kann auch anstelle eines Eck-Bricks verwendet werden.			
	4	Kreuzung verbunden	Art.-Nr.: 113634 Brick-ID: ALL-BRICK-0007
Dieser Brick verbindet alle vier Seiten miteinander. Falls man keinen T-Brick oder Eck-Brick zur Hand hat, kann er diese Bricks am Rand einer Schaltung ersetzen.			
	3	Kreuzung nicht verbunden	Art.-Nr.: 113635 Brick-ID: ALL-BRICK-0008
Dieser Brick verbindet die jeweils gegenüberliegenden Anschlüsse. Links mit rechts und oben mit unten, ohne dass die beiden Leitungen verbunden sind.			

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	2	Leitung doppelt überkreuzt	Art.-Nr.: 113675 Brick-ID: ALL-BRICK-0048
Mit diesem Baustein kann man die mittleren Leitungen getrennt weiterleiten und gleichzeitig kreuzen.			
	2	Universalsockel	Art.-Nr.: 116009 Brick-ID: ALL-BRICK-0145
Der 3-polige Universalsockel-Brick kann verwendet werden, um externe Bauelemente mit 1 - 3 Anschlüsse in einen Stromkreis einzubringen. Dies kann z. B. für einen Widerstand mit einem exotischen Wert wie 9,8 kΩ oder für einen besonderen Transistortyp nötig sein. Auch ein „externer“ Schaltkontakt kann so mit den Bricks verbunden werden.			

4.3 Taster, Schalter und Relais

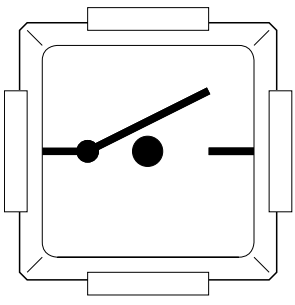
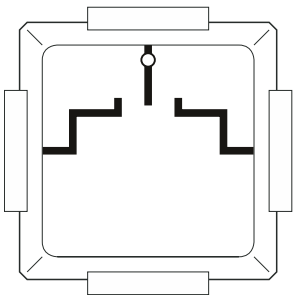
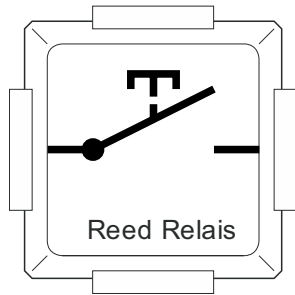
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	2	Taster-Brick einfach	Art.-Nr.: 113644 Brick-ID: ALL-BRICK-0017
Der Taster ist als einpoliger Schließer ausgeführt. Während des Drückens wird eine elektrische Verbindung zwischen linkem und rechtem Anschluss hergestellt. Hinweis: ein Taster ist ein elektromechanisches Bauteil und liefert kein entprelltes Signal. Dies kann bei Verwendung mit Logik-Schaltungen zu Fehlimpulsen führen (siehe auch Kap. 5.2 auf Seite 11 zur Tastenentprellung).			
	1	Umschalter	Art.-Nr.: 113645 Brick-ID: ALL-BRICK-0018
Der Umschalter-Brick hat drei Zustände. In der Mittelstellung sind alle Kontakte voneinander getrennt. In der linken Stellung wird eine Verbindung zwischen Mitte und links hergestellt und in der rechten Stellung zwischen rechts und Mitte. Der maximal erlaubte Stromfluss liegt bei 6 A.			

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
-----------	--------	------------------	---------------------

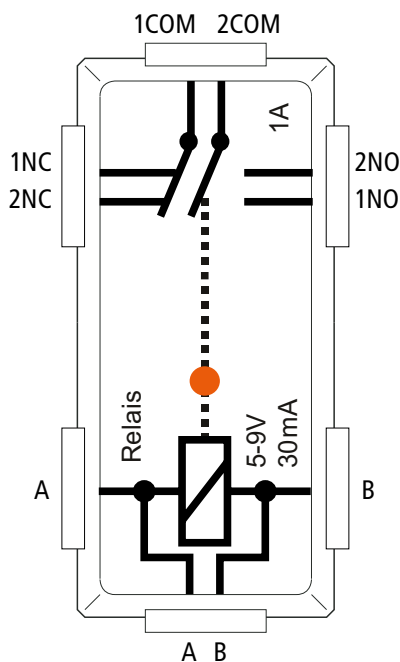


1 Reed-Kontaktschalter

Art.-Nr.: 114176
Brick-ID: ALL-BRICK-0116

Ein Reed-Kontaktschalter (Reed, englisch für dünnes Rohr) besteht aus in einem Glasröhrchen eingeschmolzenen dünnen Kontaktzungen. Mindestens eine Kontaktzunge ist beweglich und kann durch ein von außen herangeführtes Magnetfeld betätigt werden und damit den Stromkreis öffnen oder schließen. Das Magnetfeld kann durch einen Dauer- oder Elektromagneten erzeugt werden. Reedkontakte haben eine geringe Eigenmagnetisierung und sind nahezu prellfrei. Reed-Kontaktschalter werden in Reed-Relais verbaut und finden als Näherungsschalter Verwendung. Unser Reed-Kontakt ist im Ruhezustand, also ohne Magnetfeld, offen. Siehe auch Kap. „5.14.17 Der Reed-Relais-Brick“ auf Seite 127.

Natürlich kann das Glas zerbrechen, ansonsten sind die Reedkontakte sehr unempfindlich und kompakt in der Bauform. Das Glasröhrchen ist hermetisch abgedichtet und mit Schutzgas gefüllt, das mindert die Korrosion und fördert die Lebensdauer. Sofern die maximal erlaubte Schaltleistung am Reedkontakt nicht überschritten wird, ist der Verschleiß durch Abbrand beim Schalten der Kontakte besonders gering und resultiert in einer langen Lebensdauer von mehr als 10 Millionen Schaltzyklen.



2 Relais (2-polig um)

Art.-Nr.: 118367
Brick-ID: ALL-BRICK-0149

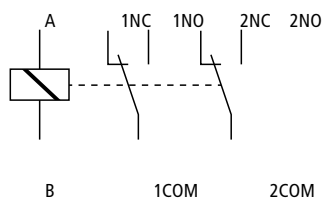
In einem Relais betätigt ein Elektromagnet einen Schalter. Das Relais ist also ein elektromagnetisch fernbetätigter Schalter. Der Steuerstromkreis und der Arbeitsstromkreis sind galvanisch getrennt. Die Mindestspannung des Elektromagneten, also des Steuerstromkreises in unserem Relais-Brick beträgt ca. 5 V bei einem Stromfluss von 30 mA. Ein Relais kann im Arbeitsstromkreis wesentlich größere Ströme schalten als es zur Ansteuerung benötigt, in unserem Fall bis zu 1 A. Im Steuerstromkreis unseres Relais-Bricks ist zusätzlich ein Gleichrichter und eine Stabilisierungsschaltung eingebaut. Dies hat den Vorteil, dass man nicht auf die Polung an den Anschlüssen A und B achten muss und dass das Relais mit Spannungen in einem weiten Bereich von 5 V bis 9 V zuverlässig schaltet. Eine LED signalisiert, sobald das Relais anzieht.

Die Zuordnung der Schaltkontakte des 2-poligen Umschaltrelais kann man der schematischen Darstellung des Relais-Bricks und dem Schaltzeichen entnehmen.

Dabei gilt:

- Kontakt xNC (NC = Normally closed) ist im Ruhezustand mit xCOM verbunden
- Kontakt xNO (NO = Normally open) ist mit xCOM verbunden, sobald Relais anzieht
- Kontakt xCOM (COM = Common) ist der gemeinsame Mittelkontakt Nutzung als Umschalter

Schaltzeichen:



4.4 Widerstände

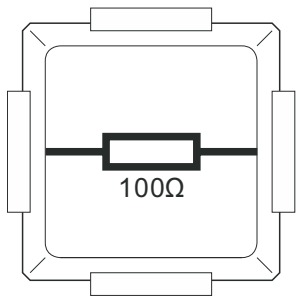
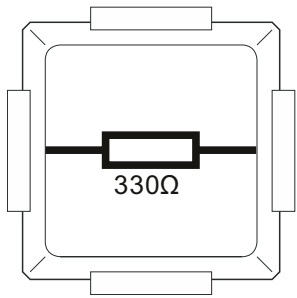
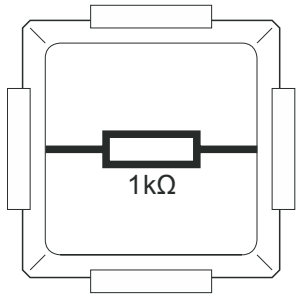
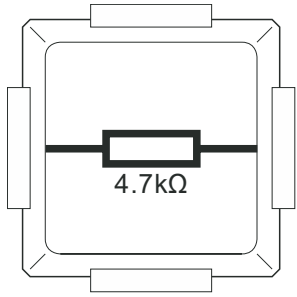
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
 <p>The diagram shows a square brick with four pins. A resistor is mounted in the center, labeled with the value 100Ω.</p>	1	Widerstand 100 Ω	Art.-Nr.: 113646 Brick-ID: ALL-BRICK-0019
<p>Dieser Brick enthält einen elektrischen Widerstand mit dem Wert 100 Ω. Nach dem ohm'schen Gesetz ($R = U/I$) entspricht dieser Wert einem Stromfluss von 10 mA bei einer Spannung von 1 V.</p>		Beachte! Die Verlustleistung am Widerstand sollte 0,1 W nicht übersteigen – sonst droht Überhitzung!	
 <p>The diagram shows a square brick with four pins. A resistor is mounted in the center, labeled with the value 330Ω.</p>	1	Widerstand 330 Ω	Art.-Nr.: 114160 Brick-ID: ALL-BRICK-0099
<p>Dieser Brick enthält einen elektrischen Widerstand mit dem Wert 330 Ω. Nach dem ohm'schen Gesetz ($R = U/I$) entspricht dieser Wert einem Stromfluss von ca. 3,03 mA bei einer Spannung von 1 V.</p>		Beachte! Die Verlustleistung am Widerstand sollte 0,1 W nicht übersteigen – sonst droht Überhitzung!	
 <p>The diagram shows a square brick with four pins. A resistor is mounted in the center, labeled with the value 1 kΩ.</p>	1	Widerstand 1 kΩ	Art.-Nr.: 113647 Brick-ID: ALL-BRICK-0020
<p>Dieser Brick enthält einen elektrischen Widerstand mit dem Wert 1 kΩ. Nach dem ohm'schen Gesetz ($R = U/I$) entspricht dieser Wert einem Stromfluss von 1 mA bei einer Spannung von 1 V.</p>		Beachte! Die Verlustleistung am Widerstand sollte 0,1 W nicht übersteigen – sonst droht Überhitzung!	
 <p>The diagram shows a square brick with four pins. A resistor is mounted in the center, labeled with the value 4.7 kΩ.</p>	2	Widerstand 4,7 kΩ	Art.-Nr.: 113650 Brick-ID: ALL-BRICK-0023
<p>Dieser Brick enthält einen elektrischen Widerstand mit dem Wert 4,7 kΩ. Nach dem ohm'schen Gesetz ($R = U/I$) entspricht dieser Wert einem Stromfluss von ca. 213 μA bei einer Spannung von 1 V.</p>		Beachte! Die Verlustleistung am Widerstand sollte 0,1 W nicht übersteigen – sonst droht Überhitzung!	

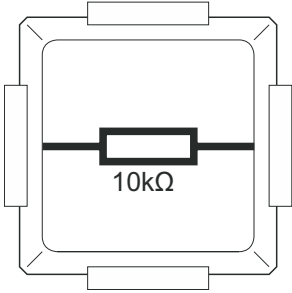
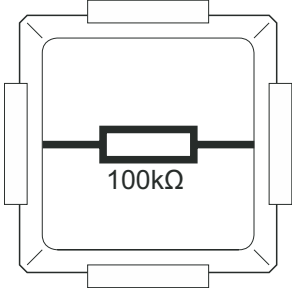
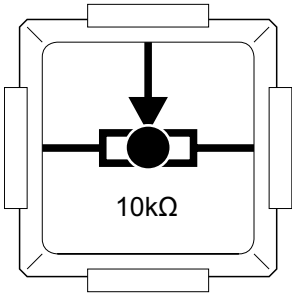
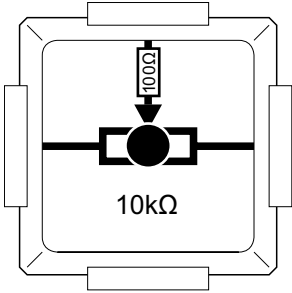
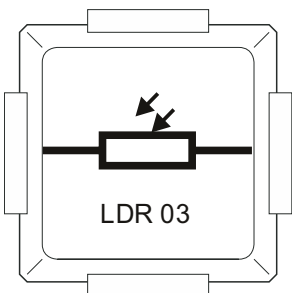
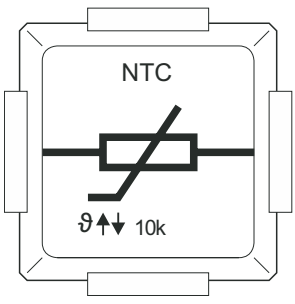
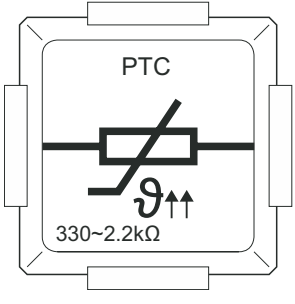
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	2	Widerstand 10 kΩ	Art.-Nr.: 113648 Brick-ID: ALL-BRICK-0021
<p>Dieser Brick enthält einen elektrischen Widerstand mit dem Wert 10 kΩ. Nach dem ohm'schen Gesetz ($R = U/I$) entspricht dieser Wert einem Stromfluss von 100 μA bei einer Spannung von 1 V.</p> <p>Beachte! Die Verlustleistung am Widerstand sollte 0,1 W nicht übersteigen – sonst droht Überhitzung!</p>			
	2	Widerstand 100 kΩ	Art.-Nr.: 113649 Brick-ID: ALL-BRICK-0022
<p>Dieser Brick enthält einen elektrischen Widerstand mit dem Wert 100 kΩ. Nach dem ohm'schen Gesetz ($R = U/I$) entspricht dieser Wert einem Stromfluss von 10 μA bei einer Spannung von 1 V.</p> <p>Beachte! Die Verlustleistung am Widerstand sollte 0,1 W nicht übersteigen – sonst droht Überhitzung!</p>			
 <p>... oder mit Schutzwiderstand:</p> 	1	Potentiometer 10 kΩ	Art.-Nr.: 113654 Brick-ID: ALL-BRICK-0027
<p>Das Potentiometer oder kurz Poti ist ein manuell veränderbarer Widerstand. Neben den beiden Anschlüssen eines gewöhnlichen Widerstands gibt es hier einen dritten Kontakt (Schleifer). Er kann über eine Drehachse entlang der Widerstandsbahn verschoben werden. Somit kann der Widerstandswert von einem der Festanschlüsse zum Schleifkontakt (oben) zwischen 0 bis 10 kΩ variiert werden.</p> <p>Beachte: Sollte der Schleifer oder einer der Festanschlüsse direkt mit der Spannungsversorgung verbunden sein und ein kleiner Widerstand eingestellt werden fließt ein zu hoher Strom. Dies ist unbedingt zu vermeiden! Bei einem erhöhten Stromfluss oder Kurzschluss wird das Potentiometer beschädigt. Die max. Leistung am Potentiometer darf ca. 100 mW nicht übersteigen.</p> <p>In neueren Sets ist das Potentiometer mit einem zusätzlichen Schutzwiderstand im Schleifkontakt versehen. Der Widerstandswert von 100 Ω ist so klein, dass in fast allen Schaltungen dieses Poti genauso wie das oben beschriebene eingesetzt werden kann. Der Widerstand bewirkt, dass der Strom über den Schleifkontakt begrenzt und das Poti dadurch nicht so leicht durch thermische Überlastung beschädigt werden kann.</p>			
	1	Lichtabhängiger Widerstand LDR 03	Art.-Nr.: 113655 Brick-ID: ALL-BRICK-0028
<p>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 Ω bei Helligkeit und mehreren kΩ bei Dunkelheit. Die Veränderung des Widerstandswertes ist kontinuierlich.</p>			

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	NTC-Widerstand 10kΩ	Art.-Nr.: 114162 Brick-ID: ALL-BRICK-0101
<p>Ein NTC-Widerstand (Negative Temperature Coefficient) ist ein temperaturabhängiger Widerstand. Die Wertänderung des Widerstandes erfolgt hierbei entgegengesetzt zur Temperaturänderung. 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 etwa 10kΩ. Er eignet sich gut als Temperatursensor.</p>			
	1	PTC-Widerstand 10kΩ	Art.-Nr.: 118625 Brick-ID: ALL-BRICK-0220
<p>Der PTC-Widerstand (Positive Temperature Coefficient) hingegen ändert seinen Wert im gleichen Sinn wie die Temperatur. 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 ca. 10kΩ. Er eignet sich gut als Temperatursensor im Bereich von -10°C bis 40°C, da hier die Empfindlichkeit, d. h. die Widerstandsänderung in Ohm pro Grad Celsius ($\Omega/^\circ\text{C}$) am größten ist.</p>			

4.5 Kondensatoren (Kapazitäten)

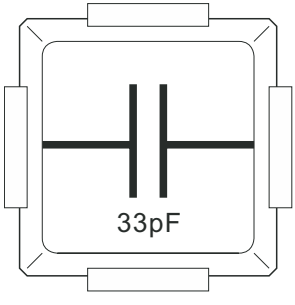
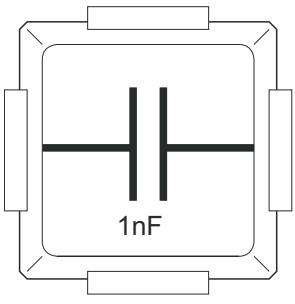
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Kondensator 33 pF	Art.-Nr.: 113708 Brick-ID: ALL-BRICK-0081
<p>Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 33 pF. 1 F bedeutet, dass eine Spannung von 1 V erreicht wird, wenn er 1 s lang mit einem Strom von 1 A aufgeladen wird. Kondensatoren haben meist sehr kleine Kapazitäten.</p> <p>Beachte: Kondensatoren haben eine Maximalspannung, die nicht überschritten werden darf!</p>			
	2	Kondensator 1 nF	Art.-Nr.: 113664 Brick-ID: ALL-BRICK-0037
<p>Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 1 nF. Eine Ladespannung von 1 V wird schon nach einer 1 ns erreicht, wenn er mit einem Strom von 1 A geladen wird.</p> <p>Beachte: Kondensatoren haben eine Maximalspannung, die nicht überschritten werden darf!</p>			

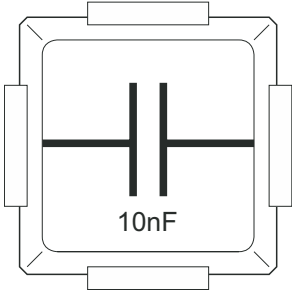
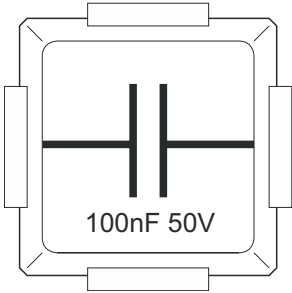
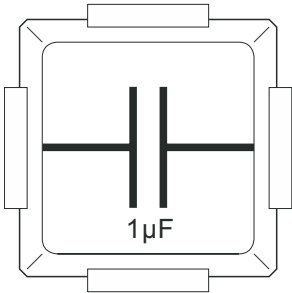
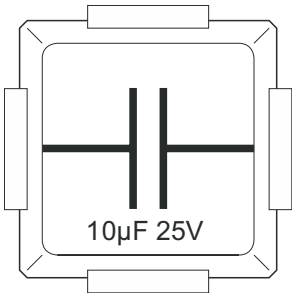
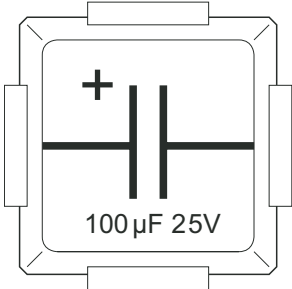
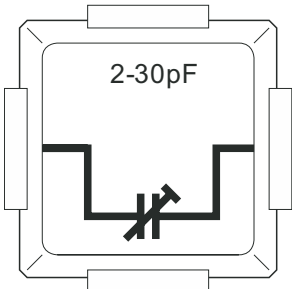
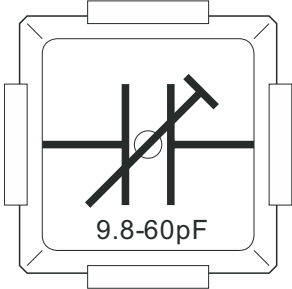
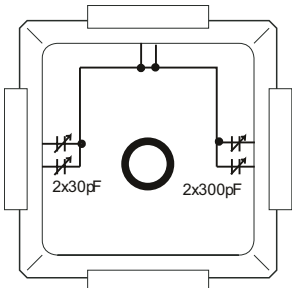
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	2	Kondensator 10 nF	Art.-Nr.: 114164 Brick-ID: ALL-BRICK-0103
<p>Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 10 nF. Er kann damit das Zehnfache an elektrischer Energie speichern, als die 1 nF Variante. Eine Ladespannung von 1 V wird nach 10 ns erreicht, wenn er mit einem Strom von 1 A geladen wird.</p> <p>Beachte: Kondensatoren haben eine Maximalspannung, die nicht überschritten werden darf!</p>			
	2	Kondensator 100 nF	Art.-Nr.: 114165 Brick-ID: ALL-BRICK-0104
<p>Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 100 nF. Er kann damit das Hundertfache an elektrischer Energie speichern, als die 1 nF Variante. Eine Ladespannung von 1 V wird nach 100 ns erreicht, wenn er mit einem Strom von 1 A geladen wird. Kondensatoren dürfen ihre Maximalspannung von 50 V nicht überschreiten!</p> <p>Beachte: Dieser Kondensator hat eine Maximalspannung von 50 V, die nicht überschritten werden darf!</p>			
	2	Kondensator 1 µF	Art.-Nr.: 113668 Brick-ID: ALL-BRICK-0041
<p>Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 1 µF. Er kann damit das Tausendfache an elektrischer Energie speichern, als die 1 nF Variante. Eine Ladespannung von 1 V wird nach 1 µs erreicht, wenn er mit einem Strom von 1 A geladen wird.</p> <p>Beachte: Kondensatoren haben eine Maximalspannung, die nicht überschritten werden darf!</p>			
	2	Kondensator 10 µF	Art.-Nr.: 113667 Brick-ID: ALL-BRICK-0040
<p>Dieser Kondensator hat eine Kapazität von 10 µF. Er kann damit das Zehntausendfache an elektrischer Energie speichern, als die 1 nF Variante. Eine Ladespannung von 1 V wird nach 10 µs erreicht, wenn der Ladestrom 1 A beträgt.</p> <p>Beachte: Dieser Kondensator hat eine Maximalspannung von 25 V, die nicht überschritten werden darf!</p>			

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	2	Kondensator 100 µF	Art.-Nr.: 113669 Brick-ID: ALL-BRICK-0042
<p>Dieser sog. Elektrolyt-Kondensator hat eine Kapazität von 100 µF. Er kann das Hunderttausendfache an Energie speichern, als die 1 nF Variante. Eine Ladespannung von 1 V wird nach 100 µs erreicht, wenn der Ladestrom 1 A beträgt.</p> <p>Beachte: Bei diesem Elektrolytkondensator ist auf die richtige Polung zu achten. Der Pluspol (+) darf nur mit der positiven Seite (+) der Spannungsversorgung (9V) direkt oder indirekt verbunden werden. Dementsprechend darf der Minuspol nur mit dem negativen Seite der Spannungsversorgung (Masse) direkt oder indirekt verbunden werden. Er darf nur bis zu einer Spannung von 25 V betrieben werden!</p>			
	1	Einstellbarer Kondensator 2-30 pF	Art.-Nr.: 113671 Brick-ID: ALL-BRICK-0044
<p>Die Kapazität dieses Drehkondensators (auch Drehko genannt) lässt sich manuell einstellen. Er besitzt einen Wertebereich von 2 pF bis 30 pF. Drehe die Stellschraube mit einem kleinen Schlitzschraubendreher im Uhrzeigersinn um den Kapazitätswert zu erhöhen. Dieser Brick kann z. B. zur Abstimmung von Schwingkreisen oder Filter-Schaltungen verwendet werden.</p>			
	1	Einstellbarer Kondensator 9.8-60 pF	Art.-Nr.: 114186 Brick-ID: ALL-BRICK-0126
<p>Die Kapazität dieses Drehkondensators (auch Drehko genannt) lässt sich manuell einstellen. Er besitzt einen Wertebereich von 9,8 pF bis 60 pF. Drehe die Stellschraube mit einem kleinen Schlitzschraubendreher im Uhrzeigersinn um den Kapazitätswert zu erhöhen. Dieser Brick kann z. B. zur Abstimmung von Schwingkreisen oder Filter-Schaltungen verwendet werden.</p>			
	1	Trimmer-Brick	Art.-Nr.: 118388 Brick-ID: ALL-BRICK-0167
<p>Dieser Trimmer-Brick enthält einen Vierfach-Drehkondensator. Das sind vier veränderbare Kondensatoren auf einer gemeinsamen Achse. Zwei überstreichen den Bereich 2-30 pF und zwei den Bereich 5-300 pF. Die Einstellung erfolgt über einen gemeinsamen Drehknopf. Die Drehkos können einzeln verwendet werden oder bei Bedarf auch parallel geschaltet werden.</p>			

4.6 Spulen (Induktivitäten)

Spulen haben eine physikalische Eigenschaft die sogenannte Selbstinduktion. Bei konstanter Spannung verhält sich eine Spule wie ein ohmscher Widerstand. Aber immer dann wenn sich der Stromfluss verändert, wird eine solche Spannung erzeugt. Der Wert der Induktivität einer Spule beschreibt diese Eigenschaft. Eine Induktivität von 1 H (Einheit: 1 Henry = 1 Vs/A) gibt an, dass bei einer Stromflussänderung von 1 A innerhalb einer Sekunde eine Spannung von 1 V induziert wird.

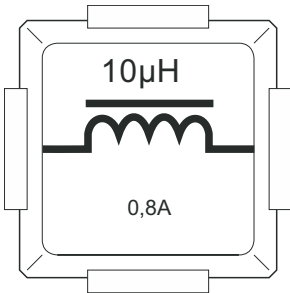
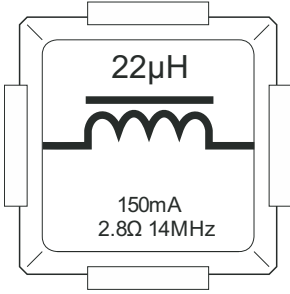
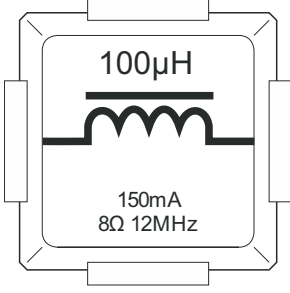
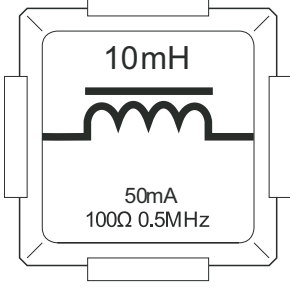
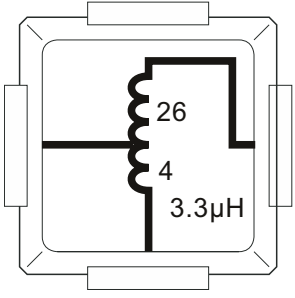
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Spule 10 µH	Art.-Nr.: 114170 Brick-ID: ALL-BRICK-0109
<p>Dieser Brick enthält eine Spule mit einer Induktivität von 10 µH. Eine Induktionsspannung von 1 V wird erreicht, wenn die Geschwindigkeit der Stromflussänderung 1 A in 10 µs beträgt. Spulen können zum Aufbau von Schwingkreisen und Frequenzfiltern verwendet werden. Da Spulen jeder Stromflussänderung entgegenwirken, kann man sie auch zum Stabilisieren von Schaltkreisen verwenden.</p>			
	1	Spule 22 µH	Art.-Nr.: 114171 Brick-ID: ALL-BRICK-0110
<p>Dieser Brick enthält eine Spule mit einer Induktivität von 22 µH. Eine Induktionsspannung von 1 V wird erreicht, wenn die Geschwindigkeit der Stromflussänderung 1 A in 22 µs beträgt. Spulen können zum Aufbau von Schwingkreisen und Frequenzfiltern verwendet werden. Da Spulen jeder Stromflussänderung entgegenwirken, kann man sie auch zum Stabilisieren von Schaltkreisen verwenden.</p>			
	1	Spule 100 µH	Art.-Nr.: 113699 Brick-ID: ALL-BRICK-0072
<p>Dieser Brick enthält eine Spule mit einer Induktivität von 100 µH. Eine Induktionsspannung von 1 V wird erreicht, wenn die Geschwindigkeit der Stromflussänderung 1 A in 100 µs beträgt. Spulen können zum Aufbau von Schwingkreisen und Frequenzfiltern verwendet werden. Da Spulen jeder Stromflussänderung entgegenwirken, kann man sie auch zum Stabilisieren von Schaltkreisen verwenden.</p>			
	1	Spule 10 mH	Art.-Nr.: 113702 Brick-ID: ALL-BRICK-0075
<p>Dieser Brick enthält eine Spule mit einer Induktivität von 10 mH. Eine Induktionsspannung von 1 V wird erreicht, wenn die Geschwindigkeit der Stromflussänderung 1 A in 10 ms beträgt. Spulen können zum Aufbau von Schwingkreisen und Frequenzfiltern verwendet werden. Da Spulen jeder Stromflussänderung entgegenwirken, kann man sie auch zum Stabilisieren von Schaltkreisen verwenden. Diese (etwas größere) Spule kann auch zum Transformieren von Spannungen genutzt werden.</p>			

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Empfangsspule 3.3 µH 26+4	Art.-Nr.: 126967 Brick-ID: ALL-BRICK-0168
<p>Spezielle Spule mit einer Gesamtinduktivität von 3,3 µH. Bei dieser Spule wird eine Induktionsspannung von 1 V erreicht, wenn die Geschwindigkeit der Stromflussänderung 1 A in 3,3 µs beträgt. Die Induktivität von 3,3 µH gilt für die beiden äußeren Anschlüsse der Spule. In diesem Brick sind 2 Spulen auf einem gemeinsamen Ferrit-Kern gewickelt mit einem gemeinsamen Anschluss (links). Dieser Brick kann beispielsweise als Audio-Übertrager verwendet werden. Für das Übersetzungsverhältnis gilt:</p> $n_1/n_2 = U_1/U_2 = 4/26$ <p> n_1: Windungszahl Primärwicklung n_2: Windungszahl Sekundärwicklung U_1: Primärspannung U_2: Sekundärspannung </p>			

4.7 Dioden/LEDs und optoelektronische Bauteile

Eine Diode lässt Strom nur in einer Richtung, der sogenannten Durchlass-Richtung fließen. Wenn sie andersherum gepolt wird, dann nennt man das Sperr-Richtung und es kommt kein Stromfluss zustande. Dioden werden oft zur Gleichrichtung von Wechselstrom verwendet. Wegen ihrer gekrümmten Spannungs-/Strom-Kennlinie kann eine Diode auch als Wechselstromwiderstand verwendet werden. D. h ein Wechselstrom kann in seiner Amplitude durch einen Gleichstrom moduliert (verändert) oder auch geschaltet werden.

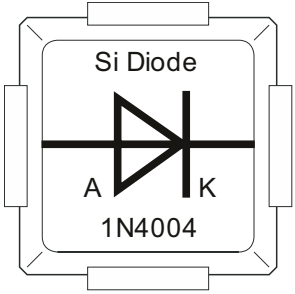
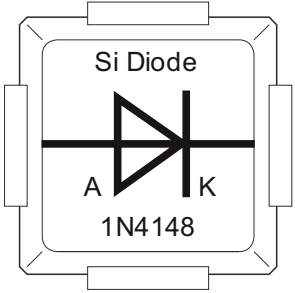
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Silizium-Diode 1N4004	Art.-Nr.: 113686 Brick-ID: ALL-BRICK-0059
<p>Dieser Brick beinhaltet eine Silizium-Leistungsdiode vom Typ 1N4004. Dieser Diodentyp kann viel Strom in Durchlass-Richtung und viel Spannung in Sperr-Richtung aushalten. Sie wird in Durchlassrichtung betrieben.</p>			
	2	Silizium-Diode 1N4148	Art.-Nr.: 113687 Brick-ID: ALL-BRICK-0060
<p>Dieser Brick beinhaltet eine Silizium-Diode vom Typ 1N4148. Die besondere Eigenschaft dieses Diodentyps liegt darin, dass er Spannungen bis 100 V gleichrichten und sehr hohe Frequenzen von bis zu 100 MHz schalten kann. Die Diode wird in Durchlassrichtung betrieben.</p>			

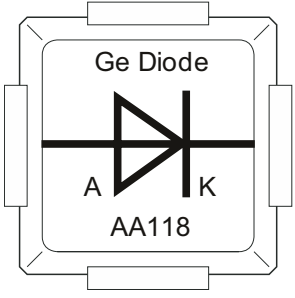
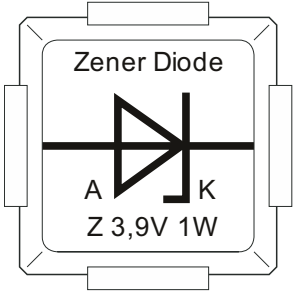
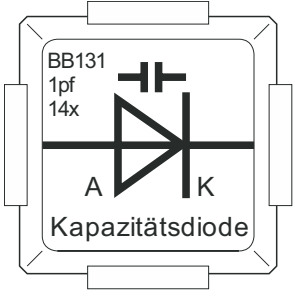
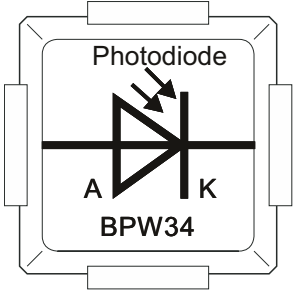
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Germanium-Diode AA118	Art.-Nr.: 113688 Brick-ID: ALL-BRICK-0061
<p>Dieser Brick beinhaltet eine Germanium-Diode vom Typ AA118. Eine Germaniumdiode erlaubt, wie Silizium-Dioden auch, den Stromfluss nur in Durchlass-Richtung. Ihre Besonderheit liegt in dem verwendeten Halbleitermaterial Germanium. Dieses Material hat eine niedrigere Diffusionsspannung als das sonst verwendete Silizium. Die Diffusionsspannung entspricht der Spannung, bei der ein merklicher Stromfluss in Durchlass-Richtung einsetzt. Sie wird oft auch Schwellspannung oder Durchlass-Spannung genannt. Bei diesem Typ AA118 liegt sie bei 0,2 V (normale Siliziumdioden ca. 0,6V). Sie kann bis zu einer Frequenz von 1 GHz verwendet werden. Daher eignet sie sich sehr gut zum Gleichrichten hoher Frequenzen.</p>			
	1	Zener-Diode 3,9V	Art.-Nr.: 113692 Brick-ID: ALL-BRICK-0065
<p>Dieser Brick enthält eine 3,9V Zener-Diode. Dieser Diodentyp hat eine sehr niedrige und exakt definierte Durchbruchspannung in Sperr-Richtung (auch Sperr-Spannung oder Zener-Spannung genannt). Durch diese relativ niedrige Sperr-Spannung (und den negativen Temperaturkoeffizienten des Zener-Durchbruchs) kann man sie in Sperrrichtung betreiben (im Gegensatz zu einer normalen Diode). Der Strom muss aber ausreichend begrenzt werden, sodass es nicht zu einer thermischen Überlastung kommt (max. 1 W). Man verwendet sie meist um auf einfache Weise Spannungen zu stabilisieren. Die Zener-Spannung ist für jeden Zenerdioden-Typ angegeben und beträgt bei diesem Brick 3,9V.</p>			
	1	Kapazitätsdiode BB131	Art.-Nr.: 113690 Brick-ID: ALL-BRICK-0063
<p>Dieser Brick enthält eine Kapazitätsdiode vom Typ BB131. Sie wird in Sperrrichtung betrieben und hat eine steuerbare Kapazität. Wird eine Spannung in Sperrrichtung angelegt, entsteht zwischen den leitenden Schichten, wie bei jeder Diode eine isolierte Zone. Diese vergrößert sich mit zunehmender Sperrspannung. Wird eine Diode in Sperrrichtung betrieben hat sie eine über die Sperrspannung steuerbare Kapazität. Durch ein spezielles Dotierungs-profil werden Dioden hergestellt, die sich besonders für solche Anwendungen eignen. Sie heißen Kapazitätsdioden. Früher auch als Varaktor bezeichnet. Meistens werden sie zur Abstimmung von Schwingkreisen verwendet.</p>			
	1	Photodiode BPW34	Art.-Nr.: 113694 Brick-ID: ALL-BRICK-0067
<p>Dieser Brick ist eine Photodiode vom Typ BPW34. Hier ist besonders auf die Polung zu achten. Photodioden leiten den Strom, wie andere Dioden auch, nur in Durchlassrichtung. Um sie allerdings als Lichtsensor einzusetzen, muss sie in Sperrrichtung in den Stromkreis eingebracht werden. In diesem Fall liefern die Diode einen Photostrom, der von der Stärke des Lichteinfalls abhängt. Die Anode muss hierfür an den Minuspol der Spannungsquelle angeschlossen sein und die Kathode an ihren Pluspol.</p>			

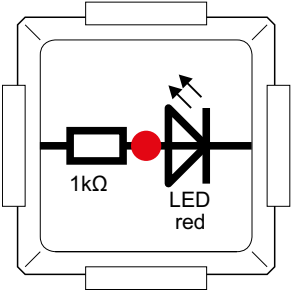
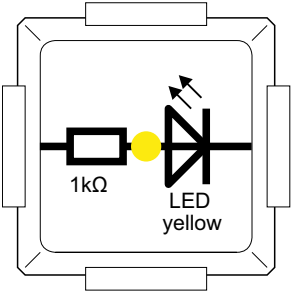
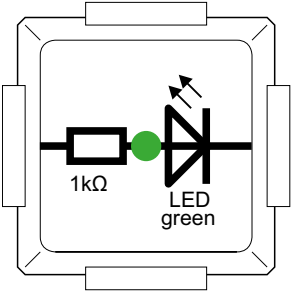
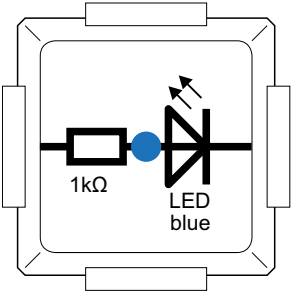
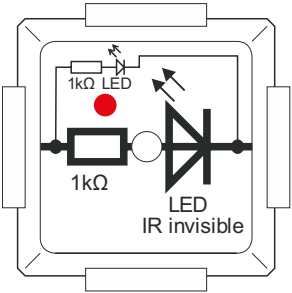
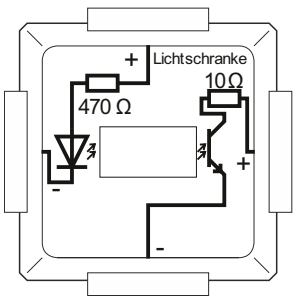
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Leuchtdiode rot	Art.-Nr.: 113636 Brick-ID: ALL-BRICK-0009
<p>Dieser Brick hat eine rote Leuchtdiode mit einem eingebauten Vorwiderstand von 1 kΩ. Sie ist in Durchlassrichtung zu betreiben. Aber auch richtig gepolt (in Durchlassrichtung) kommt erst ein Stromfluss zustande, wenn eine Mindestspannung von ca. 1,5V erreicht wird. Die Mindestspannung von Leuchtdioden ist von ihrer Farbe abhängig.</p>			
	1	Leuchtdiode gelb	Art.-Nr.: 113638 Brick-ID: ALL-BRICK-0011
<p>Dieser Brick hat eine gelbe Leuchtdiode mit einem eingebauten Vorwiderstand von 1 kΩ. Sie ist in Durchlassrichtung zu betreiben. Aber auch richtig gepolt (in Durchlassrichtung) kommt erst ein Stromfluss zustande, wenn eine Mindestspannung von ca. 1,7V erreicht wird. Die Mindestspannung von Leuchtdioden ist von ihrer Farbe abhängig.</p>			
	1	Leuchtdiode grün	Art.-Nr.: 113639 Brick-ID: ALL-BRICK-0012
<p>Dieser Brick hat eine grüne Leuchtdiode mit einem eingebauten Vorwiderstand von 1 kΩ. Sie ist in Durchlassrichtung zu betreiben. Aber auch richtig gepolt (in Durchlassrichtung) kommt erst ein Stromfluss zustande, wenn eine Mindestspannung von ca. 1,8V erreicht wird. Die Mindestspannung von Leuchtdioden ist von ihrer Farbe abhängig.</p>			
	1	Leuchtdiode blau	Art.-Nr.: 113637 Brick-ID: ALL-BRICK-0010
<p>Dieser Brick hat eine blaue Leuchtdiode mit einem eingebauten Vorwiderstand von 1 kΩ. Sie ist in Durchlassrichtung zu betreiben. Aber auch richtig gepolt (in Durchlassrichtung) kommt erst ein Stromfluss zustande, wenn eine Mindestspannung von ca. 2,7V erreicht wird. Die Mindestspannung von Leuchtdioden ist von ihrer Farbe abhängig.</p>			
	1	Infrarot-Diode	Art.-Nr.: 113640 Brick-ID: ALL-BRICK-0013
<p>Dieser Brick enthält eine Infrarot-Diode. Ist sie in Betrieb, kann das menschliche Auge die Wellenlängen des emittierten Lichtes nicht wahrnehmen, da es unterhalb (lateinisch: infra) des sichtbaren Bereiches von ca. 780 nm liegt. Als Aktivitätssignal ist zusätzlich eine rote Kontroll-LED vorhanden. Diese leuchtet immer dann, wenn die Infrarot-LED in Betrieb ist.</p> <p>Vorsicht: Unsichtbare Strahlung!</p>			

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Lichtschranke	Art.-Nr.: 118369 Brick-ID: ALL-BRICK-0151
<p>Dieser Brick enthält eine Lichtschranke. Die Funktionsweise beruht darauf, dass eine LED einen Phototransistor bestrahlt. Wenn die optische Verbindung zwischen den aus dem Brick herausragenden Komponenten LED und Phototransistor unterbrochen wird, dann sperrt der Transistor. Lichtschranken werden in Alarmanlagen oder in der Industrie z. B. in Inkrementalsensoren verwendet. Da die Signalübertragung ausschließlich optisch erfolgt, können Informationen elektrisch getrennt und ohne mechanischen Verschleiß von einem Stromkreis zu einem anderen übermittelt werden.</p> <p>Dies macht man sich auch beim sog. Optokoppler zunutze. Man kann sich das Bauteil als Lichtschranke in einem geschlossenen Gehäuse vorstellen. Damit kann man z. B. mit einem Niederspannungs-Stromkreis via Licht einen Hochspannungsstromkreis steuern, ohne dass eine elektrische Verbindung vorhanden ist. Man spricht auch von galvanischer Trennung.</p>			

4.8 Bipolar-Transistoren

Achtung:

Transistoren können zerstört werden, wenn zwischen den Anschlüssen Basis (B) und Emitter (E) oder den Anschlüssen Kollektor (C) und Emitter direkt, ohne Widerstand, eine Spannung angelegt wird! Transistoren sind elektronische Schalter, die nicht wie ein Lichtschalter, manuell betätigt werden, sondern durch einen kleinen Strom am Basis-Anschluss den deutlich höheren Stromfluss zwischen Kollektor- und Emitter-Anschluss stufenlos steuern können. Der Stromfluss auf der Kollektor-/Emitter-Strecke darf nicht überschritten werden, um eine Zerstörung des Bauelementes zu vermeiden (die Höhe dieses Stroms ist je nach Typ und Hersteller unterschiedlich). Ein NPN-Transistor ist an seiner Basis bezüglich dem Emitter positiv anzusteuern. Ein PNP-Transistor ist an seiner Basis gegenüber dem Emitter negativ anzusteuern.

Bei längerem Betrieb muss darauf geachtet werden, dass der Transistor nicht zu heiss wird!

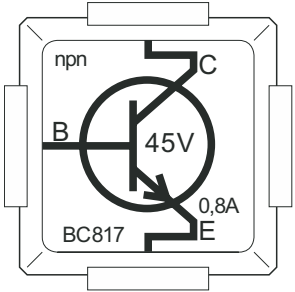
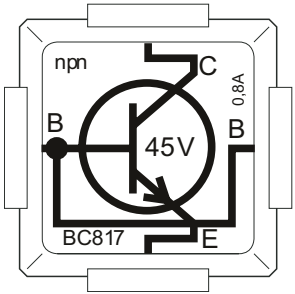
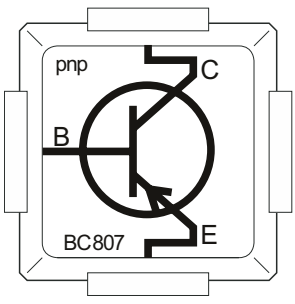
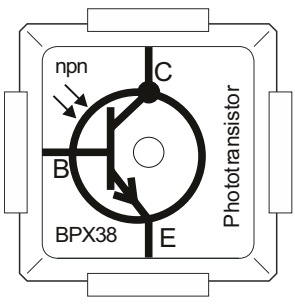
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	2	NPN-Transistor BC817	Art.-Nr.: 113657 Brick-ID: ALL-BRICK-0030
<p>Dieser Brick enthält einen NPN-Transistor vom Typ BC817. Er steuert den Stromfluss zwischen Kollektor (C) und Emitter (E) über den wesentlich kleineren Stromfluss an seiner Basis (B). Die Basis ist dem Emitter gegenüber positiv anzusteuern. Das ist bei jedem NPN-Transistor gleich.</p>			
	2	NPN-Transistor BC817	Art.-Nr.: 118371 Brick-ID: ALL-BRICK-0153
<p>Dieser Brick enthält den gleichen NPN-Transistor wie Art.-Nr. 113657. Er steuert den Stromfluss zwischen Kollektor (C) und Emitter (E) über den wesentlich kleineren Stromfluss an der Basis (B). Die Basis ist dem Emitter gegenüber positiv anzusteuern. Das gilt für jeden NPN-Transistor. Zusätzlich ist hier die Basis mit der gegenüberliegenden Seite des Bricks verbunden, sodass er leichter in komplexe Schaltungen eingebracht werden kann.</p>			

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	PNP-Transistor BC807	Art.-Nr.: 118372 Brick-ID: ALL-BRICK-0154
	1	Phototransistor BPX38	Art.-Nr.: 120238 Brick-ID: ALL-BRICK-0304

Dieser Brick enthält einen PNP-Transistor vom Typ BC807. Ein geringer Stromfluss an der Basis (B) steuert weit höhere Ströme zwischen Emitter- (E) und Kollektor (C). Die Basis muss (anders als beim NPN-Transistor) negativ zum Emitter angesteuert werden. Dieser Typ ist komplementär zum BC817. Mit diesem Transistorpärchen können also Komplementär-Schaltungen aufgebaut werden.

Der Phototransistor BPX38 ist wie ein normaler Transistor aufgebaut, jedoch so konstruiert, dass die Basis-Emitterdiode von Licht beleuchtet werden kann. Er verhält sich ähnlich einem Transistor an den eine Photodiode angeschlossen ist. Er steuert den Kollektor-Emitter-Strom über die an seiner Basis angelegte Spannung wie ein konventioneller Transistor. Zusätzlich wird dieser Stromfluss auch ermöglicht, wenn ausreichend Licht auf den Transistor trifft. Er verhält sich so ähnlich wie ein Photowiderstand oder eine Photodiode, nur dass der Verstärkungsfaktor größer bzw. er empfindlicher ist.

4.9 Feldeffekt-Transistoren

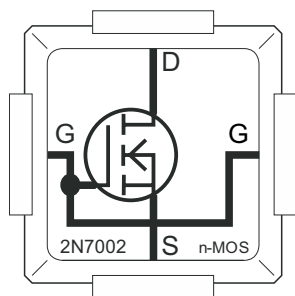
Der Vorteil des Feldeffekt-Transistors (FET):

Feldeffekt-Transistoren brauchen noch viel weniger Steuerleistung als Bipolar-Transistoren. Sie werden also immer da eingesetzt, wo eine hohe Eingangsimpedanz gebraucht wird. Auch beim Rauschen gibt es gewisse Vorteile gegen Bipolar-Transistoren. JFETs werden eher für kleine Leistungen eingesetzt, MOSFET-Typen gibt es auch für sehr große Leistungen.

Ab den 80er Jahren wird oft ein anderes Material verwendet (mit ähnlichen Eigenschaften), oft aber der alte Name MOSFET benutzt. Korrekte Namen wären MISOFT (Metall-Nichtleiter-Halbleiter-FET) oder ganz allgemein IGFET (FET mit isoliertem Gate).

Achtung: FETs sind sehr empfindlich gegenüber elektrostatischer Ladung. Die empfindliche Isolierschicht und der Kanal können leicht beschädigt werden. Bitte beachte die Hinweise in Kap. 5.7.2 auf Seite 72.

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
-----------	--------	------------------	---------------------

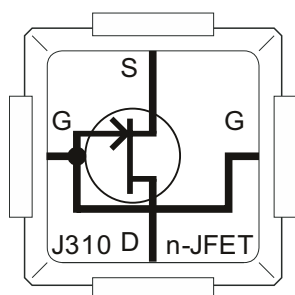


2 Feldeffekt-Transistor 2N7002

Art.-Nr.: 113673
Brick-ID: ALL-BRICK-0046

Unser Feldeffekttransistor (FET) vom Typ 2N7002 ist ein Metall-Oxid-Halbleiter-FET oder kurz MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) und steuert den Stromfluss zwischen Drain und Source über die am Gate angelegte Spannung. Er ist also ähnlich wie ein Bipolar-Transistor verwendbar, kann jedoch je nach Typ ohne oder mit sehr viel weniger Steuerstrom betrieben werden. Beim MOSFET ist die Gate-Elektrode vom Kanal durch ein sehr dünne aber gut isolierende Metalloxid-Schicht getrennt. Das Besondere an MOSFETs ist, dass die Verbindung zwischen Gate und Source sehr hochohmig ist. Man spricht von einem geringen Leckstrom.

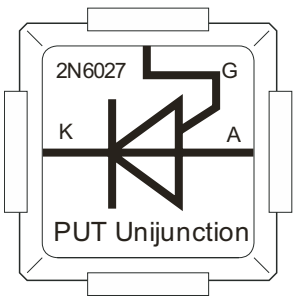
Ähnlich wie bei Transistoren gibt es unterschiedliche Anreicherungstypen bei MOSFETs. Der auf unserem Brick verwendete 2N7002 ist ein normal sperrender n-Kanal-Typ. Dies bedeutet, dass mindestens die Schwellspannung am Gate (Tor) anliegen muss, damit ein Stromfluss zwischen Drain (Abfluss) und Source (Quelle) zustande kommt. FETs brauchen je nach Typ eine positive oder negative Vorspannung zwischen Gate und Kanal um als Verstärker verwendet werden zu können. Bei unserem n-Kanal-Typ muss die Spannung am Gate positiv gegenüber Source sein.



1 Junction-Feldeffekt-Transistor J310

Art.-Nr.: 113674
Brick-ID: ALL-BRICK-0047

Auf diesem Brick kommt ein Sperrschicht-Feldeffekttransistor oder JFET (Junction-FET) vom Typ J310 zum Einsatz. Die Gate-Elektrode ist durch eine Sperrschicht vom Kanal isoliert. Der Übergang Gate zu Kanal arbeitet also wie eine gewöhnliche Diode, die in Durchlassrichtung leitet und in Sperrrichtung isoliert. Der JFET war der erste FET-Typ der im Rahmen der Grundlagenforschung zu Dioden und Transistoren erfolgreich hergestellt werden konnte. Der Kanal zwischen Source und Drain leitet auch ohne Spannung am Gate-Eingang (Verarmungstyp). Wenn die Gate-Source-Spannung bei Null beginnend gesteigert wird, verhält sich die Drain-Source Strecke weitgehend (für kleinere Drain-Source-Spannungen) wie ein steuerbarer ohm'scher Widerstand, bis am Gate die sog. Abschnür- oder Pinch-off-Spannung erreicht ist. Dann sperrt der Kanal komplett. Die Abschnürspannung liegt bei ca. 2,5V. Der Stromfluss zwischen Drain und Source bleibt mit deren Erreichen konstant. Die Spannungs-Strom-Kennlinie des Drain-Source-Kanals ist für größere Spannungen nicht mehr linear wie bei einem idealen ohm'schen Widerstand. Die Abschnürspannung kann durch eine am Gate angelegte, gegenüber Source negative Spannung, verringert werden, sodass eine Stromflussbegrenzung variabel einstellbar ist. Der von uns verwendete JFET-Typ braucht eine negative Vorspannung um als Verstärker betrieben werden zu können.

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Programmierbarer Unijunction Transistor 2N6027	Art.-Nr.: 118390 Brick-ID: ALL-BRICK-0169
<p>Dieser Brick enthält einen programmierbaren Unijunction-Transistor (engl. Programmable Unijunction Transistor = PUT) vom Typ 2N6027. Ein PUT unterscheidet sich im inneren Aufbau grundlegend von einem normalen Transistor und auch von einem Unijunction-Transistor (UJT). Der Aufbau eines PUT ist eher eine Variation des Thyristors. Äußerlich betrachtet hat er genauso wie der Transistor drei Anschlüsse und kann genauso zum Schalten verwendet werden. Die Anschlüsse heißen beim PUT Gate, Anode und Kathode. Um es noch verwirrender zu machen: Ein PUT funktioniert nach außen hin ähnlich wie ein Unijunction-Transistor, daher auch der Name „Programmable Unijunction Transistor“ obwohl er innerlich ganz anders aufgebaut ist. Der Vollständigkeit halber sei gesagt, dass der UJT einen pn-Übergang hat, der PUT hingegen drei.</p> <p>Das Besondere an diesem Bauelement ist die am Gate „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 Gate eine zur Kathode positive Spannung angelegt, kann die Schwellspannung gesenkt werden, der PUT wird „früher“ niederohmig. Mit einem PUT lassen sich leicht Oszillatorschaltungen aufbauen.</p>			

4.10 Audioelemente

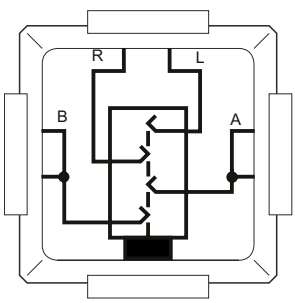
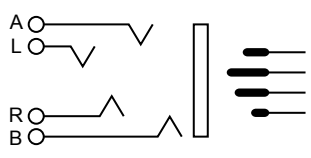
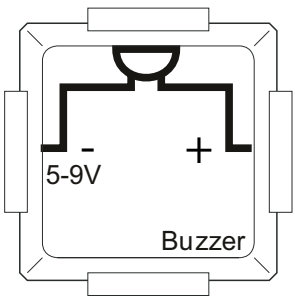
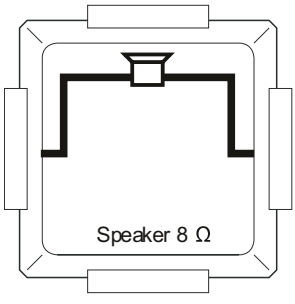
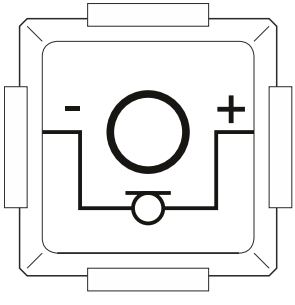
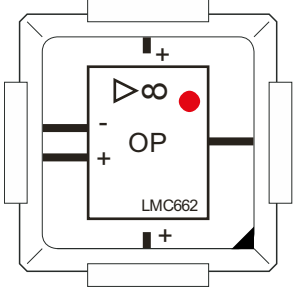
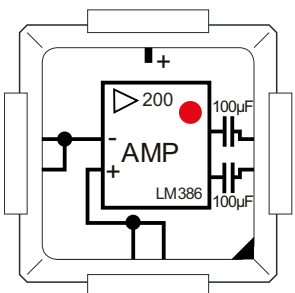
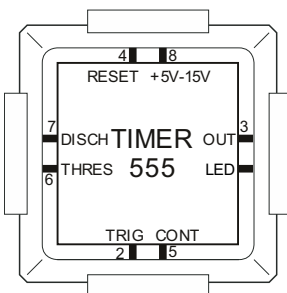
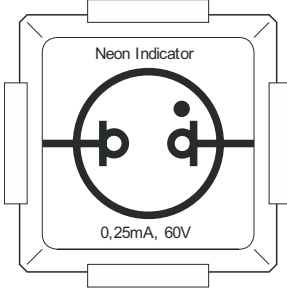
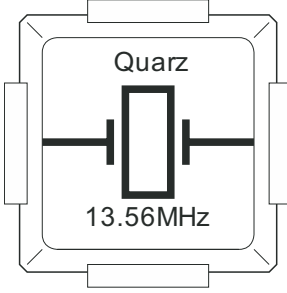
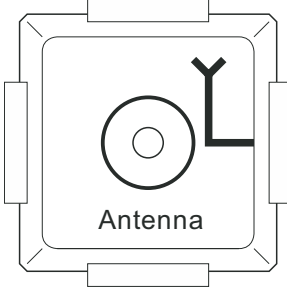
Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	3,5 mm Klinkenbuchse (4-polig)	Art.-Nr.: 118700 Brick-ID: ALL-BRICK-0222
<p>Die 4-polige 3,5 mm Klinkenbuchse erlaubt den Anschluss von Standard-Kopfhörern, ist aber auch für vierpolige Mikrofon-/Hörer-Kombinationen geeignet.</p>			
<p>Schaltzeichen:</p>  <p>4-polige Klinkenbuchse</p>			

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Buzzer (Summer)	Art.-Nr.: 118370 Brick-ID: ALL-BRICK-0152
<p>Der Buzzer (Summer) wandelt elektrische in akustische Signale um. Im Vergleich zum Lautsprecher verfügt er über ein sehr begrenztes Frequenzspektrum. Die Erzeugung differenzierter Tonsignale ist daher nicht möglich. Seine Aufgabe ist es, einfache, akustische Meldungen zu geben. Je nach Ausführung arbeiten Buzzer mit einem Piezoelement (wie bei diesem Brick) oder einem Elektromagneten (elektromechanische Schwingungserzeugung). Manche werden mit Gleichspannung betrieben, andere brauchen Wechselspannung. Einige haben eine eingebaute Schwingungserzeugung, andere brauchen eine externe Erregung. Unser Buzzer besteht aus einem Piezoelement und enthält intern eine Schaltung zur Erzeugung der Wechselspannung für den Ton. Daher arbeitet der Brick mit Gleichspannung. Auf die richtige Polung (+/-) muss geachtet werden!</p>			
	1	Lautsprecher	Art.-Nr.: 113703 Brick-ID: ALL-BRICK-0076
<p>Ein Lautsprecher wandelt elektrische Signale in Töne um. Im Gegensatz zu einem Summer kann er nicht nur Warnsignale sondern differenzierte Töne übertragen. Lautsprecher sind, je nach Aufgabe, für ein bestimmtes Frequenzspektrum entworfen. Ein Breitbandlautsprecher z. B. hat ein Spektrum von 40 bis 20.000 Hz. Lautsprecher dürfen nicht überlastet werden. Das führt zu mechanischer oder thermischer Zerstörung. Es muss auch die Impedanz (der Wechselstromwiderstand) des Lautsprechers berücksichtigt werden. Für die Klangqualität ist eine niedriger Innenwiderstand der Quelle (meist Lautsprecherverstärker) wünschenswert. Andererseits kann ein niedriger Innenwiderstand evtl. zu einen zu hohen Strom führen. Unser Lautsprecher hält 0,25 W aus und hat eine Impedanz von 8 Ω.</p> <p>Damit können wir die erlaubte Spannung berechnen. Es gilt folgende Formel:</p> $U = \sqrt{(P \cdot R)} = \sqrt{(0,25 \text{ W} \cdot 8 \Omega)} = 1,41 \text{ V.}$ <p>Daher darf der Lautsprecher niemals direkt an unsere Spannungsversorgung von 9V angeschlossen werden!</p>			
	1	Mikrofon	Art.-Nr.: 118368 Brick-ID: ALL-BRICK-0150
<p>Unser Mikrofon-Brick wandelt akustische Schwingungen in elektrische Signale um. Das Mikrofon kann als Gegenteil zum Lautsprecher betrachtet werden. Viele Mikrofone nutzen die Eigenschaft der veränderbaren Kapazität von Kondensatoren, um die Druckwellen des Schalls in eine elektrische Schwingung umzuwandeln. Man nennt sie Kondensatormikrofone. Da unser Mikrofon eine Feldeffekttransistor-Schaltung zur Verstärkung enthält, muss auf die richtige Polung (siehe + und -) geachtet werden! Das Frequenzspektrum reicht von 20 bis 20.000 Hz. Die Empfindlichkeit liegt bei ca. 5-10 mV/Pa (Millivolt pro Pascal).</p>			

4.11 Operationsverstärker

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Operationsverstärker LMC662	Art.-Nr.: 113696 Brick-ID: ALL-BRICK-0069
<p>Dieser Brick enthält einen Operationsverstärker (OPV) vom Typ LMC662 mit einem sehr hohen Eingangswiderstand (CMOS-Eingang) von über 1 Tera-Ohm ($1 \times 10^{12} \Omega = 1 \text{ T}\Omega$). Daraus resultiert ein extrem niedriger Eingangsstrom von 2 Billionstel Ampere bzw. 2 Femto-Ampere ($2 \times 10^{-15} \text{ A} = 2 \text{ fA}$). Je nach Beschaltung kann der OPV die Spannungsdifferenzen zwischen Plus (+)- und Minus (-)-Eingang um bis das 2.000.000-fache verstärken. Der Verstärkungsfaktor wird durch das Verhältnis der Widerstände zwischen den Eingängen und dem Ausgang bestimmt.</p> <p>Das Maß der Verstärkung wird in Bel (B) bzw. üblicherweise in Dezi-Bel (dB) angegeben. Es wird also nicht der Quotient aus Ausgangsgröße/Eingangsgröße angegeben, sondern der dekadische Logarithmus davon. Dabei ist zwischen Leistungs- und Spannungsverstärkung zu unterscheiden. Beispielsweise entspricht eine Leistungsverstärkung um den Faktor 10 einem Bel oder 10 Dezibel (abgekürzt dB). Es gilt:</p> $Q_{(P)} = 10 * \log\left(\frac{P_a}{P_e}\right)$ <p>Für die Spannungsverstärkung unseres OPVs gilt:</p> $Q_{(U)} = 20 * \log\left(\frac{U_a}{U_e}\right) = 20 * \log(2.000.000) \approx 126 \text{ dB}$ <p>Die Spannungsverstärkung von 2.000.000 entspricht also etwa 126 dB. Der Vorteil ist, dass die Verstärkung mehrerer Stufen addiert werden kann und die Zahlenwerte „handlicher“ (kleiner) werden.</p>			
	1	Operationsverstärker LM386	Art.-Nr.: 113704 Brick-ID: ALL-BRICK-0077
<p>Der LM386 ist ein spezieller Operationsverstärker zur Verstärkung von schwachen Audiosignalen. Er hat eine Ausgangs-Leistung von maximal 0,25 Watt bei einem Ausgangswiderstand von 8Ω. Seine dem Operationsverstärker ähnlichen Eigenschaften machen es möglich, einen Spannungspegel am Eingang um den Faktor 200 zu verstärken. Dies entspricht etwa 46 dB.</p>			

4.12 Sonstige Elemente

Abbildung	Anzahl	Kurzbeschreibung	Art.-Nr. / Brick-ID
	1	Timer-Baustein 555	Art.-Nr.: 113682 Brick-ID: ALL-BRICK-0055
	1	Glimmlampe	Art.-Nr.: 113695 Brick-ID: ALL-BRICK-0068
	1	Schwingquarz	Art.-Nr.: 113705 Brick-ID: ALL-BRICK-0078
		<p>Der in diesem Brick verbaute Quarz schwingt bei 13,56 MHz. Die Funktion eines Schwingquarzes basiert auf dem piezoelektrischen Effekt. D. h. bestimmte Quarze erzeugen bei mechanischer Krafteinwirkung eine elektrische Spannung. Wenn man Metallelektroden auf dem Quarz anbringt kann man die elektrische Schwingung abnehmen. In unserem Fall verhält es sich jedoch umgekehrt. Wenn man eine elektrische Spannung an den Quarz anlegt, erzeugt man eine mechanische Spannung und damit auch eine Bewegung des Kristalls. Ein Schwingquarz ist so hergestellt und geschliffen, dass er eine wohldefinierte mechanische Eigenschwingung – auch Resonanzfrequenz genannt – hat.</p> <p>In elektronischen Schaltungen kann man den Schwingquarz als Schwingkreis in Serien- oder Parallel-Resonanz einsetzen. Beispielsweise zum Filtern von Frequenzen oder als hochgenauer Oszillator. Die Frequenzgenauigkeit und die Güte solcher Schwingkreise ist sehr hoch. Zudem sind sie meist viel kleiner als klassische Schwingkreise aus Spulen und Kondensatoren. 1928 wurden damit erstmals Präzisionsuhren gebaut.</p>	
	1	Antenne	Art.-Nr.: 114183 Brick-ID: ALL-BRICK-0123
		<p>Dies ist ein Brick mit einer ausziehbaren Antenne (sog. Teleskop-Antenne). Eine Antenne empfängt oder sendet elektromagnetische Schwingungen.</p>	

5. Schaltungsbeispiele


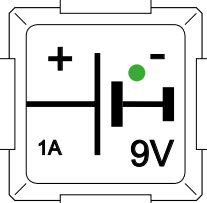
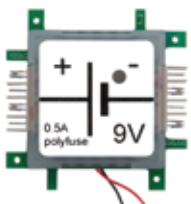
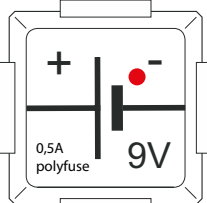


Beachte stets die Sicherheitshinweise in Kapitel 1 auf Seite 7 und lies das Kapitel „Grundlagen des Brick'R'knowledge Systems“ auf Seite 8 aufmerksam durch, bevor Du mit den praktischen Übungen beginnst.

5.1 Der Stromkreis

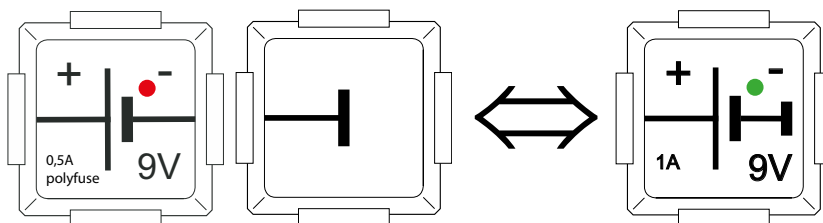
5.1.1 Die Spannungsversorgung

Im Advanced Set gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Spannungsversorgung der Brick-Schaltung. Am Brick-Label kannst du erkennen, welche Versorgung in der Schaltung verwendet wird, in manchen Schaltungen werden auch beide Versorgungen benötigt. Prinzipiell sind die beiden Varianten austauschbar. Bedenke aber, dass du bei Verwendung des 9V-Steckernetzteils Batterien einsparen kannst. Zur besseren Unterscheidung hier nochmal die beiden Varianten im Vergleich:

Abbildung	Brick-Symbol	Beschreibung
	 Art.-Nr.: 118627 Brick-ID: ALL-BRICK-0221	9V Netzteiladapter Der 9V-Netzadapter liefert eine stabilisierte Gleichspannung (DC) und einen Maximalstrom von 1 A. Der Ausgang ist kurzschlussicher. Eine LED zeigt an, sobald er Strom liefert. Der Pluspol ist herausgeführt und der Minuspol ist mit Masse verbunden, sodass kein zusätzlicher Masse-Brick erforderlich ist.
	 Art.-Nr.: 113628 Brick-ID: ALL-BRICK-0001	9V Block-Batterie Der Batterie-Brick wird von einer 9V Block-Batterie gespeist und versorgt die Schaltung mit einer Gleichspannung von 9V. Pluspol und Minuspol sind herausgeführt. Die rote LED leuchtet nur im Fehlerfall, sobald die selbstheilende Polyfuse bei Kurzschluss oder Überlastung (>0,5A) den Stromkreis trennt.



Wenn du die Bricks in den Übungsbeispielen zusammensteckst, achte darauf, den Versorgungs-Brick stets als letzten Brick an deine Schaltung zu stecken, nachdem du diese nochmals kontrolliert hast. **Am Ende der Versuchsdurchführung muss das Netzteil vom Stromnetz getrennt werden!**



Hinweis:

Bei Verwendung des Batterie-Bricks muss am Minuspol ein Masse-Brick gesteckt werden, bei Verwendung des Netzadapter-Bricks jedoch nicht, da die Masseverbindung intern erfolgt.

Abb. 5: Batterie-Brick und Netzadapter-Brick tauschen

5.1.2 Einfacher Stromkreis mit LED

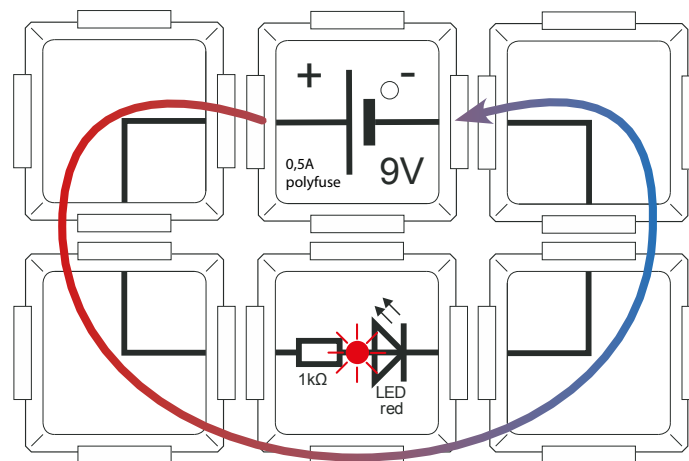
Unsere erste Schaltung besteht aus einer Spannungsquelle und einer LED. Die Spannungsquelle kann z. B. der Batterie-Brick oder auch der Netzadapter-Brick sein. Eine LED (Licht emittierende Diode, engl. Light Emitting Diode) ist ein modernes, energiesparendes Leuchtmittel. Sie hat nur etwa Einhundertstel des Energieverbrauchs einer vergleichbaren Glühlampe, da in ihr kein Draht zum Glühen gebracht werden muss.

Aus der n-Zone ankommende energiereiche Elektronen werden im p-dotierten Halbleiter von den Löchern eingefangen (sog. Rekombination). Die Energie wird in Licht (und Wärme) umgesetzt. Daher erwärmen sich LEDs während des Betriebs, sie produzieren allerdings wesentlich weniger Verlustwärme als beispielsweise Glühlampen bei Erzeugung der gleichen Lichtmenge.

Achtung: Beim Aufbau des Stromkreises ist auf die richtige Anordnung des LED-Bricks zu achten. Die LED leuchtet im Gegensatz zu einer Glühbirne nur dann, wenn sie mit der richtigen Polung (richtige Stromrichtung) in die Schaltung eingebracht ist. Die Kathode (Minuspole) 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 der sogenannten technischen Stromrichtung, wie von dem rot-blauen Pfeil angedeutet. Der LED-Brick hat sicherheitshalber noch einen Vorwiderstand an Bord. Dieser ist sehr wichtig, da er die Zerstörung der LED verhindert. Würde die LED ohne ihn an die Spannungsquelle von 9V angeschlossen werden, würde diese nach kurzem Aufleuchten durchbrennen. Der Widerstand sorgt für eine Begrenzung des Stromes. Beachte, dass die technische Stromrichtung von Plus nach Minus umgekehrt ist zur tatsächlichen Bewegung der Elektronen. Das hat historische Gründe (elektrische Ladungen waren schon bekannt bevor das Elektron entdeckt wurde).



Die Bricks sind stets exakt zu verbinden. Leuchtet die LED nicht, sind die Kontakte zwischen den Bricks noch einmal genau zu kontrollieren. Es empfiehlt sich grundsätzlich die Polung der Bauteile und die exakte Positionierung der Steckverbindungen vor dem Anschliessen der Versorgung zu überprüfen.



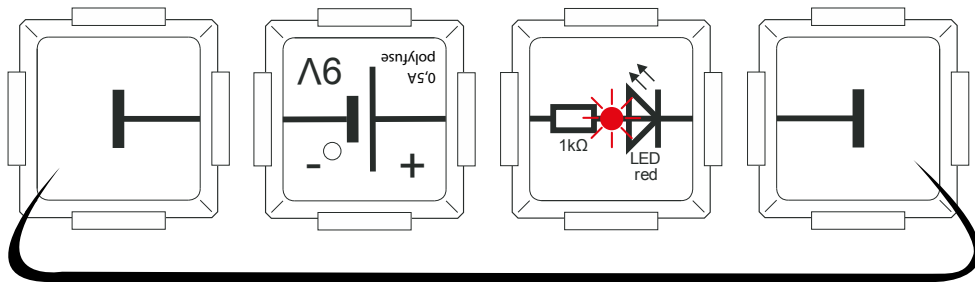
LED leuchtet!



Abb. 6: Einfacher Stromkreis mit LED

5.1.3 Vereinfachte Schaltung mit Masse-Brick

Als nächstes bauen wir den Stromkreis aus Kap. 5.1.2 auf Seite 33 unter Verwendung des Masse-Bricks. Die folgende Abbildung zeigt den vollständigen Aufbau der Schaltung mit nur vier anstatt bisher sechs Bricks.



Der Stromkreis wird durch die beiden Masse-Bricks – wie in obiger Abbildung angedeutet – geschlossen.

Abb. 7: Stromkreis mit Masse-Brick

Der obige Versuchsaufbau zeigt sich durch die Masse-Bricks übersichtlicher gegenüber dem Aufbau aus Kapitel 5.1.2. Die Masse-Bricks schließen jetzt den Stromkreis, auch wenn sie links und rechts scheinbar ins Leere gehen. Ähnlich dem Masse-Symbol beim Zeichnen eines Schaltplans stellt der Masse-Brick die Verbindung zum gemeinsamen Bezugspotential (Minuspole der Versorgung) her.



Merke:

Das Masse-Symbol spart – wie beim professionellen Zeichnen eines Schaltplans – Zeit und trägt zur besseren Übersicht bei. Die beiden äußeren Kontakte aller Steckverbinder sämtlicher Bricks führen grundsätzlich Masse.

In der folgenden Abbildung siehst du den eigentlichen Verlauf der Masseleitungen durch die Bricks und den Stromfluss vom Pluspol, über die LED als Verbraucher, zum Minuspol des Batterie-Bricks.

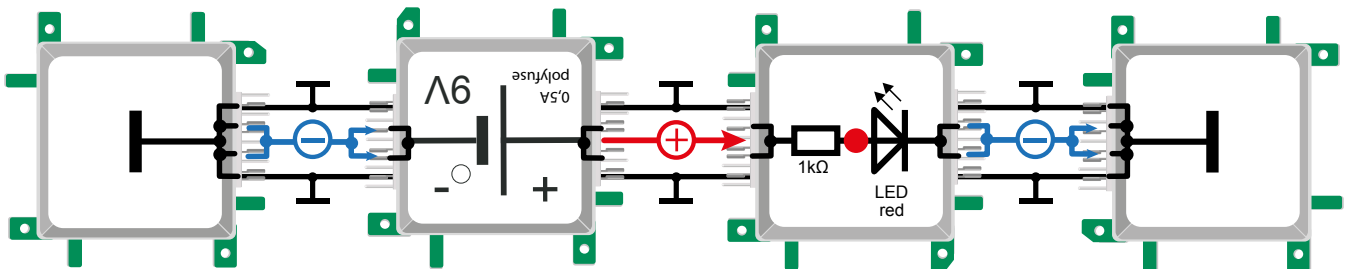
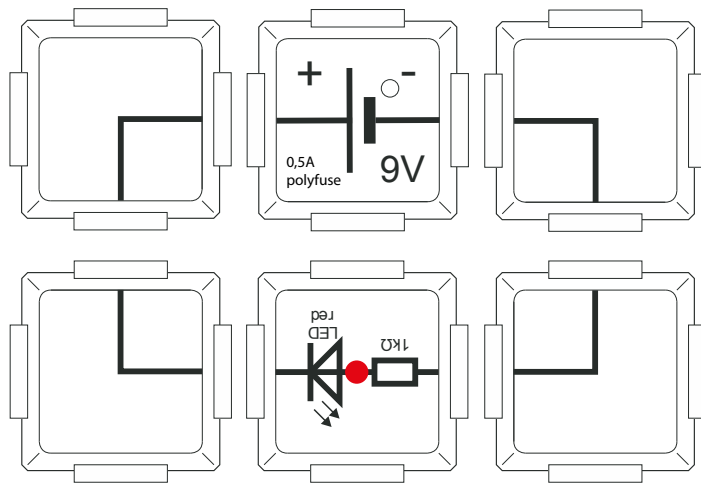


Abb. 8: Verlauf der Masseleitungen

5.1.4 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, sodass sie mir dem Weg versperrt. Auch Rückschlagventile wie die Ventile im Fahrrad oder Autoreifen haben eine ähnliche Funktion. Sie lassen die Luft nur in einer Richtung durch. 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!



Abb. 9: LED falsch gepolt

Die gleiche Schaltung alternativ mit Masse-Bricks:

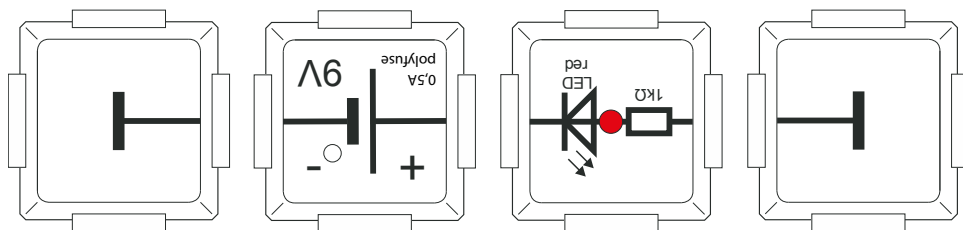


Abb. 10: LED falsch gepolt mit Masse-Brick

5.1.5 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.

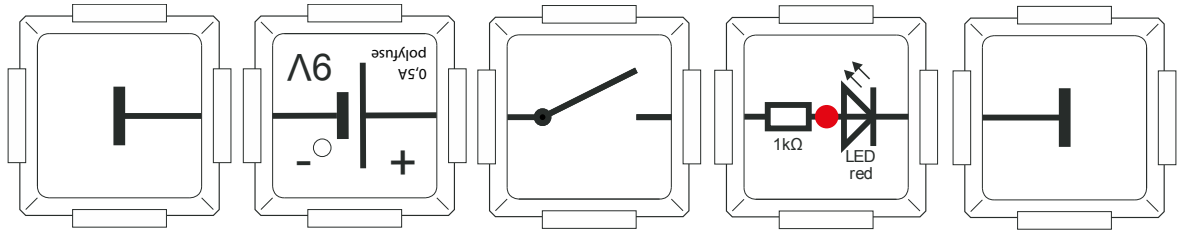


Abb. 11: Stromkreis mit Taster

5.1.6 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 den einen oder anderen Strompfad gelenkt, aber nie auf beide gleichzeitig. Unser Umschalter hat zusätzlich eine Mittelstellung, sodass in keinem der beiden Pfade ein Strom fließt. Ist der Umschalter nach oben gestellt, leuchtet die rote LED, zeigt er nach unten, leuchtet die gelbe LED.

Beachte die richtige Polung der LED-Bricks!

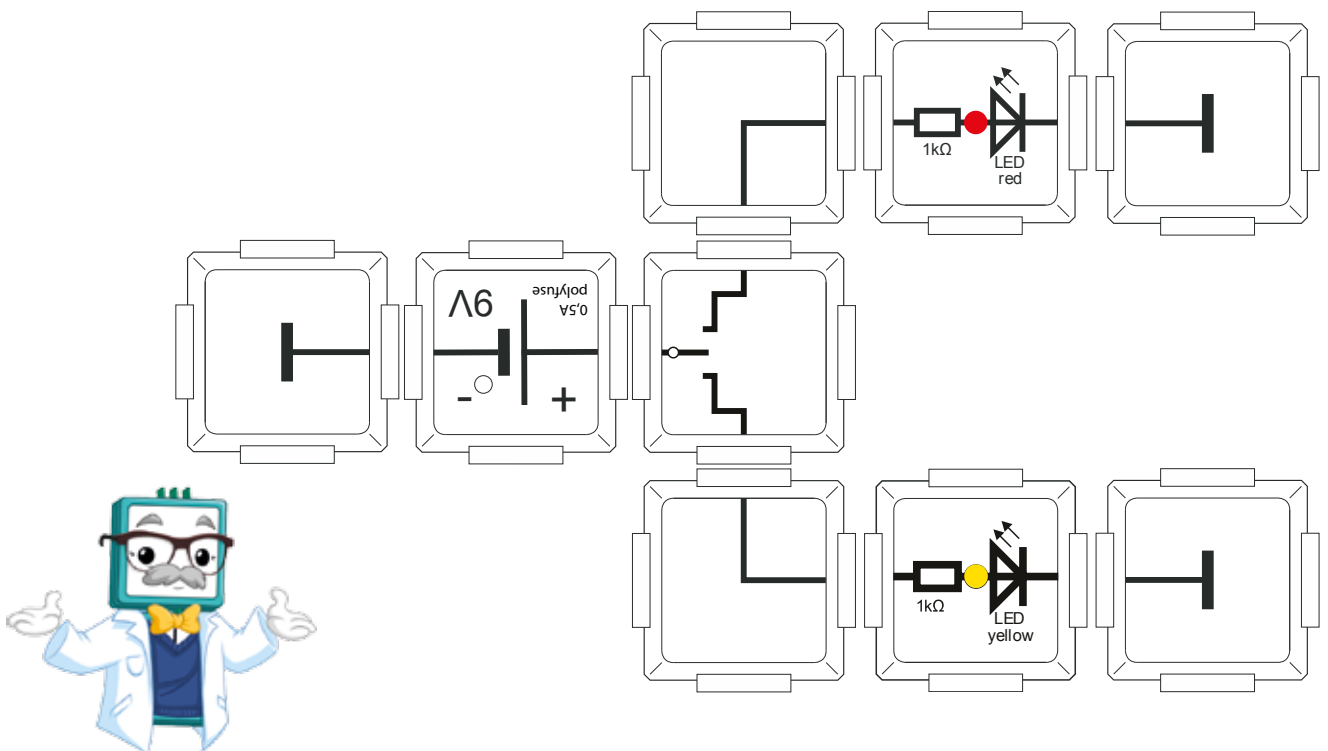


Abb. 12: Stromkreis mit Umschalter

5.1.7 Parallelschaltung zweier LEDs

Das Brick'R'knowledge Advanced Set enthält mehrere LED-Bricks, z. B. mit einer roten und einer gelben LED. 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 sich verzweigt, sodass die Elektronen zwei oder mehrere Möglichkeiten haben den Weg vom Plus- zum Minuspol zu finden. In unserem Beispiel leuchten die LEDs gleichzeitig, da der Stromfluss durch beide LED-Bricks parallel erfolgt.

Die ersten LEDs die auf den Markt kamen, waren die mit dem langwelligsten Licht. Es waren Infrarot-Dioden. Dann folgten die roten, gelben und grünen, später die blauen und ultravioletten LEDs. Also etwa so wie die Farben im Regenbogen liegen. Die Lichtwellenlänge (und damit Photonenenergie) bedingt direkt die notwendige Betriebsspannung. Deshalb brauchen die roten LEDs mit 1,6–2,2V weniger Spannung als die gelben mit 1,9–2,5V und diese weniger als die blauen mit 3–4V. Als letztes kamen die weissen Leuchtdioden auf den Markt. Ihre „Farbe“ wird durch Mischung von mehreren, in einem Gehäuse eingebauten LEDs mit unterschiedlichen Farben erreicht oder durch Umwandlung von ultraviolettem Licht mit Farbstoffen (wie in Leuchtstoffröhren).

Wegen der unterschiedlichen – relativ kleinen – Betriebsspannung brauchen verschiedenfarbige LEDs prinzipiell unterschiedliche Vorwiderstände. An jedem Vorwiderstand stellt sich ein anderer Spannungsabfall ein und gemäß ohm'schem Gesetz ($I = U/R$) ein anderer Strom.

Da unsere LED-Bricks einen einheitlichen Vorwiderstand von 1 k Ω haben, bekommt in unserer Parallelschaltung die gelbe LED etwas weniger Strom als die rote. Wenn man nun die Versorgungsspannung langsam erhöhen würde (z. B. mit dem Potentiometer), würde die rote zuerst bzw. heller leuchten. Durch Tausch der gelben LED gegen die blaue wird der Effekt noch deutlicher.

Merke: Der direkte Betrieb einer LED an 9 Volt ohne Vorwiderstand würde sie zerstören!

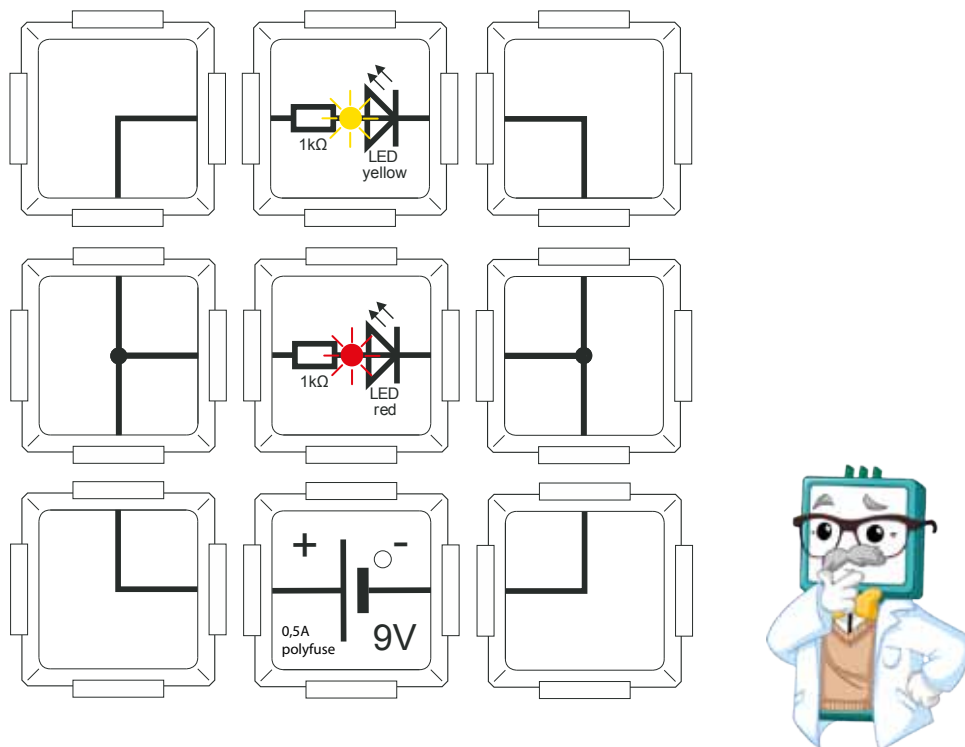


Abb. 13: Parallelschaltung zweier LEDs

5.1.8 Batterie-Polung testen

In 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 testen. Dafür bringen wir zwei LED-Bricks so in den Stromkreis ein, dass die Anode des roten LED-Bricks und die Kathode des gelben LED-Bricks an das positive Potential der Spannungsquelle angeschlossen sind.

Zunächst leuchtet nur die rote Leuchtdiode. Da die gelbe LED – quasi verkehrt – mit der Kathode am Pluspol der Spannungsquelle angeschlossen ist, kann durch diese kein Strom fließen. Dreht man nun die Polarität der Spannungsquelle um, liegt an der Anode der roten Leuchtdiode und an der Kathode der gelben Leuchtdiode das negative Potential, sodass jetzt nur die gelbe Leuchtdiode leuchtet. Sobald eine Spannungsquelle angeschlossen ist, leuchtet also immer nur eine Leuchtdiode, nie beide gleichzeitig. Man spricht hier auch von einer antiparallelen Schaltung. Vor die beiden LED-Bricks ist jeweils ein $10\text{k}\Omega$ -Widerstand eingebracht, um den Stromfluss zusätzlich zu begrenzen. Mit dieser Schaltung kann auch die Polung von Netzteilen bestimmt werden, die eine höhere Spannung als 9V haben. Da es nur zwei mögliche Polungen gibt, genügen zwei Leuchtdioden um die Flussrichtung zu bestimmen.



Achtung:

Die maximale Spannung des Netzteils sollte stets kleiner als 24 Volt sein. Bitte niemals einen Brick direkt an die Netzspannung von 230V anstecken! Es besteht dann Lebensgefahr!

Die Pole von Netzteil oder Batterie nie direkt miteinander verbinden, denn dadurch entsteht ein Kurzschluss! Es besteht die Gefahr, dass Leitungen durchglühen oder Akkus explodieren!

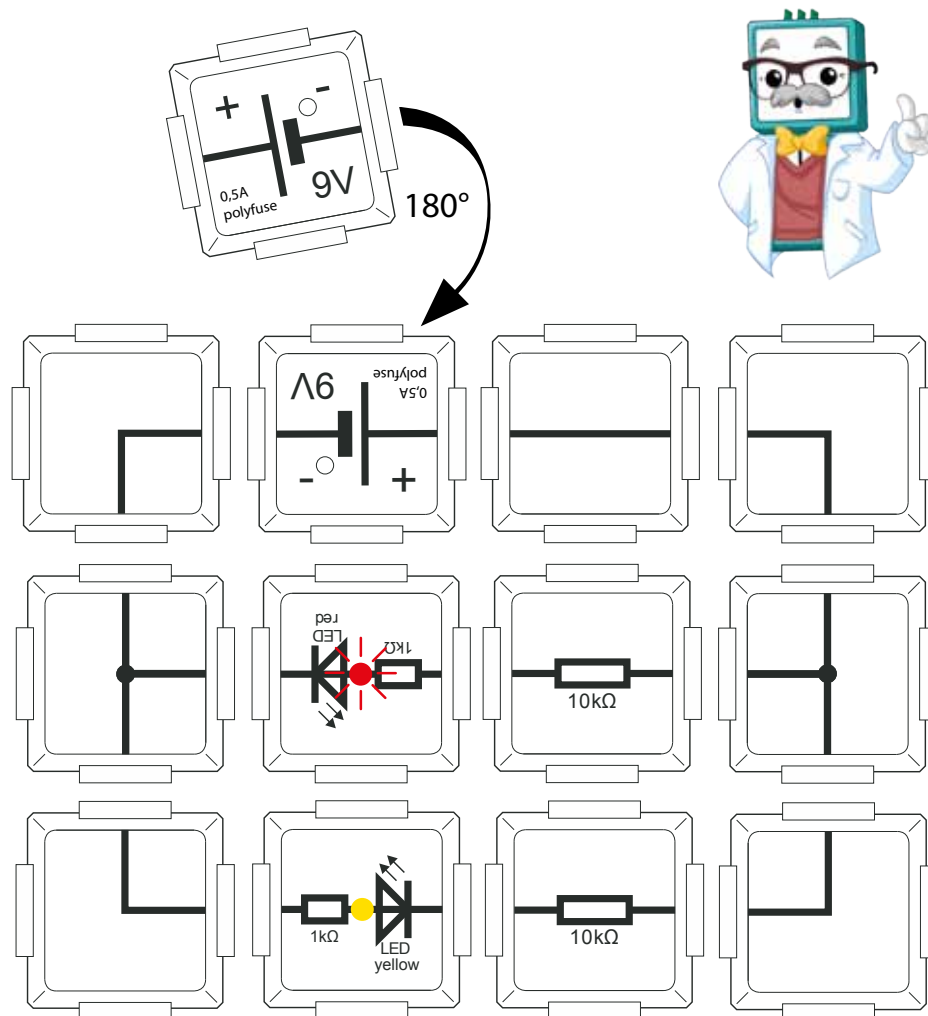


Abb. 14: Batterie-Polung testen

5.2 Digitale Logik mit Tastern

Die im folgenden Kapitel vorgestellten Logikschaltungen (UND, ODER, NICHT und Exklusiv-ODER) stellen die Grundlage der digitalen Schaltungstechnik dar.

Die intelligente Zusammenschaltung mehrerer einfacher Logikschaltungen zu komplexeren Schaltungen erlaubt es auch kompliziertere logische Funktionen zu realisieren. So werden heute in elektronischen Schaltungen auch Buchstaben, Ziffern, Symbole und Zahlen (meist mit der Mathematik der Binärzahlen) als Signale (Ströme, Spannungen) auf Leitungen dargestellt (auch Töne und Bilder können in Zahlen dargestellt werden). Der Überbegriff dafür ist die Digitaltechnik. Man hat Schaltungen erfunden, die nicht nur einfache logische Verknüpfungen sondern etwa auch arithmetische Berechnungen ausführen können. Dazu kam die Erfindung des Computers. Er besteht aus speziellen digitalen Schaltungen, die besonders gut programmierbar sind. Einfache logische Verknüpfungen haben schon in der Frühzeit der Elektronik (bei Tesla) begonnen und uns bis ins Computer- und schließlich ins Internet-Zeitalter geführt. Oft wird heute auch von Analog-versus Digitaltechnik gesprochen. Bei der Analogtechnik gibt etwa der Spannungswert eines Lichtsensors direkt die Lichtstärke wieder. Bei der Digitaltechnik wird mittels Elektronik aus der analogen Lichtstärke erst ein Zahlenwert ermittelt und dieser dann digital weiterverarbeitet. Beides hat Vor- und Nachteile.

5.2.1 UND-Schaltung

Die LED in der folgenden Schaltung brennt nur, wenn Taster 1 **und** Taster 2 gedrückt werden.

Daher heißt diese Schaltung UND-Schaltung. Sie wird z. B. bei der Absicherung von gefährlichen Maschinen genutzt: Gefährliche Pressen etwa kann man erst dann mit einem Fußschalter starten, wenn zwei Taster gleichzeitig gedrückt gehalten werden, einer mit der rechten und einer mit der linken Hand. So ist garantiert, dass die Hände außerhalb des Gefahrenbereichs sind.

Elektronisch ist die UND-Schaltung durch zwei in Reihe geschaltete Taster (oder Schalter) 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.

Man spricht von einer UND-Schaltung (die Mathematik sagt auch „Konjunktion“ dazu) wenn erst die logische UND-Verknüpfung von zwei Ereignissen (oder Eingangssignalen) ein anderes Ereignis (das Ausgangssignal) hier das Leuchten der LED bewirkt. Unser Beispiel verknüpft zwei Zustände (Tasterposition: unten oder oben). Wir könnten die Schaltung auch mit drei oder mehr Tastern bauen, abhängig von der Anzahl der zu verarbeitenden Eingangssignale. Im Folgenden werden wir sehen wie man auch andere logische Verknüpfungen, wie ODER, NICHT und Exklusiv-ODER aufbauen kann.

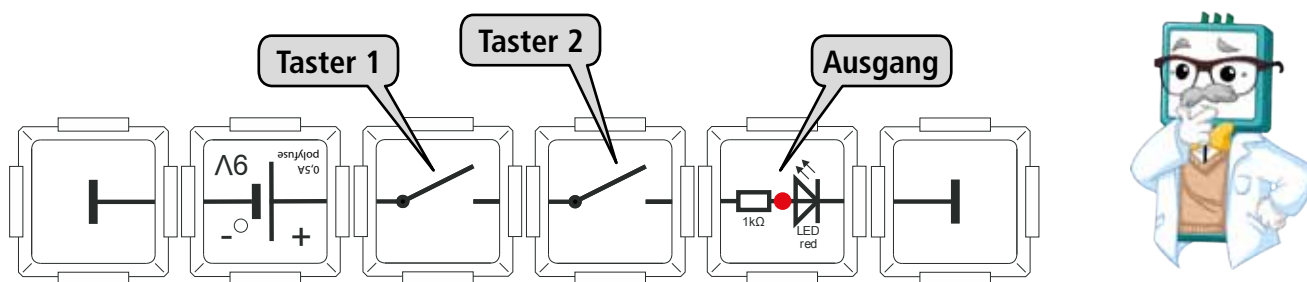


Abb. 15: UND-Schaltung mit Taster

Der Digitaltechniker kann die UND-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (nicht gedrückt)	0 (nicht gedrückt)	0 (Aus)
0 (nicht gedrückt)	1 (gedrückt)	0 (Aus)
1 (gedrückt)	0 (nicht gedrückt)	0 (Aus)
1 (gedrückt)	1 (gedrückt)	1 (Ein)

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

5.2.2 ODER-Schaltung

Die ODER-Schaltung realisiert ein Ausgangssignal, wenn ein **oder** mehrere Eingangssignale anliegen. Ein Beispiel aus dem alltäglichen Sprachgebrauch: Ich kann eine Rechnung über 5€ mit einem 5€-Schein oder mit fünf 1€-Münzen bezahlen. Auch wenn ich sowohl einen 5€-Schein als auch fünf 1€-Münzen gleichzeitig in meiner Geldbörse habe, kann ich die Rechnung begleichen. Hier wird also zwischen zwei oder mehreren Alternativen unterschieden, die alle dasselbe Resultat haben. In der Mathematik wird die ODER-Verknüpfung auch als „Disjunktion“ bezeichnet.

Dem aufmerksamen Leser wird nicht entgangen sein, dass die UND-Verknüpfung eine Teilmenge der ODER-Verknüpfung ist. Denn 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.

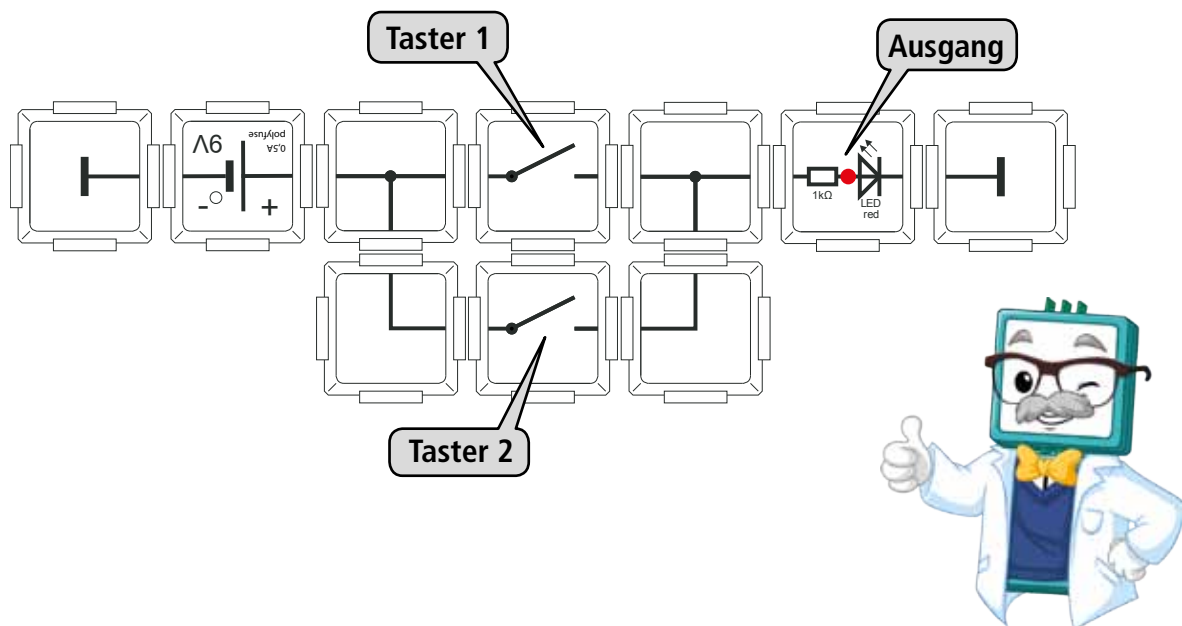


Abb. 16: ODER-Schaltung mit Taster

Der Digitaltechniker kann die ODER-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (nicht gedrückt)	0 (nicht gedrückt)	0 (Aus)
1 (gedrückt)	0 (nicht gedrückt)	1 (Ein)
0 (nicht gedrückt)	1 (gedrückt)	1 (Ein)
1 (gedrückt)	1 (gedrückt)	1 (Ein)

Die rote LED leuchtet wahlweise, wenn Taster 1 betätigt wird oder Taster 2 oder beide.

5.2.3 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, kann ich nicht über die Kreuzung fahren. Wir simulieren das mit Hilfe eines zur LED parallel geschalteten Tasters. Ist dieser betätigt, wird die Vorwärtsspannung für die LED (1,5V für rote LED) nicht mehr erreicht, sodass diese erlischt. Wird er hingegen nicht betätigt, muss der Strom zwangsweise durch die LED fließen, sodass diese leuchtet.

Wichtig ist der 1 k Ω -Widerstand, der einen Kurzschluss bei geschlossenem Taster verhindert.

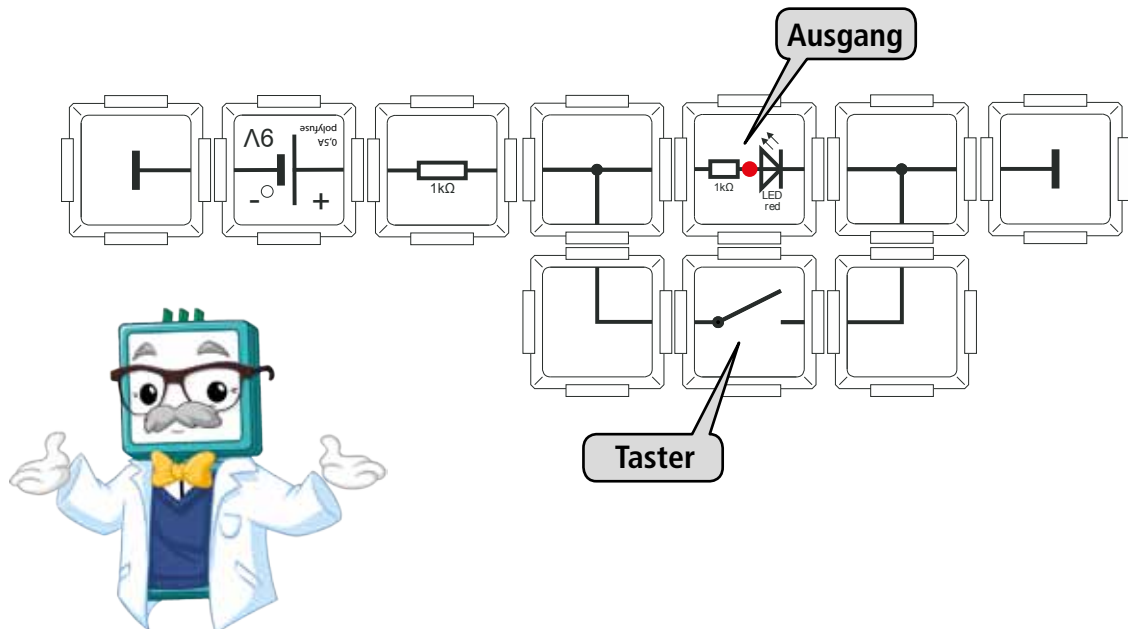


Abb. 17: NICHT-Schaltung mit Taster

Der Digitaltechniker kann die NICHT-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Taster	Ausgang (LED)
0 (nicht gedrückt)	1 (Ein)
1 (gedrückt)	0 (Aus)

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

5.2.4 Exklusiv-ODER-Schaltung (Wechselschaltung)

Die Exklusiv-ODER-Verknüpfung ist in der Elektrotechnik weit verbreitet und wird auch als Wechselschaltung bezeichnet. Vielleicht findet sie sich auch bei Dir zuhause beim Flurlicht. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird die Exklusiv-ODER-Verknüpfung durch "entweder, oder" beschrieben.

Beispiel Flurlicht:

Jeder Schalter kann zum Ein- oder Ausschalten verwendet werden unabhängig vom Ausgangszustand. Das Umlegen eines Schalters bewirkt einen Wechsel des Ausgangssignals. Wenn die Lampe vorher aus war wird sie eingeschaltet, falls sie ein war wird sie ausgeschaltet. Diese Schaltung wird mit zwei Umschaltern aufgebaut, die in der Elektro-Installation auch als Wechselschalter bezeichnet werden. Jeder der Schalter kann zum Ein- oder Ausschalten verwendet werden, unabhängig davon welcher zuerst betätigt wird.

Da im Advanced Set nur ein Umschalter-Brick enthalten ist, kannst du ersatzweise den Universal-Sockel-Brick verwenden und mit einer Drahtbrücke wechselweise zwischen mittlerem und oberem Kontakt (Position „Draht 1“) oder zwischen mittlerem und unterem Kontakt (Position „Draht 0“) verbinden. Jeder Positionswechsel negiert den aktuellen Schaltzustand. Die vorherige Schalterstellung bzw. Drahtposition ist dabei nicht relevant, da die LED über beide Leitungspfade zum Leuchten gebracht werden kann. Nur dann, wenn sich Umschalter und Drahtbrücke in entgegengesetzter Position befinden, kann kein Strom fließen (Umschalter ist oben "Schalt 0" und Drahtbrücke ist unten "Draht 1", oder umgekehrt).

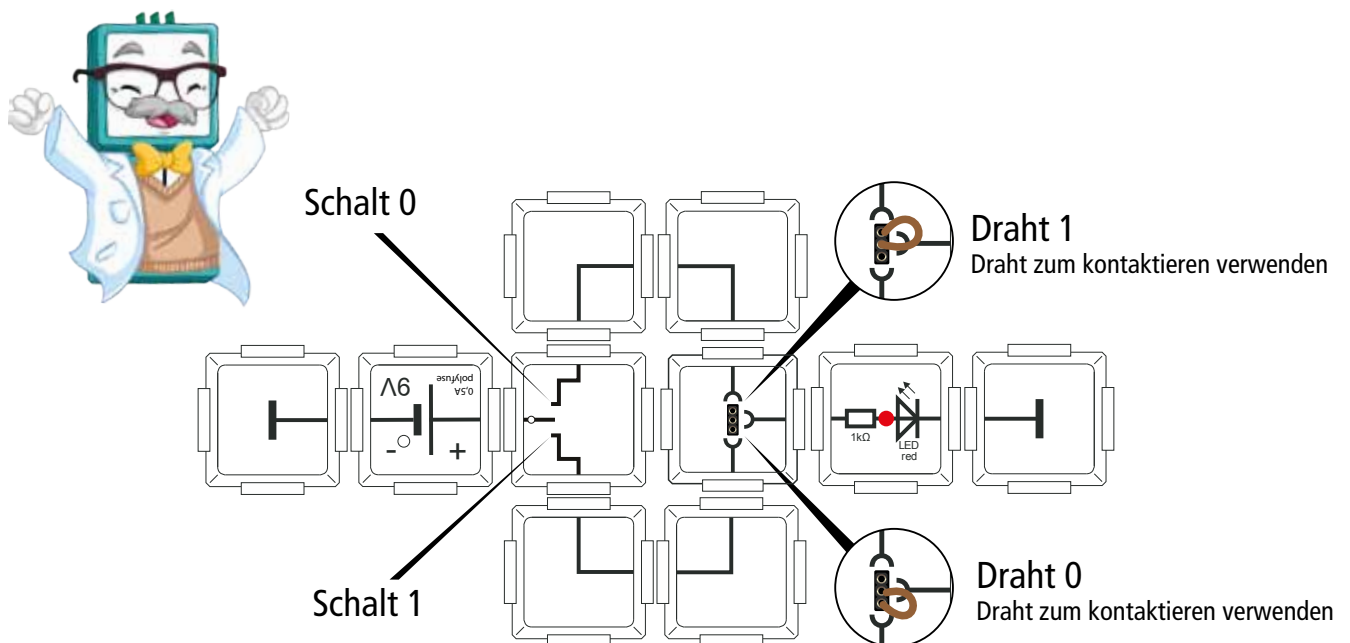


Abb. 18: Exklusiv-ODER-Schaltung als Wechselschaltung

Der Digitaltechniker kann die Exklusiv-ODER-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Umschalter	Drahtbrücke	Ausgang (LED)
Schalt 0 (oben ein)	Draht 0 (unten ein)	0
Schalt 0 (oben ein)	Draht 1 (oben ein)	1
Schalt 1 (unten ein)	Draht 0 (unten ein)	1
Schalt 1 (unten ein)	Draht 1 (oben ein)	0

Die rote LED leuchtet nur in der Schalterstellung, die in der zweiten und dritten Zeile der Tabelle dargestellt ist. D. h. sowohl Umschalter als auch Drahtbrücke müssen sich entweder in Position "Schalt 0" und "Draht 1" oder in Position "Schalt 1" und "Draht 0" befinden, damit die LED leuchtet.

5.3 Der Widerstand

Georg Simon Ohm hat im Jahre 1826 den Widerstand als Zusammenhang von Spannung und Strom in elektrischen Leitern formuliert, das sog. ohm'sche Gesetz war geboren. Ihm zu Ehren wurde die Einheit für den elektrischen Widerstand als Ohm (Symbol Ω) festgelegt.

Schon beim ersten Betrieb einer Leuchtdiode haben wir einen Widerstand (im LED-Brick) eingesetzt. Im Gegensatz zu Metallen, die einen recht kleinen Widerstand haben, enthält ein solches Widerstandsbau-element ein Material, das einen höheren Widerstand hat (z. B. eine sehr dünne Kohleschicht). Solche Widerstands-Bauelemente verringern also den elektrischen Stromfluss und sind für elektronische Schaltungen unerlässlich. Durch einen Widerstand kann der Stromfluss reduziert und eine gewünschte Spannung eingestellt werden. Er ist also eine gewünschte und benötigte Eigenschaft eines elektronischen Bauteiles, anders als es der Name vermuten lässt. Isolator und Supraleiter sind die Extrembeispiele für einen elektrischen Widerstand. Der ideale Isolator hat einen unendlich hohen, der perfekte Leiter (sog. Supraleiter) keinen Widerstand. Hätte ein Stromkreis keinen Widerstand, wäre der in ihm fließende Strom unendlich hoch, was in der Praxis 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 vergleichen. 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 gleichen Zeit durch das Rohr.

Der Wasserdruckunterschied zwischen Eingang und Ausgang des Rohres ist analog zum Spannungsabfall an einem elektrischen Widerstand. Die Eigenschaften Spannung (U), Strom (I) und Widerstand (R) stehen in einem engen Zusammenhang. Genau diese Proportionalität von Strom (Wassermenge) und Spannung (Wasserdruck) und der Abhängigkeit des elektrischen Widerstands von Länge und Querschnittsfläche (Querschnittsfläche des Rohres) eines metallischen Leiters hat Georg Simon Ohm entdeckt. Man nennt das heute ohm'sches Gesetz.

Es gilt die Beziehung: Spannung (U) ist gleich dem Produkt aus Strom (I) und Widerstand (R). In Formelschreibweise mit Umformungen sieht das so aus:

$$U = R \times I \Rightarrow I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I}$$

Unter Anwendung der mittleren Formel errechnet sich beispielhaft für einen Widerstand von $1000\ \Omega$ und einer Spannung von 9V am Widerstand ein Stromfluss von $0,009\text{A}$ (entspricht 9mA).

5.3.1 LED-Vorwiderstand berechnen

In unseren Schaltungsbeispielen verwenden wir häufig LEDs, die bekanntlich einen relativ kleinen Stromverbrauch haben. Die maximal zulässige Stromaufnahme von LEDs I_{LED} oder I_F (engl. forward current) reicht von etwa 2 mA für Low-Current-LEDs bis 20 mA für Standard-LEDs (die aber in der Regel bei 10 mA bereits eine ausreichende Leuchtkraft erreichen). Hochleistungs-LEDs für moderne Leuchtmittel benötigen noch einen wesentlich höheren Strom, sollen aber hier nicht näher betrachtet werden. Die Durchfluss-Spannung U_{LED} oder U_F (engl. forward voltage) hängt dabei vom Halbleitermaterial ab, das wiederum die Lichtfarbe bestimmt. Für die im Advanced-Set enthaltenen LEDs gilt:

Spezifikation	LED rot	LED grün	LED gelb	LED blau
Durchfluss-Spannung U_{LED}	1,5V	1,8V	1,7V	2,7V
Durchfluss-Strom I_{LED}	ca. 10 mA	ca. 10 mA	ca. 10 mA	ca. 10 mA
I_{LED} berechnet mit $R_V = 1\text{ k}\Omega$	ca. 7,5 mA	ca. 7,2 mA	ca. 7,3 mA	ca. 6,3 mA

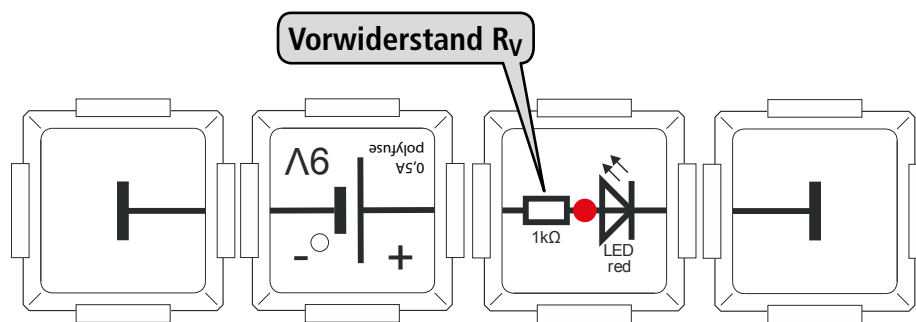


Abb. 19: LED mit Vorwiderstand

Beispielrechnung für rote LED unter Annahme einer Durchfluss-Spannung von $U_F = 1,5\text{ V}$ und einem Durchfluss-Strom von $I_F = 10\text{ mA}$, der für eine ausreichende Leuchtkraft sorgt:

$$R_V = \frac{U_{Batt} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{9\text{ V} - 1,5\text{ V}}{0,01\text{ A}} = 750\ \Omega$$

Das Ergebnis von $R_V = 750\ \Omega$ zeigt, dass der auf den LED-Bricks verbaute Vorwiderstand von $1\text{ k}\Omega$ sehr großzügig und damit sicher dimensioniert ist. Wir vermuten also einen geringeren Strom, da der tatsächliche Widerstandswert unseren berechneten Wert von $750\ \Omega$ um ein Drittel übersteigt. Wir überprüfen diese These durch Rechnung, indem wir unsere Formel nach I_{LED} auflösen:

$$I_{LED} = \frac{U_{Batt} - U_{LED}}{R_V} = \frac{9\text{ V} - 1,5\text{ V}}{1000\ \Omega} = 0,0075\text{ A} = 7,5\text{ mA}$$

Das Ergebnis von $I_{LED} = 7,5\text{ mA}$ zeigt, dass der Vorwiderstand mit $1\text{ k}\Omega$ relativ groß gewählt wurde. Vorteil ist, dass die (Batterie-)Versorgung nicht so stark belastet wird und eine sehr geringe Erwärmung.

5.3.2 Widerstand variieren

Durch zusätzlichen Einbau von im Advanced Set enthaltenen Widerstands-Bricks mit den Werten $1\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$ und $100\text{ k}\Omega$ reduzieren wir den Stromfluss noch weiter. Da die Versorgungsspannung (9 V) gleich bleibt, wird die Leuchtkraft der LED reduziert. In unserer Beispiel-Schaltung sind die Widerstände wesentlich größer, was bei gleicher Spannung einen um das Vielfache kleineren Stromfluss zur Folge hat.

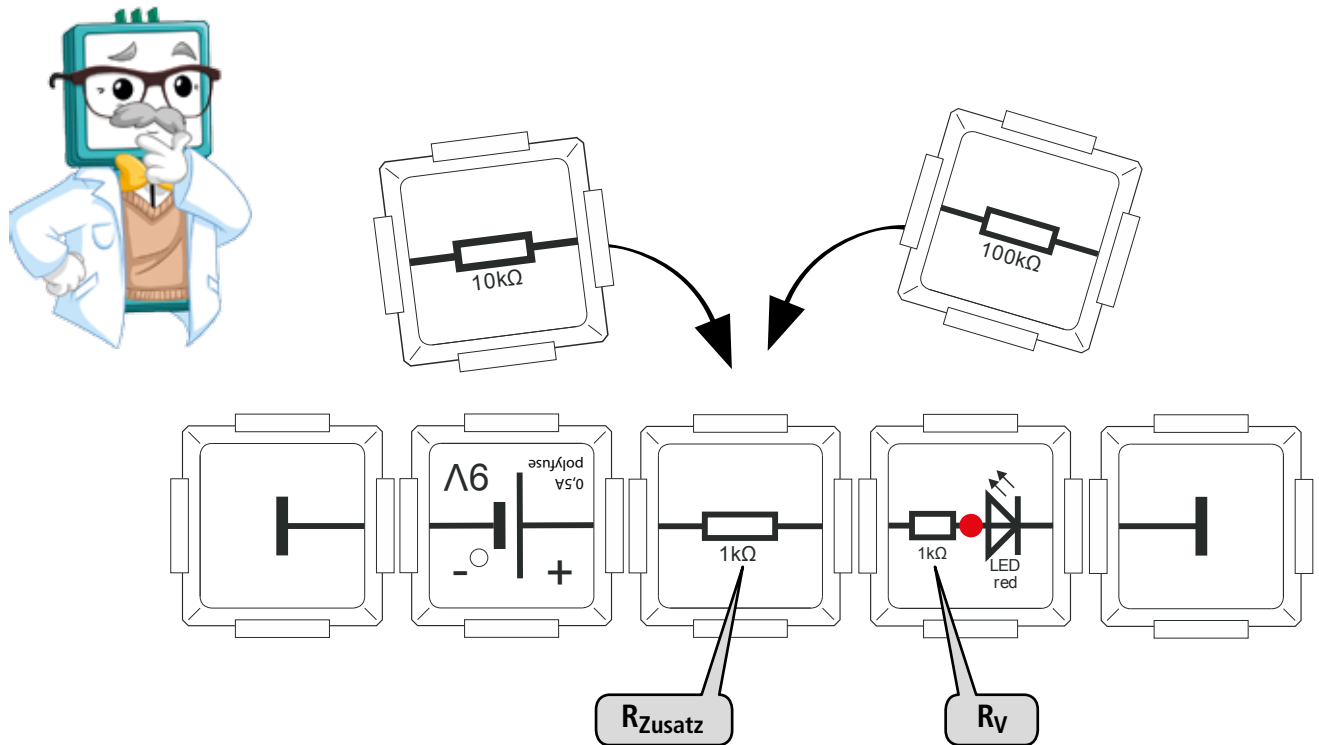


Abb. 20: LED-Vorwiderstand variieren

Wird der Wert des eingesetzten Widerstands-Bricks nacheinander von $1\text{ k}\Omega$ über $10\text{ k}\Omega$ bis $100\text{ k}\Omega$ gesteigert, verringert sich der Stromfluss wie folgt:

$$I_{LED_1k} = \frac{U_{Batt} - U_{LED}}{R_{Zusatz} + R_V} = \frac{9\text{ V} - 1,5\text{ V}}{1\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega} = 3,75\text{ mA}$$

$$I_{LED_10k} = \frac{9\text{ V} - 1,5\text{ V}}{10\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega} = 0,68\text{ mA}$$

$$I_{LED_100k} = \frac{9\text{ V} - 1,5\text{ V}}{100\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega} = 0,0748\text{ mA} = 74,8\text{ }\mu\text{A}$$

Beim Vergleich der Ströme sieht man, dass eine Verdoppelung des Gesamtwiderstands ($R_{Zusatz} + R_V$) zu einer Halbierung des Stroms führt. Bei Erhöhung des Widerstands um etwa den Faktor 100 sinkt der Strom umgekehrt proportional auf nur noch $74,8\text{ }\mu\text{A}$, das ist etwa ein 75 Millionstel-Ampere. Es leuchtet ein, dass mit steigendem Widerstand die Helligkeit der LED abnimmt.

5.3.3 Serienschaltung

Wenn in einem Stromkreis die Bauteile so angeordnet werden, dass durch alle ein und derselbe Strom fließt, nennt man eine Serien- oder Reihenschaltung. In diesem Sinne wird auch der Begriff Serienschaltung für die Hintereinanderschaltung von zwei oder mehreren Widerständen verwendet. Wir bauen jetzt eine Serienschaltung aus zwei $100.000\ \Omega$ ($100\text{k}\Omega$) Widerständen. Um die Auswirkungen besser verstehen zu können, bauen wir noch einen Taster ein.

Hält man den Taster gedrückt, wird Widerstand R_2 überbrückt, sodass der Stromfluss ausschließlich durch den ersten Widerstand begrenzt wird. Die Helligkeit der LED nimmt zu, da der Gesamtwiderstandswert kleiner wird. Der Strom fließt jetzt ausschließlich über R_1 und den Taster, dessen Widerstand gegen Null geht. Man kann auch sagen, der Widerstand wird kurzgeschlossen. Das heißt aber nicht, dass der gesamte Stromkreis einen Kurzschluss erfährt.

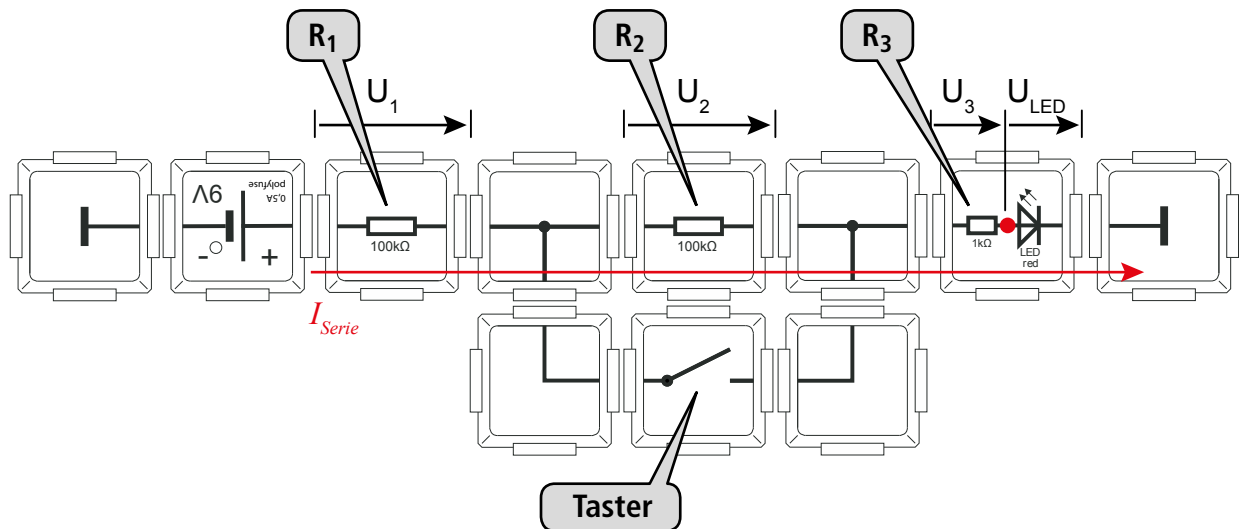


Abb. 21: Widerstände in Reihenschaltung

Um den Strom durch die LED bei drei Widerständen in Reihe zu berechnen, sehen wir uns mal die Spannungen und Ströme an den Widerständen an. Der Stromfluss ist durch alle drei identisch. Die Spannungsabfälle an den einzelnen Widerständen einer Reihenschaltung addieren sich. Also die Spannung U_1 am Widerstand R_1 , die Spannung U_2 am Widerstand R_2 , die Spannung U_3 an R_3 und die Spannung am LED – wir nennen sie U_{LED} – addieren sich zu 9 Volt. Es gilt also: $9\text{ Volt} = U_1 + U_2 + U_3 + U_{LED}$. Daher muss der Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung die Summe aller Einzelwiderstände sein. Den Widerstand der LED nennen wir R_{LED} .

$$R_{Ges} = R_1 + R_2 + R_3 + R_{LED}$$

Allgemein gilt folgende Formel für eine Serienschaltung:

$$R_{Ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad \text{der Mathematiker schreibt dafür auch} \quad \sum_{i=1}^n R_i$$



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

- Taster nicht gedrückt: $R_{Ges} = 100.000\ \Omega + 100.000\ \Omega + 1.000\ \Omega = 201.000\ \Omega$
- Taster gedrückt: $R_{Ges} = 101.000\ \Omega$

Hinweis: Der Innenwiderstand R_{LED} wird hier nicht einberechnet. In der Praxis ergibt er sich aus dem Spannungsabfall an der LED U_{LED} geteilt durch den Gesamtstrom I_{Serie} .

$$R_{LED} = \frac{9\text{ V} - (U_1 + U_2 + U_3)}{I_{Serie}} = \frac{U_{LED}}{I_{Serie}}$$

5.3.4 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. Wenn man den LED-Vorwiderstand hinzurechnet ist dies in unserem folgenden Beispiel der Fall. Wir bezeichnen diesen Versuch trotzdem als Parallelschaltung, da hier nur der Stromfluss durch die nebeneinanderliegenden Widerstände untersucht werden soll. Die Beobachtung kann an der Helligkeit 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 gleich schwierige Strompfade um zur LED zu gelangen. Der Gesamtstrom durch die LED addiert sich aus den Teilströmen durch die beiden $100\text{k}\Omega$ Widerstände. Da die Spannung an beiden $100\text{k}\Omega$ Widerständen die gleiche ist, der Gesamtstrom aber das Doppelte beträgt, folgt für den Gesamtwiderstand der beiden parallelen Widerstände, dass dieser genau die Hälfte, nämlich $50\text{k}\Omega$ muss. Sobald der Taster betätigt wird, halbiert sich also der Gesamtwiderstand der dann parallel liegenden Widerstände von $100\text{k}\Omega$ auf $50\text{k}\Omega$, die Helligkeit der LED nimmt zu.

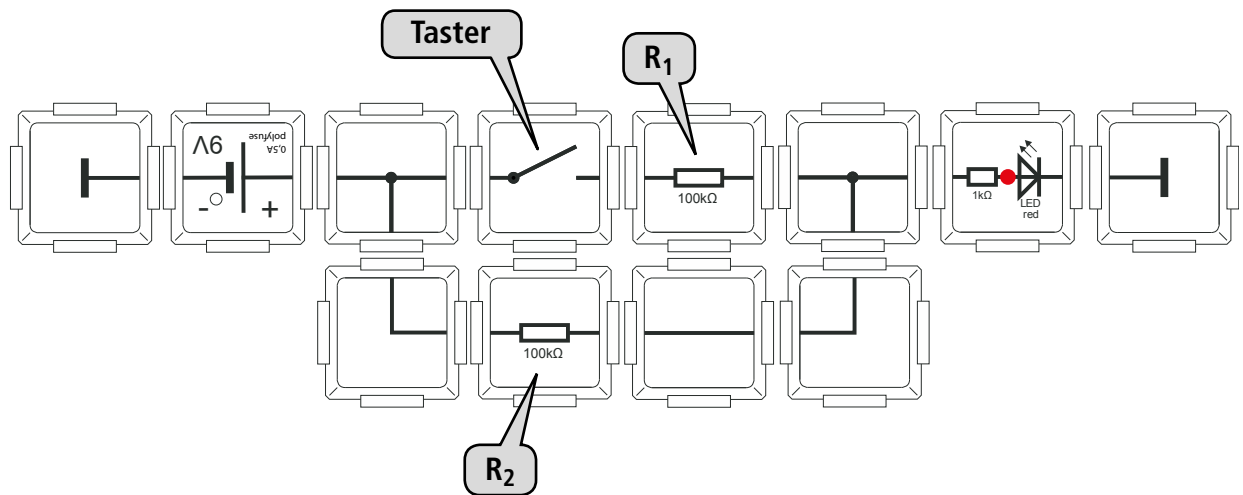


Abb. 22: Widerstände in Parallelschaltung

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

$$\frac{1}{R_{Ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \text{durch Umformung erhält man } R_{ges} = \frac{R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}$$

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:

$$R_{ges} = \frac{100.000 \Omega \times 100.000 \Omega}{100.000 \Omega + 100.000 \Omega} = 50.000 \Omega$$

Der Gesamtwiderstand unserer Parallelschaltung beträgt 50.000Ω ($50\text{k}\Omega$). Ohne Betätigung des Tasters fällt ein Pfad der Parallelschaltung aus, dies bedeutet, dass der Gesamtwiderstand in diesem Fall mit 100.000Ω ($100\text{k}\Omega$) doppelt so groß ist.

5.3.5 Potentiometer als Spannungsteiler

Das Potentiometer oder kurz Poti genannt, ist ein veränderbarer Widerstand. Neben den beiden Anschlüssen eines gewöhnlichen Widerstands, gibt es hier einen dritten Kontakt (Schleifer). Er kann über eine Drehachse entlang der Widerstandsbahn bewegt werden. Somit kann man über den Schleif-Kontakt (Anschluss mit Pfeil) einen stufenlos einstellbaren Widerstandswert zwischen 0Ω und dem spezifizierten Maximalwert (hier $10\text{k}\Omega$) realisieren.

Es ist unbedingt zu beachten, dass der Schleif-Kontakt nicht direkt an den Pluspol der Spannungsquelle und nicht direkt an den Masse-Brick angeschlossen wird. In beiden 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 Schleif-Kontaktes, proportional von 0 bis 9 Volt aufteilt. Die maximale Leistung des Potis darf 100mW nicht übersteigen.

In dem folgenden Versuchsaufbau verwenden wir den Potentiometer-Brick als Spannungsteiler. Achte darauf, dass der LED-Brick wie abgebildet mit dem Schleif-Kontakt des Potis verbunden ist.

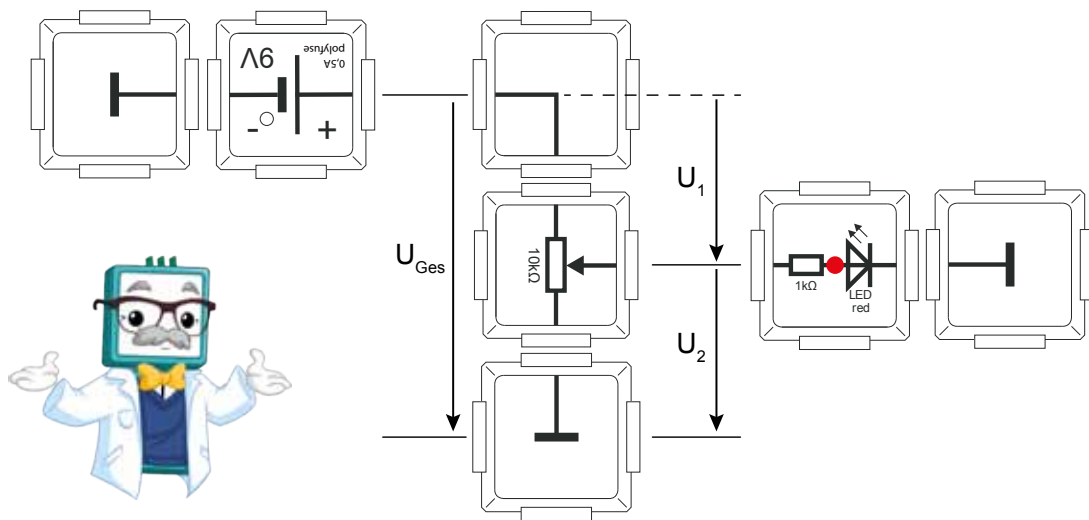


Abb. 23: Potentiometer

Die Intensität unserer LED ist via Spannungsteiler stufenlos regelbar. Das heißt...

- Drehknopf ganz nach links gestellt: an der Anode des LED-Bricks liegen 9V an und die LED leuchtet mit höchster Intensität.
- Drehknopf ganz nach rechts gestellt: an der LED liegt sowohl an der Anode als auch an der Kathode Masse, da nun auch der Schleif-Kontakt auf Masse liegt. Die LED erlischt, da jetzt 0 Volt anliegen.
- Mittelstellung: an der LED liegt die halbe Versorgungsspannung von etwa 4,5 Volt an (siehe folgende Beispielrechnung). Die LED leuchtet gedimmt.

Für die Berechnung des Spannungsteilers gilt, mit $R_{Ges} = R_{Poti} = 10\text{k}\Omega$:

$$\frac{U_{Ges}}{U_2} = \frac{R_{Ges}}{R_2} = \frac{9\text{V}}{4,5\text{V}} = \frac{10\text{k}\Omega}{R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{4,5\text{V} \times 10\text{k}\Omega}{9\text{V}} = 5\text{k}\Omega$$

Genau betrachtet, liegt hier eine Parallelschaltung von LED-Brick und Potentiometer-Brick mit variablem Widerstandsverhältnis vor. D. h. der Stromfluss hat zwei Alternativen, um vom Plus-Pol der Spannungsquelle zum Minus-Pol zu gelangen. Je nach Potentiometer-Stellung teilt sich der Strom auf. Durch das Potentiometer fließt permanent Strom und parallel dazu durch die LED. Der Stromfluss durch den unteren Widerstandsbereich des Potis variiert zwischen annähernd 0 Ampere (Poti links am Anschlag) und $I_{Poti} = 9\text{V}/R_{Poti} = 0,9\text{mA}$ (Poti rechts am Anschlag). So wie das Potentiometer im Schaltsymbol wie ein geteilter Widerstand aussieht, so wird auch die Spannung geteilt.

5.3.6 Schwellenspannung

Die Schwellenspannung – oder auch Durchlass-Spannung genannt – 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-Bauelemente Verwendung. Die Schwellenspannung beschreibt den Wert der angelegten Spannung der überschritten werden muss, um beispielsweise einen Halbleiter zu betreiben. Bei einer LED sprechen wir von der Schwellenspannung ab der sie zum Leuchten beginnt.

In dem folgenden Versuch bauen wir eine Schaltung auf, in der wir die unterschiedlichen Schwellenspannungen von Leuchtdioden beobachten können. Wir regeln die Spannung 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. Wir beobachten, dass als erstes die rote LED und bei fortschreitendem Drehvorgang die weiteren LEDs zu leuchten beginnen. Das Potentiometer fungiert hier, wie auch im vorangegangenen Versuch, als Spannungsteiler. Auch hier ist unbedingt darauf zu achten, dass der Schleifkontakt 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 links am Anschlag, liegt die höchstmögliche Spannung von 9 Volt an und die Intensität der Leuchtdioden ist am höchsten. Steht das Poti rechts am Anschlag, liegt an den LEDs keine Spannung an – alle LEDs sind aus.

Für Niedrigstrom-LEDs (ca. 2 mA) liegt die Betriebsspannung, in Abhängigkeit von der Farbe der im Set verwendeten LEDs, bei den folgenden Werten:

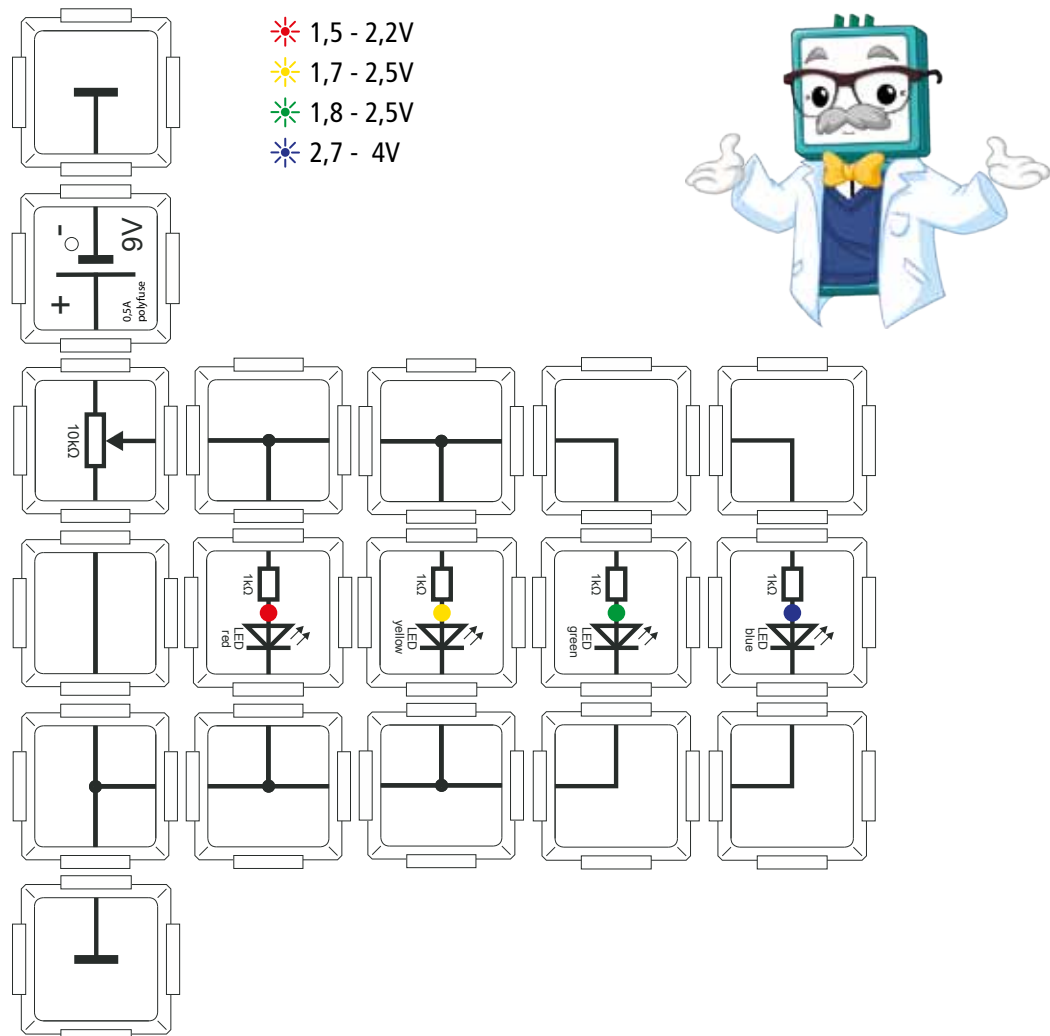


Abb. 24: Schwellenspannung verschiedenfarbiger LEDs

5.3.7 Lichtempfindlicher Widerstand

Unser LDR-Brick (LDR steht für engl. light dependent resistor) ist mit einem Photowiderstand bestückt, der seinen Widerstandswert in Abhängigkeit von der eingestrahlenen Lichtintensität verändert. Die Ursache für die Widerstandsänderung ist also nicht mechanischer Natur, wie z. B. beim Potentiometer, sondern hängt von der elektromagnetischen Größe „Licht“ ab.

Wird der LDR-Brick vom Licht bestrahlt, steigt seine Leitfähigkeit. Der Widerstandswert wird kleiner (wenige 100Ω) und der Stromfluss durch den LDR wird größer. Bei Dunkelheit erreicht der Widerstand einen Wert von mehreren $100k\Omega$. Die Veränderung zwischen minimalem und maximalem Widerstandswert beträgt ungefähr das Tausendfache. In dem folgenden Experiment leuchtet die rote LED nur dann, wenn der LDR-Brick von Licht bestrahlt wird. Bei Verdunkelung des LDR erlischt die LED. Der Effekt hat eine kurze Verzögerungszeit. Der Versuch besteht, wie in folgender Abbildung dargestellt, aus einer reinen Serienschaltung von Stromversorgung, LDR-Brick und LED-Brick.

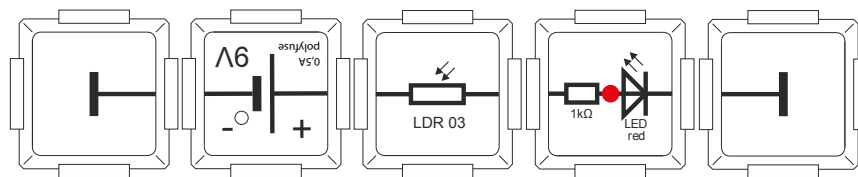


Abb. 25: Lichtempfindlicher Widerstand

Im Alltag macht es wenig Sinn, wenn eine Lichtquelle zusätzlich Licht spendet, obwohl die Umgebung hell erleuchtet ist, wie in obiger Schaltung. Oft ist jedoch genau das Gegenteil erwünscht: das Licht soll leuchten, wenn es dunkel ist. Das Verhalten des LDR steht zunächst im Widerspruch zu dieser Anforderung. Mit einem kleinen Schaltungstrick kann man jedoch das Verhalten von LDR und LED umkehren. Hierfür bauen wir eine Verzweigung aus Parallel- und Serienschaltung. Der Widerstands-Brick und der LDR-Brick sind in Serie geschaltet. Der LED-Brick wird zwischen Widerstand und LDR abgegriffen und liegt damit parallel zum LDR. Verdunkelt man jetzt den LDR, erhöht sich dessen Widerstand etwa um den Faktor 1000, sodass der Stromfluss in diesem Pfad nur noch sehr klein ist. Der Strom „sucht“ sich eine bessere Alternative um den Masse zu erreichen und fließt daher größtenteils durch die LED. Die Leuchtdiode beginnt zu leuchten. Wird der LDR hingegen beleuchtet, ist der Spannungsabfall am $10k\Omega$ Widerstand so groß, dass die nötige Durchfluss-Spannung für den Betrieb der LED nicht mehr erreicht wird - die LED erlischt.

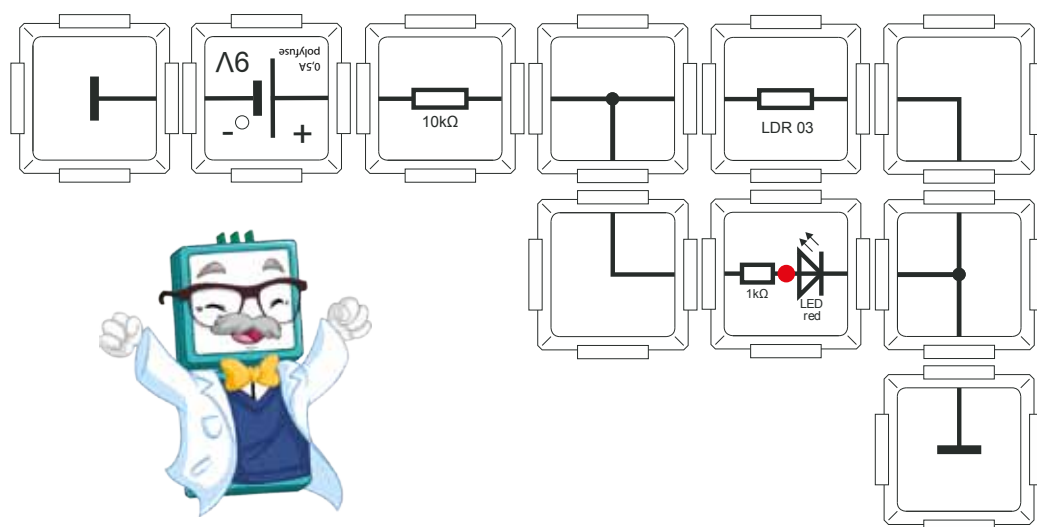


Abb. 26: Einfacher Dämmerungsschalter

5.4 Der Kondensator

5.4.1 Entladen eines 1 μF Kondensators mit LED beobachten

In der folgenden Schaltung wird ein Kondensator der Kapazität 1 μF geladen und wieder entladen. Zum Umschalten wird der Umschalter-Brick verwendet (Position oben: Laden, Position unten: Entladen). Die LED leuchtet in Position „Entladen“ kurz auf, bis der Kondensator darüber entladen ist. Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.

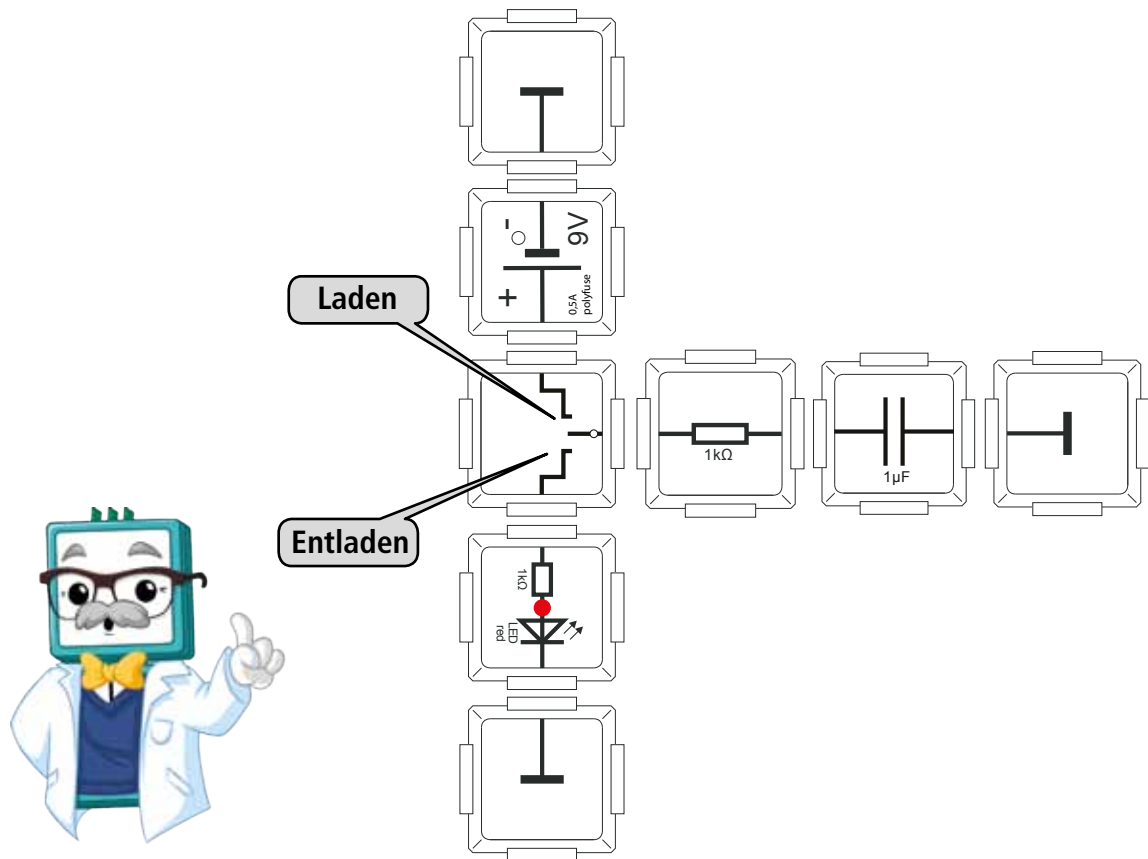


Abb. 27: Laden und Entladen eines 1 μF Kondensators

Die Energie, die dabei auf den Kondensator gebracht wird, ist sehr gering. Sie lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$E = \frac{1}{2} \times C \times U^2 = \frac{1}{2} \times 1 \mu\text{F} \times (9 \text{ V})^2 = 40,5 \mu\text{Ws} (\mu\text{J})$$

Die Lade- und Entladezeit wird durch eine Exponentialfunktion beschrieben. Somit ist die Zeit für das vollständige Laden bzw. Entladen theoretisch unendlich lang. Daher muss man sich für die Bestimmung der Lade- bzw. Entladezeit t auf einen gewissen Ladegrad beziehen. Wenn wir uns auf 63,2% Ladung bzw. 36,8% Entladung beziehen gilt näherungsweise folgende Formel für die Zeitkonstante:

$$t = \tau = R_C \times C = 1 \text{ k}\Omega \times 1 \mu\text{F} = 1 \text{ ms}$$

Die Zeitkonstante τ ist also das Produkt aus Widerstand (R_C) und Kapazität (C).

Soll die Zeit bestimmt werden, bei der der Kondensator zu ca. 99% aufgeladen bzw. bis auf 1% entladen ist, gilt für die Zeitkonstante: $t = 5\tau$.

5.4.2 Entladen eines 100 µF Kondensators mit LED beobachten

Dieser Versuchsaubau entspricht bis auf den Kondensator exakt dem aus Kap. 5.4.1. Ziel ist es wiederum den Kondensator (diesmal mit der Kapazität 100 µF) zu laden und zu entladen. Zum Umschalten wird der Umschalter-Brick verwendet (Position oben: Laden, Position unten: Entladen). Da der Kondensator hier die hundertfache Kapazität besitzt, leuchtet die LED nun länger als im vorangegangenen Beispiel. Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.

Beachte:

Hier wird ein gepolter, sog. Elektrolyt-Kondensator verwendet. Dies ist an dem aufgedruckten „+“-Symbol erkennbar. Beachte unbedingt die Polung wie in der Abbildung gezeigt, ansonsten kann es zur Zerstörung des Kondensators kommen!

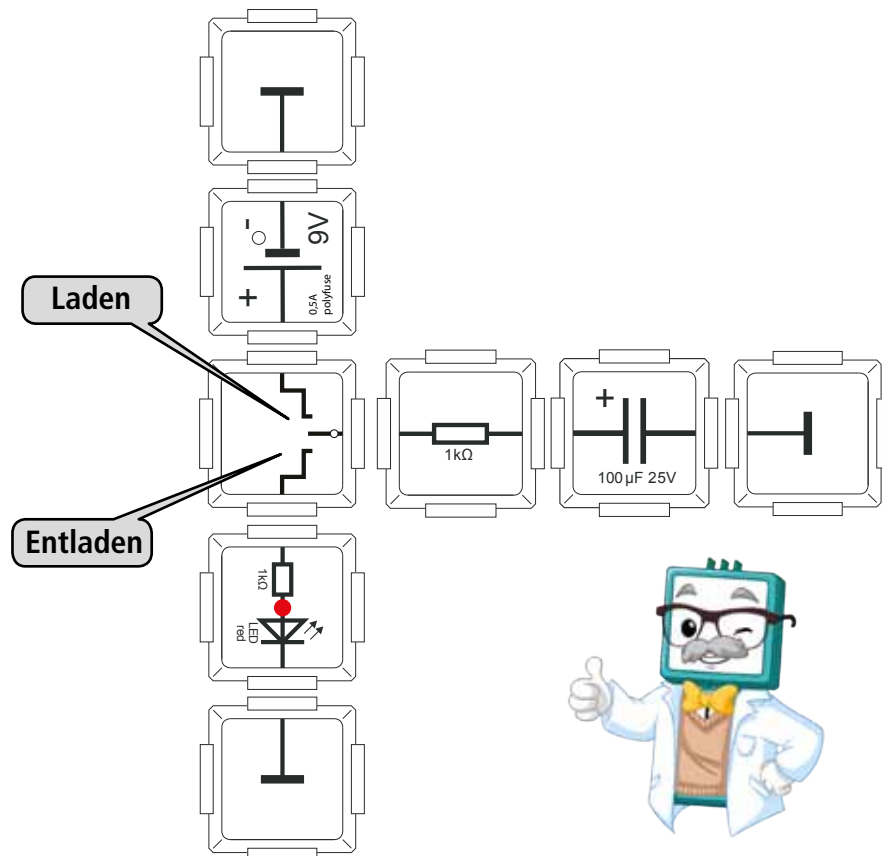


Abb. 28: Laden und Entladen mit einem 10 µF Kondensator

Die Energie, die dabei auf den Kondensator gebracht wird, ist um das Hundertfache größer als im letzten Versuch. Sie lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$E = \frac{1}{2} \times C \times U^2 = \frac{1}{2} \times 100 \mu F \times (9 V)^2 = 4,05 mWs (mJ)$$

Die Lade- und Entladezeit wird durch eine Exponentialfunktion beschrieben. Somit ist die Zeit für das vollständige Laden bzw. Entladen theoretisch unendlich lang. Daher muss man sich für die Bestimmung der Lade- bzw. Entladezeit t auf einen gewissen Ladegrad beziehen. Wenn wir uns auf 63,2% Ladung bzw. 36,8% Entladung beziehen gilt näherungsweise folgende Formel für die Zeitkonstante:

$$t = \tau = R_C \times C = 1 k\Omega \times 100 \mu F = 100 ms$$

Die Zeitkonstante τ ist hier das Produkt aus Widerstand (R_C) und Kapazität (C).

Soll die Zeit bestimmt werden, bei der der Kondensator zu ca. 99% aufgeladen bzw. bis auf 1% entladen ist, gilt für die Zeitkonstante: $t = 5\tau$.

5.4.3 Laden und Entladen eines Kondensators mit LEDs beobachten

In der letzten Schaltung hatten wir ja einen Umschalter mit den drei Stellungen: Mitte, Oben, Unten. Jetzt verwenden wir stattdessen einen Taster, das macht die Bedienung einfacher. Es gibt nur noch Drücken und Loslassen. Mit dem Drücken des Tasters entladen wir den Kondensator (er wurde sofort nach Anschliessen der Spannungsquelle bereits geladen). Beim Loslassen des Tasters wird der Kondensator wieder geladen.

Um den Lade-/Entladevorgang zu beobachten werden die antiparallel geschalteten LED-Bricks, wie in der Abbildung gezeigt, so in den Stromkreis eingebracht, dass sie mit dem $10\mu\text{F}$ -Kondensator und dem $1\text{k}\Omega$ -Widerstand in Serie liegen. Somit kann der Lade- bzw. Entladevorgang durch ein kurzes Aufleuchten der gelben bzw. roten LED veranschaulicht werden.

Beim Aufladen wird an der unteren T-Verzweigung, eine positive Spannung angelegt. Die gelbe LED leuchtet kurz auf, bis der Kondensator geladen ist und sein Widerstand im Gleichstromkreis unendlich hoch wird. Der Kondensator ist jetzt auf 9 Volt geladen. Und zwar liegt der Plus-Pol (man spricht auch von positivem Potential) der Kondensatorladung am oberen Anschluss und der Minus-Pol (auch negatives Potential genannt) am unteren. Schließt du jetzt die Verbindung gegen Masse durch das Betätigen des Tasters, wird der Plus-Pol der Kondensator-Ladung augenblicklich mit Masse verbunden. Somit kommt ein Stromfluss in die entgegengesetzte Richtung durch die rote LED zustande und sie leuchtet kurz auf bis der Kondensator entladen ist.

Wird der Taster in kurzer Folge gedrückt und wieder losgelassen, blinken die LEDs abwechselnd auf. Die $1\text{k}\Omega$ -Widerstände sind hier sehr wichtig, da sie einen Kurzschluss der Batterie verhindern.

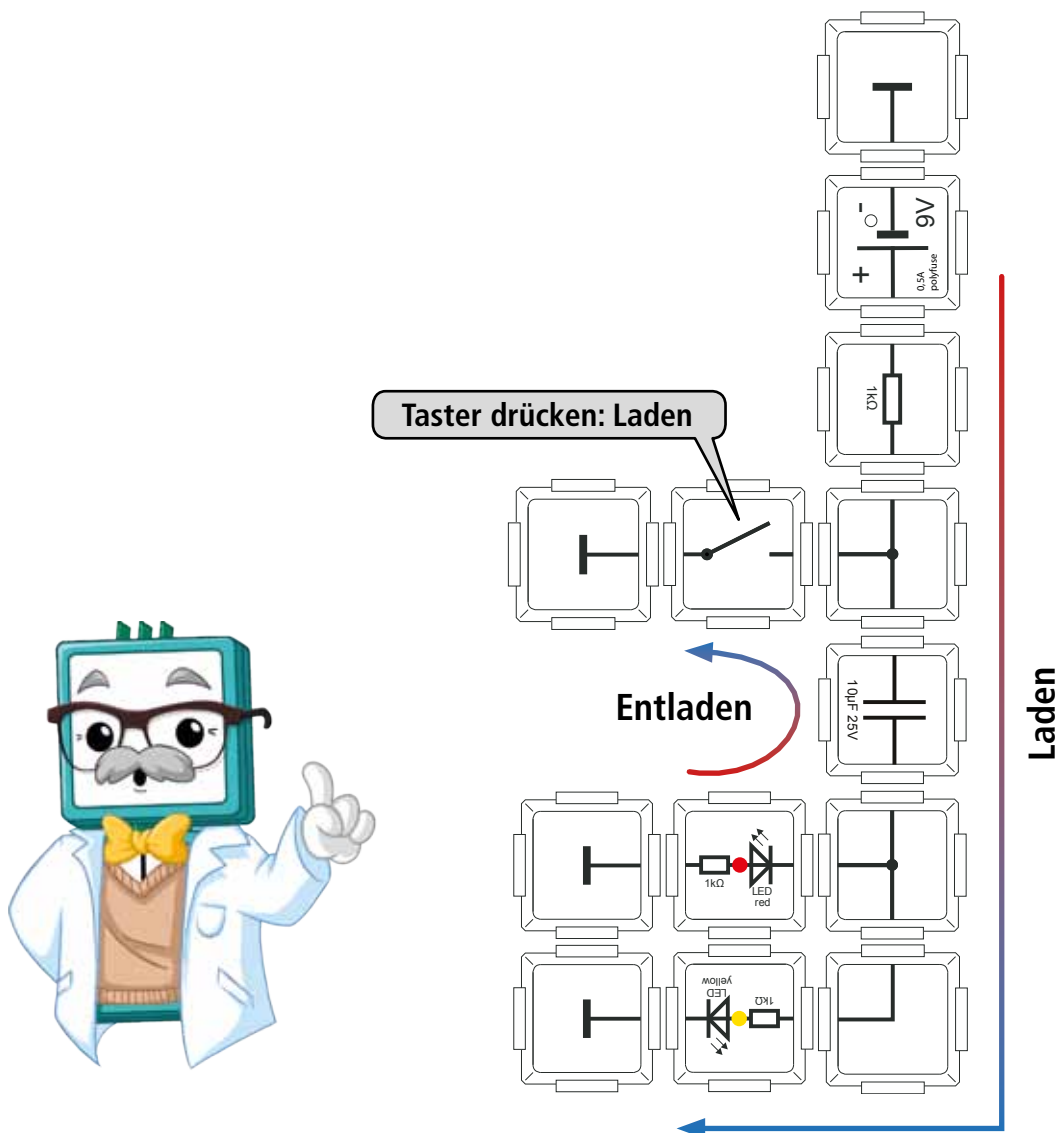


Abb. 29: Kondensator umladen

5.5 Die Spule

5.5.1 Entladen einer Spule mit LED beobachten

Eine Spule besitzt ähnliche Eigenschaften wie ein Kondensator. Auch sie kann Energie speichern, aber nicht, wie der Kondensator, mit Hilfe eines elektrischen Feldes, sondern in einem Magnetfeld. Daher kann der Lade- und Entladevorgang so ähnlich wie beim Kondensator beschrieben werden.

In der folgenden Schaltung wird eine Spule mit der Induktivität 10mH geladen und wieder entladen. Der Ladevorgang erfolgt durch drücken des Tasters und der Entladevorgang durch Öffnen. Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.

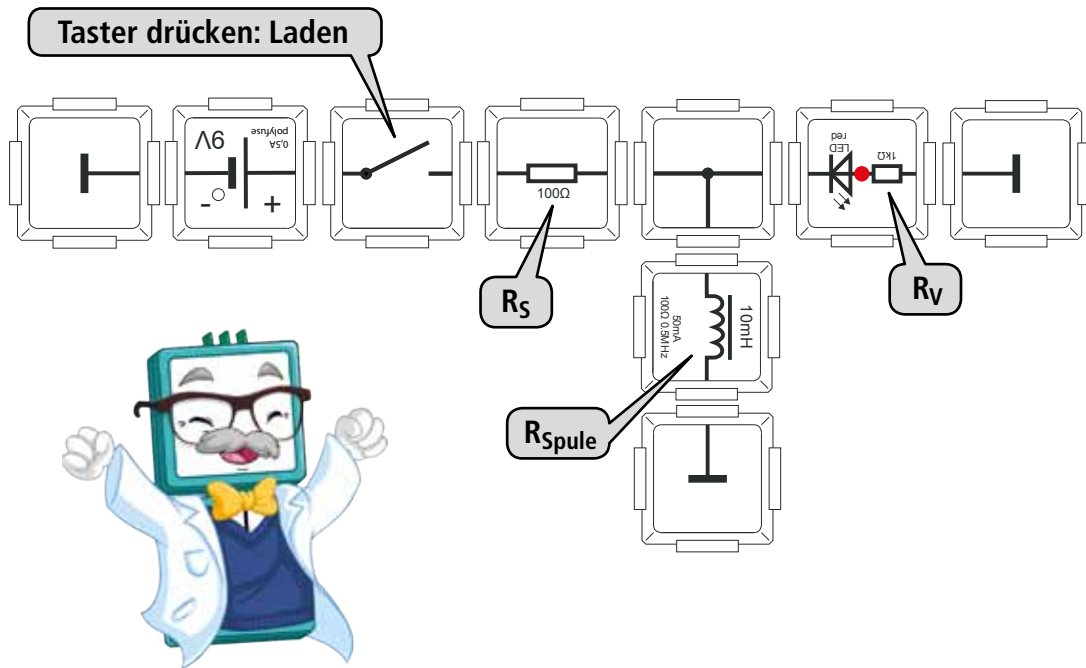


Abb. 30: Laden und Entladen einer Spule

Beim Schließen des Tasters bleibt die LED dunkel, da sie in Sperrrichtung gepolt ist. Gleichzeitig wird aber in der Spule ein magnetisches Feld aufgebaut und dort Energie gespeichert. Öffnet der Taster den Stromkreis wieder, versucht die Spule den Stromfluss aufrecht zu erhalten. Sie generiert für kurze Zeit eine Induktionsspannung. Somit kommt ein Stromfluss in Gegenrichtung zustande und die LED leuchtet kurz auf.

Die Induktions-Spannung wirkt einer schnellen Änderung des Magnetfeldes entgegen. Sie ist proportional zur Änderungsgeschwindigkeit des Magnetfeldes, das wiederum proportional zum Strom ist. Bei ausreichender Induktivität kann der Induktions-Spannungsimpuls z.B. bei schnellen Schaltvorgängen sehr hohe Spannungen erreichen.

Der Lade- und Entladevorgang einer Spule kann mathematisch – ähnlich wie beim Kondensator – mit einer Exponentialfunktion beschrieben werden. Es zeigt sich, dass im Gegensatz zum Kondensator, wo die Spannung das entscheidende Kriterium war, diesmal der Stromfluss ausschlaggebend ist. Beide Bauelemente verhalten sich sozusagen komplementär zueinander.

Für die Energie, die dabei auf die Spule gebracht wird, gilt folgende Formel:

$$E = \frac{1}{2} \times L \times I^2 = \frac{1}{2} \times L \times \left(\frac{9V}{R_S + R_{Spule}} \right)^2 = \frac{1}{2} \times 10 \text{ mH} \times \left(\frac{9V}{100 \Omega + 100 \Omega} \right)^2 = 10,1 \mu\text{Ws} (\mu\text{J})$$

Das ist eine sehr geringe Energie. Die Lade- und Entladezeit wird durch eine Exponentialfunktion beschrieben. Somit ist die Zeit für das vollständige Laden bzw. Entladen theoretisch unendlich. Daher muss man sich für die Bestimmung der Lade- bzw. Entladezeit t auf einen gewissen Ladegrad beziehen. Wenn wir 99% als aufgeladen und 1% als entladen festlegen, dann gilt näherungsweise folgende Formel für die Zeitkonstante:

$$t = 5\tau = 5 \times \frac{L}{R_{Spule} + R_V} = 5 \times \frac{10 \text{ mH}}{100 \Omega + 1000 \Omega} = 45,5 \mu\text{s}$$

Die Zeitkonstante τ ist hier der Quotient aus Induktivität (L) und der Summe aus ohmschem Widerstand der Spule ($R_{Spule} = 100 \Omega$) und dem LED-Vorwiderstand ($R_V = 1 \text{ k}\Omega$).

5.5.2 Laden und Entladen einer Spule mit zwei LEDs beobachten

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 abbaut. Um dem schnellen Abbau des Magnetfelds und dem Abbau des Stroms entgegenzuwirken erzeugt die Spule eine Induktionsspannung, die entgegengesetzt ist zur Polung, die vorher an der Spule bestanden hat. Beim Laden der Spule findet, mit dem Stromanstieg von 0 mA auf 45 mA, eine positive Stromänderung statt. Es wird also eine positive Induktionsspannung erzeugt. Diesen zeitlich begrenzten Ladevorgang sehen wir aber nicht wirklich, weil die rote LED beim Einschalten nicht nur kurz aufblitzt sondern durchgehend leuchtet, solange die Taste gedrückt gehalten wird.

Eine Spule mit großer Induktivität hat sehr viele Drahtwindungen und daher auch einen gewissen ohmschen Drahtwiderstand. Wir haben also nach dem Ladevorgang einen Spulenstrom, der durch die kombinierte Reihen- und Parallelschaltung aus 100Ω Widerstand, dem Spulenwiderstand, der LED und dem $1 \text{ k}\Omega$ Vorwiderstand bestimmt wird. Der Spannungsabfall an der Spule durch deren ohmschen Spulenwiderstand ist groß genug um die rote LED dauerhaft zum Leuchten zu bringen. Beim Öffnen des Stromkreises erzeugt die Spule mit der Änderung von 45 mA auf 0 mA eine Induktionsspannung in entgegengesetzter Richtung. Die rote LED geht aus, dafür blitzt die gelbe LED kurz auf. Der rote Pfeil zeigt die Stromrichtung bei geschlossenem Stromkreis, der gelbe Pfeil bei geöffnetem. Wenn wir den 100Ω Widerstand gegen $1 \text{ k}\Omega$ austauschen brennt die rote LED nicht durchgehend und man kann das Aufblitzen beim Ladevorgang sehen!

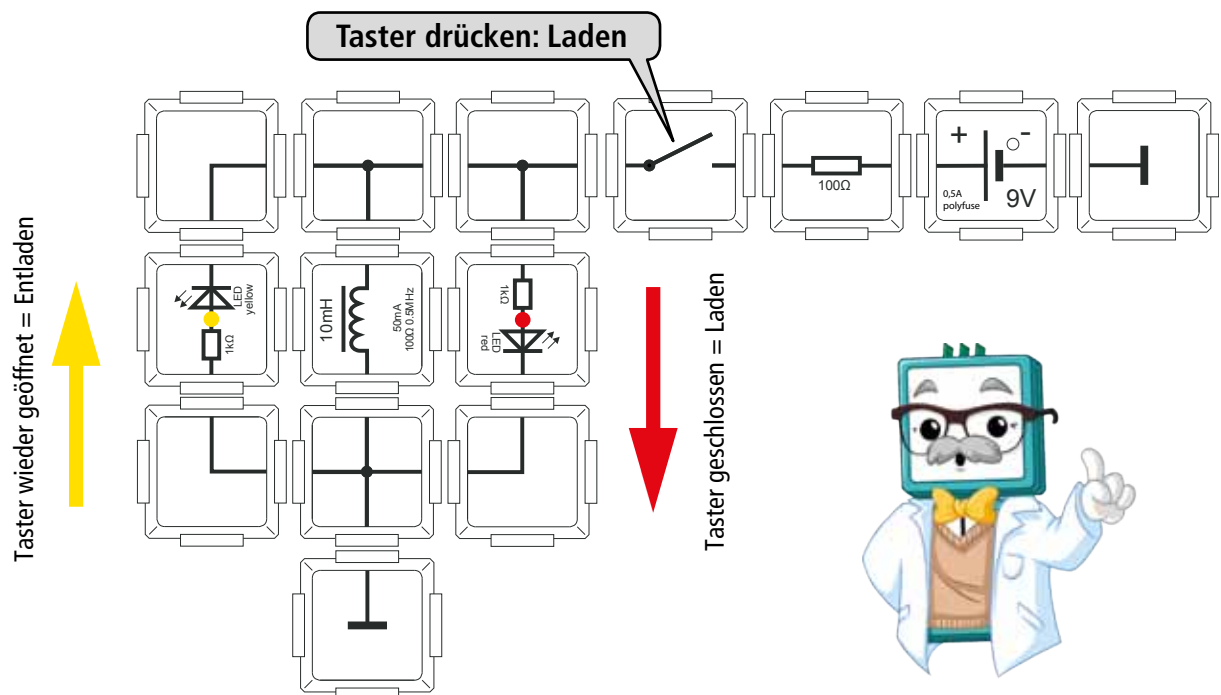


Abb. 31: Induktionsspannung mit zwei LEDs beobachten

5.5.3 Induktionsspannung mit Glimmlampe beobachten

Mit einer Spule von ausreichender großer Induktivität kann man sehr hohe Spannungen erzeugen – man spricht hier von der Induktionsspannung. Diese tritt immer dann auf, wenn der Stromfluss und damit der magnetische Fluss durch die Spule eine Änderung erfährt. Je schneller diese Änderung erfolgt, desto höher ist die induzierte Spannung. Dabei können Spannungen von mehreren 100V auftreten, allerdings nur für die sehr kurze Zeit des Schaltvorgangs. Auch hier gibt es eine Ähnlichkeit zum Kondensator: schließt man diesen kurz, kann für eine sehr kurze Zeit ein hoher Strom gemessen werden.

Die Menge an Energie in unserer Spule ist zwar so gering, dass sie kein Gesundheitsrisiko darstellt. Man sollte sich aber angewöhnen mit Spulen immer vorsichtig umzugehen, um keinen elektrischen Schlag zu erhalten. In diesem Versuch wird eine Glimmlampe, die eine hohe Betriebsspannung von ca. 60-70 Volt hat, kurz zum Aufleuchten gebracht, sobald der Taster geöffnet wird.

TIPP: Da die Energie aus der 10mH Spule sehr gering ist und damit auch die Leuchtkraft der Glimmlampe relativ schwach ist, empfehlen wir den Raum abzudunkeln.

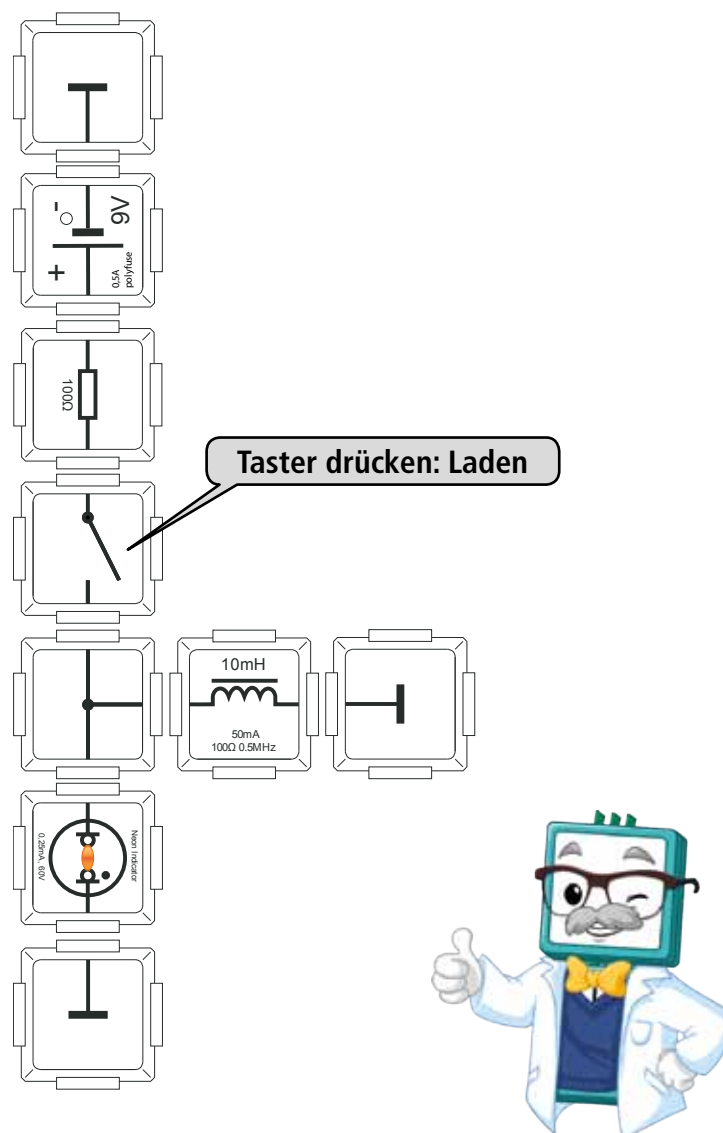


Abb. 32: Induktionsspannung an Glimmlampe

5.5.4 Energiespeicherung in Spule und Kondensator

Die folgende Schaltung demonstriert das Prinzip der Energiespeicherung mit den Bauteilen Spule und Kondensator und kann auch als Vorversuch zu Methoden des Energy-Harvesting betrachtet werden. Energy Harvesting (Energie-Ernten) bezeichnet die Energiegewinnung in kleinsten Mengen aus dem gewöhnlichen Lebensumfeld (wie kleine Bewegungen, Luftströmungen, Wärmeströme ...). Diese Methoden werden meist angewendet um den Anschluss an eine externe Stromversorgung zu vermeiden.

Im nun folgenden Versuchsaufbau wird die elektrische Energie von der Spule zu einem Kondensator transportiert. Die Ladung wird im ersten Schritt durch Schließen von Taster 1 auf die Spule gebracht und nach dessen Öffnen über die rote LED auf dem Kondensator gespeichert. Im nächsten Schritt wird durch Schließen von Taster 2 die gelbe LED kurz aufleuchten. 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:

Taster 1 muss mehrmals betätigt werden um den Kondensator soweit aufzuladen, dass die gelbe LED auch sichtbar leuchtet.

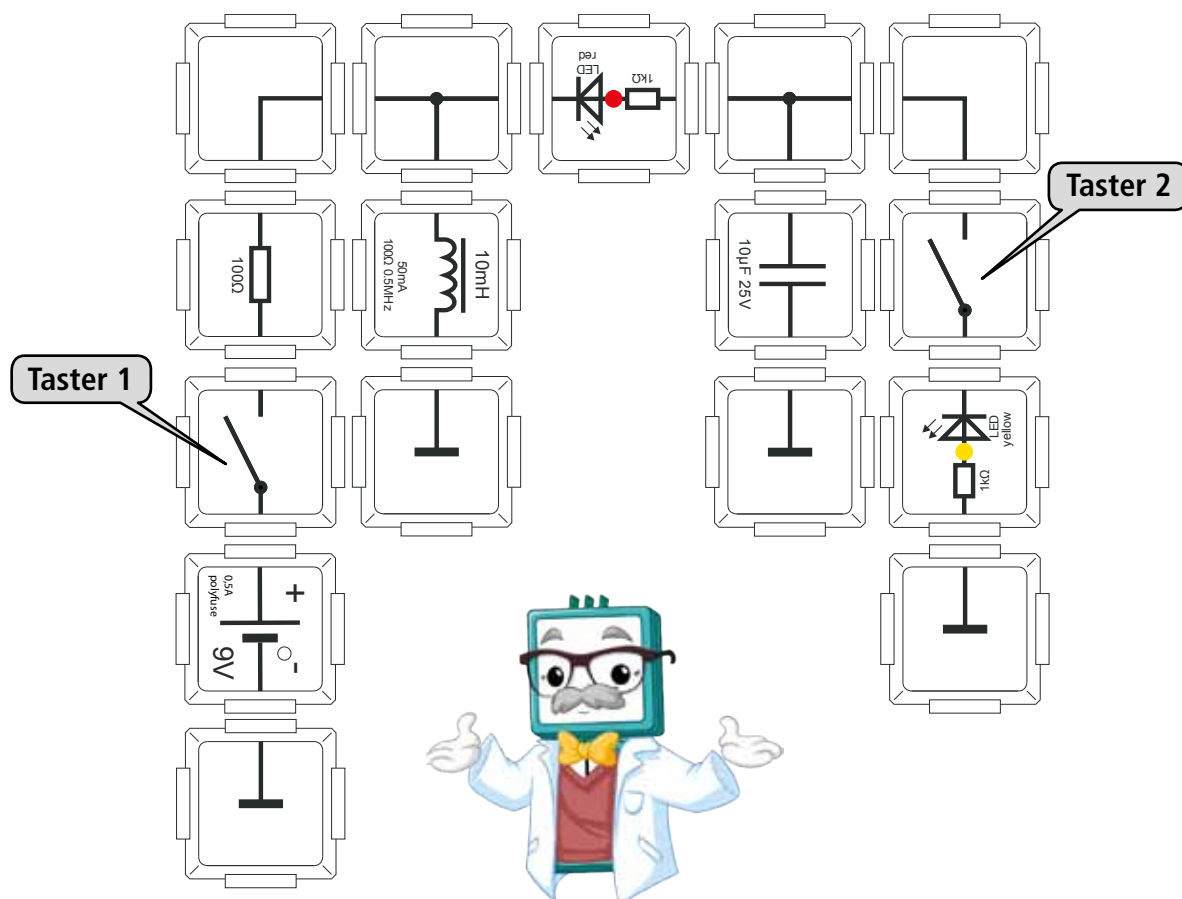


Abb. 33: Energiespeicherung in Spule und Kondensator

5.6 Der Transistor

5.6.1 Der Transistor als Schalter

Dieser Versuchsaufbau veranschaulicht die klassische Funktionsweise des Transistors als Schalter. Der Transistor ist ein Halbleiterbauelement, das einen Stromfluss zwischen dem Kollektor (C) und dem Emittor (E) ermöglicht, sobald an der Basis (B) eine Spannung anliegt. Der Basisstrom ist dabei um etwa ein Hundertstel geringer als der Kollektorstrom. Transistoren haben eine stromverstärkende Eigenschaft. Die Verstärkung wird über einen Vergleich des Basisstromes mit dem Kollektorstrom bestimmt. Die abgebildete Schaltung wird als Emitterschaltung bezeichnet, da sich Steuer- und Arbeitsstromkreis am Emittor treffen.

Transistoren werden nicht nur zum Schalten sondern auch zur Strom- oder Leistungsverstärkung für kontinuierliche und wechselnde Signale verwendet. Weil sie schnell sind, funktioniert das im Gegensatz zu Relais auch bei hohen Frequenzen sehr gut.

Wir verwenden hier einen NPN-Transistor vom Typ BC817, d. h. die Basis ist eine p-dotierte Schicht. Wird der Taster an der Basis geschlossen, leuchtet die rote LED. Der kleine Basisstrom (ca. $85 \mu\text{A}$) ermöglicht einen größeren Stromfluss (ca. 7 mA) zwischen Kollektor und Emittor, da mit dem Basisstrom Ladungsträger zwischen die beiden n-dotierten Schichten geschoben werden. Durch die leitend werdende Basis-Emittordiode wird (schmale Basis-Schicht) die nahe gelegene Kollektor-Basis-Sperrschicht ebenfalls leitend. Ein Elektron das im Steuerstromkreis vom Emittor zur Basis fließt, bewirkt, dass etwa 100 Elektronen aus dem Arbeitsstromkreis ebenfalls den Weg über die Emittor-Basis-Strecke und weiter über die Emittor-Kollektor Sperrschicht finden.

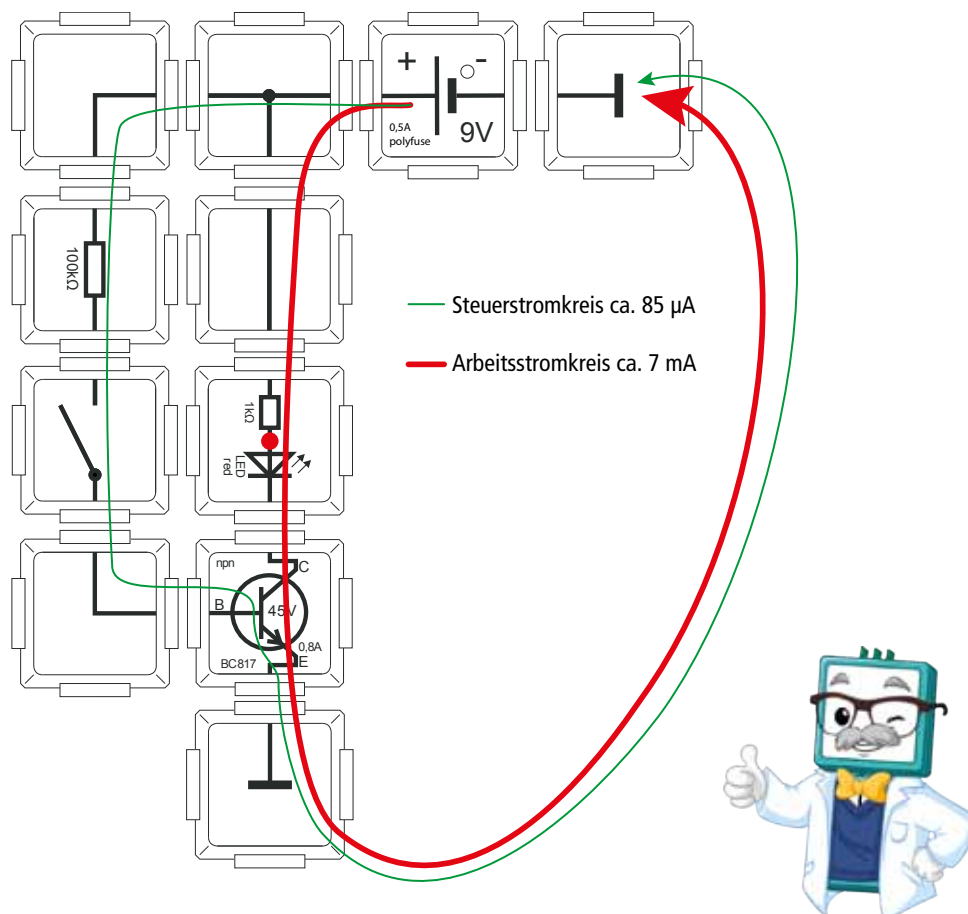


Abb. 34: Transistor als Schalter

Achtung:

Halbleiter sind empfindliche Bauteile. Falsche Polung, zu hoher Strom, Spannung oder Temperatur können sie zerstören. Besonders empfindlich gegen zu hohen Strom ist der Basisanschluss (B). Der Transistor wird zerstört, falls die Basis direkt – ohne ausreichende Strombegrenzung – mit der Batterie verbunden wird. Unter Umständen ist die Temperatur im Inneren des Bricks und im Inneren des Transistors deutlich höher als außen.

5.6.2 Resistiver Touch-Sensor mit Darlington-Schaltung

Die Darlingtonschaltung besteht aus zwei zusammengeschalteten 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 Einzel-Verstärkungen der verwendeten Transistoren. Um die rote LED zum Leuchten zu bringen, genügt an der Basis ein Stromfluss von nur wenigen Mikroampere an der Basis des linken Transistors.

Wenn wir mit dem Finger die beiden mittleren Hermaphrodit-Kontakte des gekennzeichneten Kreuzungs-Bricks aussen berühren, kann über den Hautwiderstand des Fingers ein kleiner Strom fließen. Aufgrund der niedrigen Spannung von 9 Volt ist der Strom schon so begrenzt, dass er nicht zu spüren ist. Zudem wird er durch den vorgeschalteten 100kΩ Widerstand noch weiter reduziert (bei Kurzschluss am Kreuzungsbrick weniger als $9V/100k\Omega = 90\mu A$). Die erreichte Stromverstärkung ist dennoch so groß, dass ein Anlegen der Fingerspitze genügt um die rote LED leuchten zu lassen.

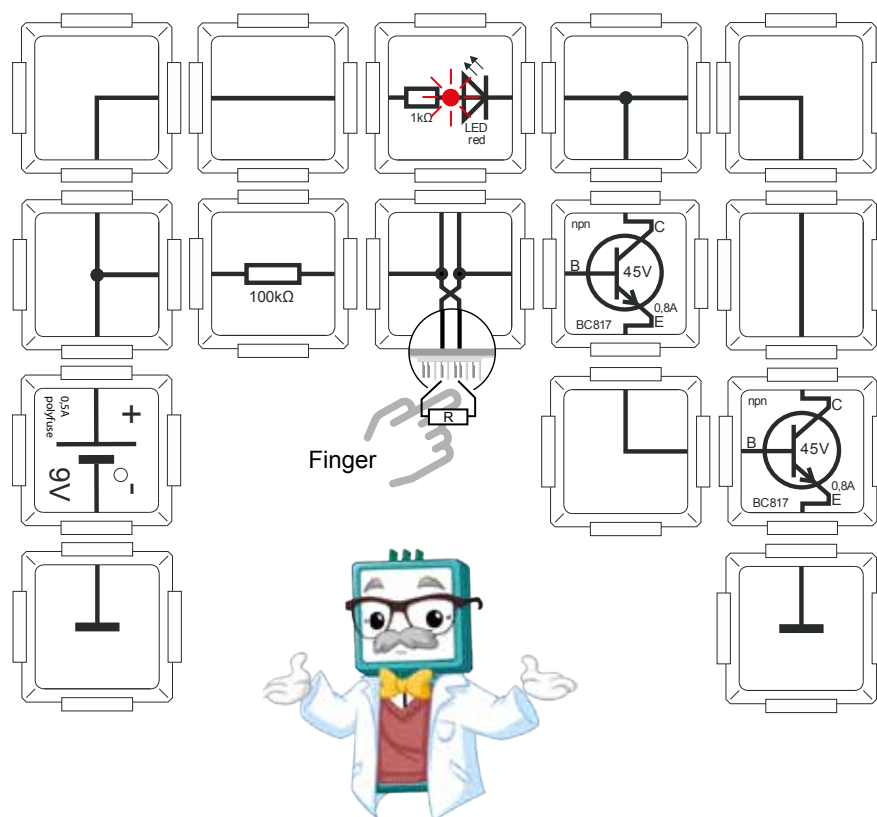


Abb. 35: Resistiver Touch-Sensor mit Darlington-Schaltung

Übrigens:

Sogar das Berühren des linken Kontaktes alleine (das ist der, welcher mit der Basis verbunden ist) reicht aus, um die LED zum Leuchten zu bringen. Woher kommt das? Sofern in der Nähe 230V Elektroinstallationen sind, sind im Raum auch elektrische Felder vorhanden, die unser elektrisch leitender Körper aufnimmt und in Form feiner Ströme bei Berührung an die Basis des Transistors abgibt. Da wir eine Wechselstrom-Installation mit 50 Hz haben, blinkt auch die LED mit 50 Hz. Allerdings kann unser Auge ein Blinken 50 mal pro Sekunde nicht wahrnehmen. Im Wald beispielsweise reicht das Berühren von nur einem Kontakt nicht, es sei denn es gibt andere Quellen von Elektromog.

5.6.3 Kapazitiver Touch-Sensor mit Darlington-Schaltung

Die Kaskade aus Schaltung 5.6.2 wird jetzt um einen dritten Transistor erweitert, sodass 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 abgeschlossenem Ladevorgang ein unendlich hoher Widerstand, sodass über ihn kein Stromfluss mehr erfolgen kann.

Was ist aber, wenn eine Wechselfspannung am Kondensator anliegt? Er wird im schnellen Wechsel von Lade- und Entladevorgang permanent „umgeladen“, sodass ein Wechselstromfluss über ihn möglich ist. Der „Wechselstrom-Widerstand“ eines Kondensators – auch Impedanz genannt – ist von seiner Kapazität und der Frequenz der Wechselfspannung abhängig. Je höher Frequenz und Kapazität sind, desto niedriger ist sein Widerstand.

Woher beziehen wir die Wechselfspannung im Finger? Das Thema hatten wir schon im letzten Kapitel, bei Berührung von nur einem Kontakt am Hermaphrodit-Stecker. Unser Körper wirkt hier als Antenne für elektrische Felder. Die gewöhnlich umgebenden Felder (von der Elektroinstallation usw.) liefern genug Leistung um den ersten Transistor ansteuern zu können.

Die Gesamtverstärkung der drei Transistoren ist groß genug, dass schon einige Nanoampere von unserer „Fingerantenne“ ausreichen, um die rote LED leuchten zu lassen. Die Kaskade kann aber auch durch spontan auftretende Elektrostatik ausgelöst werden, dann leuchtet die LED aber nur kurz auf. Auch hier besteht keine Gesundheitsgefahr, da die Energie bei normaler Elektrostatik sehr gering ist!

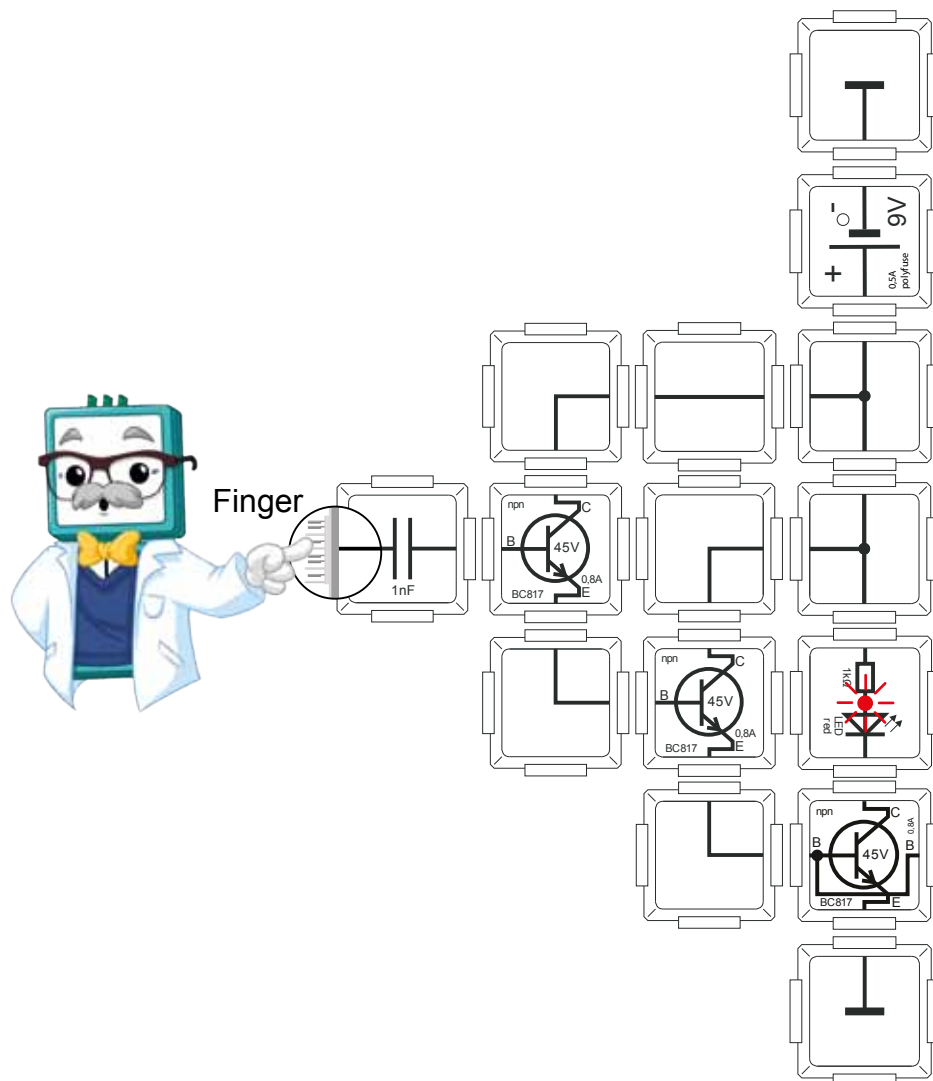


Abb. 36: Kapazitiver Touch-Sensor mit Darlington-Schaltung

5.6.4 Dämmerungserkennung mit lichtempfindlichem Widerstand (LDR)

Das Advanced Set enthält auch einen Sensor-Brick für Lichtstärke in Form eines lichtempfindlichen Widerstands. Dieser lichtempfindliche Widerstand wird auch als Photowiderstand oder LDR (Englisch: Light Dependant Resistor) bezeichnet.

Dieser LDR 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 Strahlung, 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 Widerstand erreicht einen sehr hohen Wert von mehreren 100k Ω bei Dunkelheit, hat aber dafür bei Lichteinstrahlung einen sehr niedrigen Wert von wenigen 100 Ω . Die Veränderung beträgt also ungefähr das Tausendfache. Das Potentiometer ist in Serie zum LDR geschaltet, damit kann über seinen Schleif-Kontakt die Schwell-Spannung eingestellt werden, bei der die rote LED zu leuchten beginnt. Ist der Drehknopf des Potentiometers an den unteren Anschlag gedreht, steuert der Transistor nicht durch und die LED erlischt, am oberen Anschlag jedoch, schaltet der Transistor ein und die LED leuchtet unabhängig von der Lichtstärke. Die gewünschte Schwelle kann dazwischen gefunden werden.

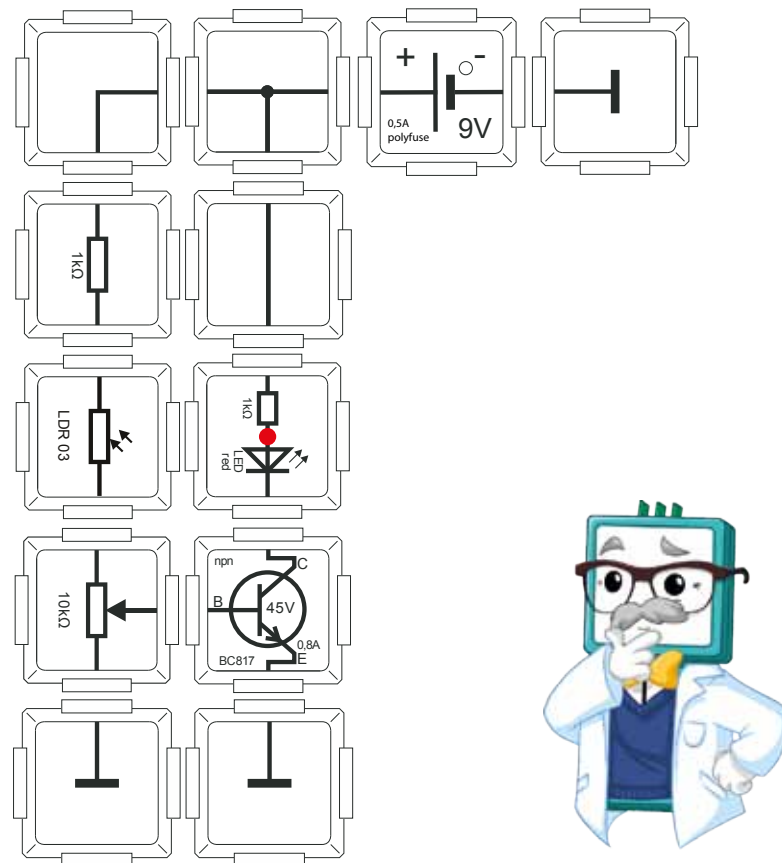


Abb. 37: Dämmerungserkennung mit lichtempfindlichem Widerstand (LDR)

5.6.5 Dämmerungsschalter mit lichtempfindlichem Widerstand (LDR)

im Versuch 5.6.4 wurde bei Helligkeit eine LED eingeschaltet. Als Indikator macht die LED Sinn. Aber oft wünschen wir uns, dass bei Dunkelheit eine Lampe einschaltet.

Hierfür haben wir in der folgenden Schaltung den LDR-Brick gegen Masse geschaltet, was genau die gewünschte Funktion bewirkt. Der Widerstandswert unseres LDRs nimmt bei zunehmender Umgebungslichtstärke ab und der Spannungsteiler aus $100\text{ k}\Omega$ -Widerstand und LDR bewirkt, dass am Basis-Kontakt des Transistors kaum ein Stromfluss aufkommt. Es fällt fast die gesamte Spannung von 9 V an dem $100\text{ k}\Omega$ -Widerstand ab. Es bleiben ungefähr $0,09\text{ V}$ an der Basis übrig, wenn der LDR einen Widerstandswert von 100Ω hat. Das genügt nicht um den Transistor durchzuschalten. Es kommt also auch kein Kollektor-Emitter-Stromfluss zustande, die rote LED erlischt. Ist dagegen bei Dunkelheit der Widerstandswert des LDR sehr hoch, teilt sich die Spannung von 9 V ungefähr zu gleichen Teilen auf beide Widerstände auf. Es fließt ein Basisstrom, der wiederum einen Stromfluss im Arbeitsstromkreis zwischen Kollektor und Emitter ermöglicht. Die rote LED beginnt zu leuchten. Man spricht hier auch von einem automatischen Dämmerungsschalter oder Nachtlicht.

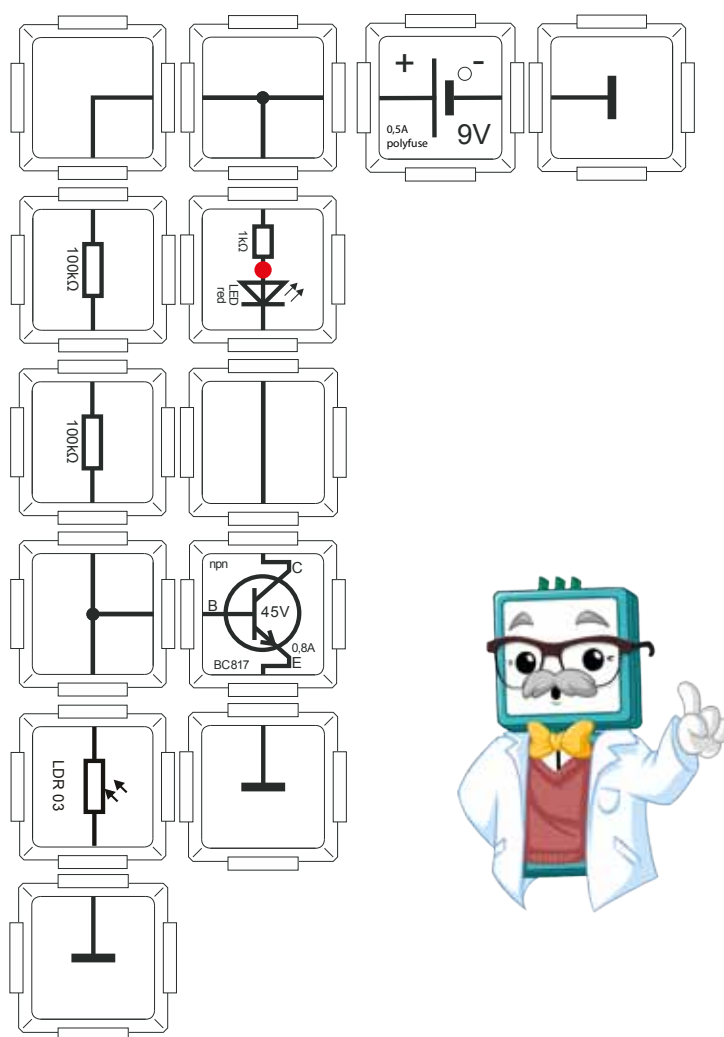


Abb. 38: Dämmerungsschalter mit lichtempfindlichem Widerstand (LDR)

Tipp:

Bei einem schlecht beleuchteten Arbeitsplatz kann es sein, dass die LED dauernd brennt. Dann kannst du die Funktion der Schaltung dadurch testen, dass du entweder ans Sonnenlicht gehst oder ein Kunstlicht direkt in Richtung des LDR leuchten lässt.

5.6.6 Normale LED als Photodiode

Die Leuchtdiode (Englisch: LED = Light Emitting Diode) erzeugt Licht aus elektrischer Energie. Elektronen von ausreichender Energie (aus dem Leitungsband) werden im Halbleiter von den Fehlstellen, also dort wo Elektronen im Kristallgitter fehlen, eingefangen (sog. Rekombination). Im Moment der Wiedereinordnung in das Valenzband wird Energie als Lichtteilchen in Form eines Photons abgegeben.

Dieser Prozess ist umkehrbar: Im Prinzip kann jede Halbleiterdiode dessen Sperrschicht von Licht beleuchtet wird auch Strom erzeugen (damit dieser Effekt nicht stört sind Diodengehäuse normal undurchsichtig). Durch die Photonen des einfallenden Umgebungslichtes, werden Elektronen aus dem Zustand niedrigerer Energie aus dem Valenzband gelöst und auf eine höhere Energieebene ins Leitungsband angehoben. Diese energiereichen Elektronen ermöglichen einen Stromfluss über die Sperrschicht der Diode. Photovoltaikzellen zur Stromerzeugung sind spezielle, dafür optimierte Halbleiterdioden. Unsere Leuchtdiode kann zwar Strom erzeugen aber der Effekt ist zu schwach für eine echte Energieerzeugung. Es reicht jedoch für die Verwendung als Lichtsensor. Damit wir diesen Lichtstrom beobachten können, muss wieder eine Darlington-Schaltung mit zwei Transistoren und somit sehr hoher Verstärkung, verwendet werden. Der Vorwiderstand ($2 \times 100\text{k}\Omega$) an unserer grünen „Sensor-LED“ ist notwendig, damit die Sperrspannung nicht zu groß wird. Fällt jetzt das Umgebungslicht auf den Halbleiterkristall der grünen LED, wird trotz Polung in Sperrichtung ein minimaler Strom an der Basis des ersten Transistors erzeugt. Der wird über die Transistor-Kaskade verstärkt, sodass die rote LED leuchtet. Wird die grüne LED wieder abgedunkelt, erlischt die rote LED, der Darlingtonverstärker sperrt.

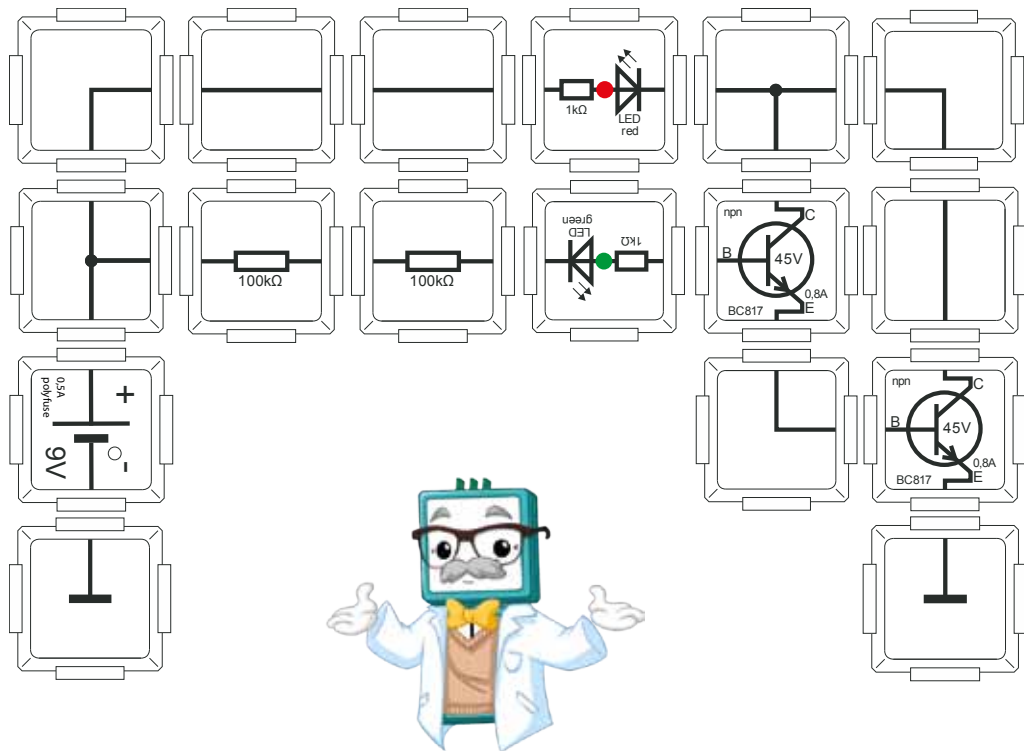


Abb. 39: Normale LED als Photodiode

5.6.7 Dämmerungsschaltung mit Transistor als Inverter

Eine Dunkel- oder Dämmerungsschaltung kann man mit zwei Transistoren bauen. Transistor 1 wird hier als Inverter (Umkehrer) verwendet. Transistor 2 wird ganz normal als Schalttransistor in Basischaltung verwendet.

Inverter heißt eine Schaltung die eine positive Schaltflanke (Übergang von niedriger zu höherer Spannung) in eine negative Schaltflanke (Übergang von höherer zu niedrigeren Spannung) umwandelt.

Ist die Schwellenspannung am ersten Transistor erreicht, schaltet dieser ein und der Basisstromfluss des zweiten Transistors kommt zum Erliegen, sodass dieser sperrt und die rote LED erlischt. Ist der Spannungsteiler aus Potentiometer und LDR so eingestellt, dass an der Basis des ersten Transistors kein Strom fließt, sperrt dieser und der Spannungsteiler aus dem 1 kΩ und dem 10 kΩ Widerstand ermöglicht einen Stromfluss an der Basis des zweiten Transistors, die rote LED leuchtet.

Die Schwelle, ab welcher – in Abhängigkeit der Intensität des Umgebungslichtes – die rote LED leuchtet, wird mit dem Potentiometer eingestellt: ist der obere Anschlag des Potis erreicht, leuchtet die LED permanent, wird der untere Anschlag erreicht, erlischt sie (je nach Bauart, Montage und Anschluss des Potis kann die erforderliche Drehrichtung links oder rechts sein). Der Widerstand des LDR (bei hell bzw. dunkel) und der Widerstand des Potentiometers müssen aufeinander abgestimmt sein.

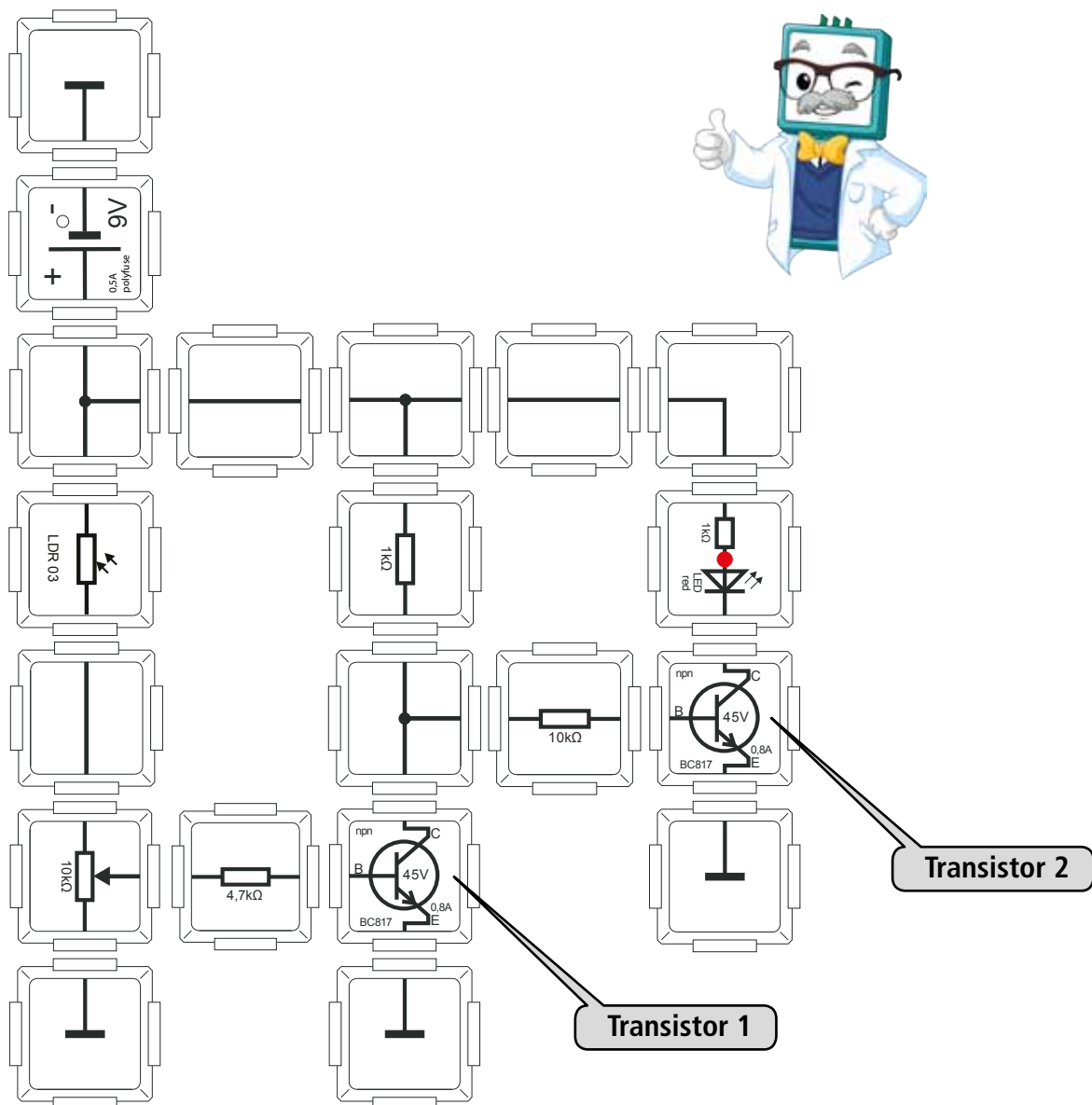


Abb. 40: Dämmerungsschaltung mit Transistor als Inverter

5.6.8 Logische Invertierung mit Transistor

Das Invertieren von logischen Zuständen (auch NICHT- oder NOT-Funktion genannt) erfolgt in der Industrie und Technik in vielen Schaltkreisen. In diesem Schaltungsbeispiel veranschaulichen wir das durch zwei wechselseitig betriebene LEDs. Die gelbe LED zeigt das Eingangssignal der Nicht-Funktion und die rote den Ausgang der Invertierung.

Im Normalzustand bei geöffnetem Schalter, leuchtet die rote LED und die gelbe nicht. Der Transistor sperrt und der Strom fließt über den $1\text{ k}\Omega$ -Widerstand und die rote LED zur Masse. Durch Drücken des Tasters leuchtet die gelbe LED und die rote erlischt.

Warum passiert das? Bei gedrücktem Taster fließt Strom nicht nur durch die gelbe LED, sondern auch durch den $100\text{ k}\Omega$ -Widerstand und die Basis-Emitterdiode des Transistors. Dadurch wird auch die Kollektor-Emitter-Strecke leitend. Die Spannung an der roten LED fällt zwar nicht ganz auf Null, aber weit unter die Schwellspannung die zum Leuchten der roten LED nötig wäre. Die invertierende Wirkung von Parallelstromkreisen haben wir schon bei der NICHT-Verknüpfung in Kapitel 5.2.3 kennengelernt. Dort konnten wir aber das Eingangssignal nur aus der Tasterstellung ablesen. Die Anzeige hier mit der gelben LED ist viel deutlicher.

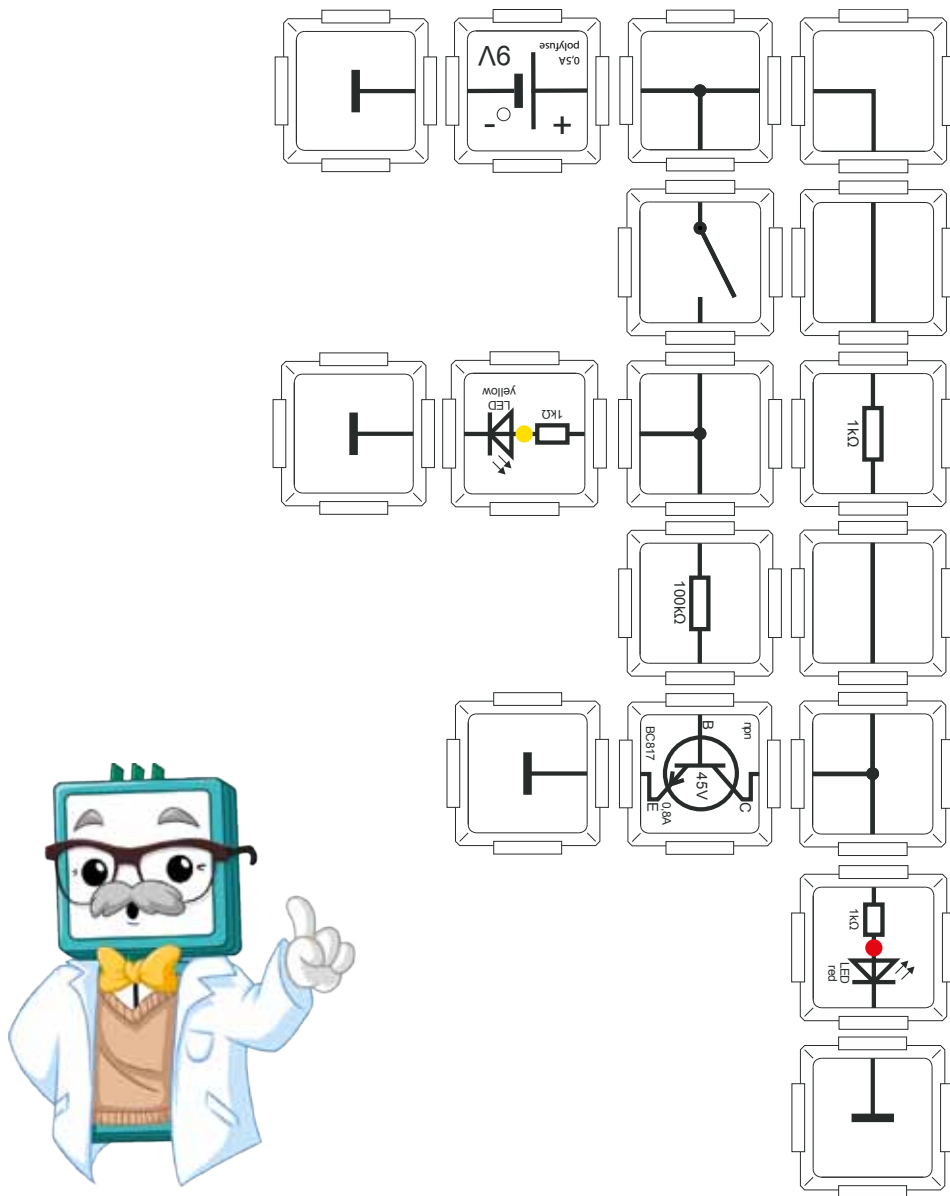


Abb. 41: Logische Invertierung mit Transistor

5.6.9 Konstantstrom für LED bei 9V-Versorgung

Der Spannungsabfall von Leuchtdioden (z. B. 0,7V für Siliziumdioden) in Durchlassrichtung ist weitgehend konstant. Die Helligkeit hängt aber vom Strom ab. Wenn LEDs mit Batterien betrieben werden, die bei Entladung allmählich ihre Stromlieferfähigkeit (Innenwiderstand) reduzieren, würde die Leuchtkraft langsam absinken. Um dem entgegenzuwirken, bauen wir eine automatisch geregelte sogenannte Konstantstromquelle. Diese hier soll trotz wechselnder Betriebsspannung von 9 bzw. 18V den Diodenstrom konstant halten.

Erreicht wird dies mit einer Zenerdiode (kurz: Z-Diode). Das sind Dioden mit einem speziellen Dotierungsprofil, die im Gegensatz zu normalen Dioden eine besonders niedrige aber genau definierte Durchbruchspannung in Sperrichtung (Z-Spannung) haben. Sie sind 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, die je nach Typ vorgegeben ist. Unsere Z-Diode hat eine Z-Spannung von 3,9V. Eine Zenerdiode wird meistens zusammen mit einem Vorwiderstand in Sperrichtung betrieben um eine stabilisierte Spannung zu liefern.

Den Transistor haben wir hier so angeschlossen, dass aus der stabilisierten Spannung ein stabilisierter Strom wird. Der Emitterstrom I_E berechnet sich wie folgt:

$$I_E = \frac{U_Z - U_{BE}}{1000 \Omega} = \frac{3,9 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{1000 \Omega} = 3,2 \text{ mA}$$

Die Z-Diode stabilisiert den Spannungsabfall zwischen Basis und Masse. Der Spannungsabfall an der Basis-Emitter-Diode ist ziemlich konstant 0,7V. Somit ist auch der Spannungsabfall am Emitterwiderstand konstant $3,9 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 3,2 \text{ V}$. Der Kollektorstrom ist fast genauso groß wie der Emitterstrom (der Basisstrom ist ja hundert mal kleiner). Daher leuchtet die rote LED stets mit derselben Intensität auch wenn die Betriebsspannung variiert.

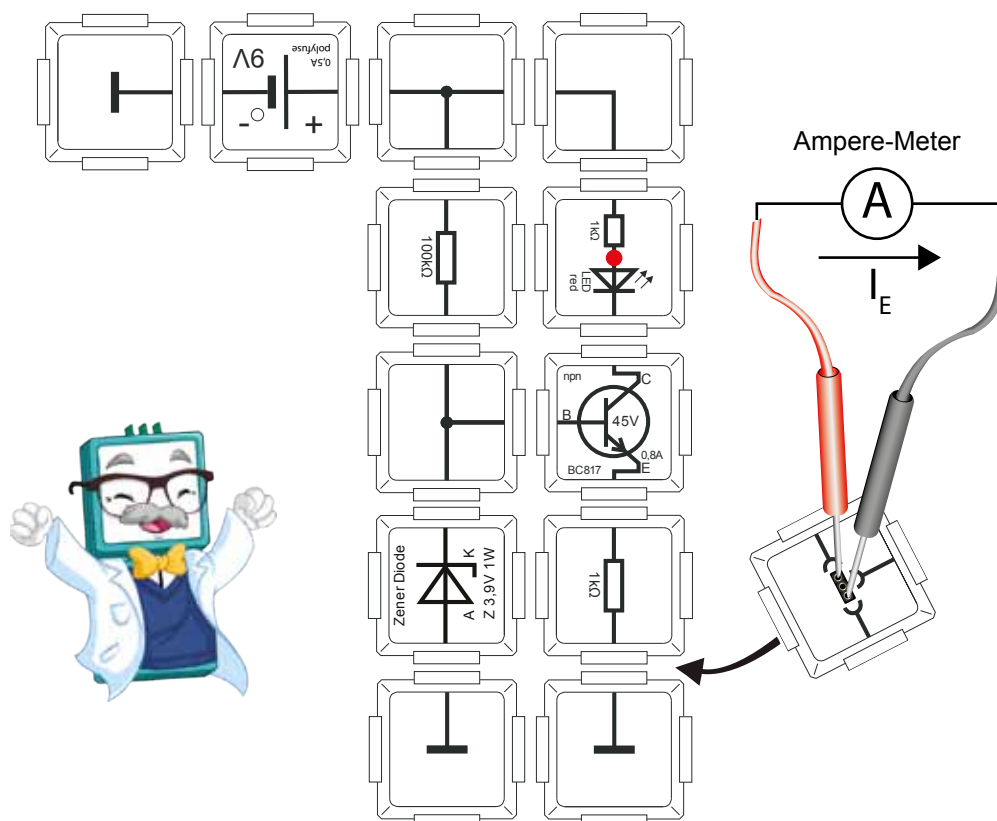


Abb. 42: Konstantstrom für LED bei 9V-Versorgung

Es ist darauf zu achten, dass die Zenerdiode in Sperrichtung betrieben wird! Im nächsten Versuch, Kap. 5.6.10 wird die Versorgung auf 18V erhöht um zu zeigen, dass der Strom konstant bleibt.

5.6.10 Konstantstrom für LED bei 18V-Versorgung

Um zu überprüfen, ob der Strom durch die LED konstant bleibt, erhöhen wir nun die Versorgungsspannung auf 18V. Das erreichen wir durch eine Serienschaltung von Netzteil- und Batterie-Brick. In einer Serienschaltung addieren sich die Teilspannungen.

Achte auf die richtige Polung: Der Minuspol des Batterie-Bricks ist mit dem Pluspol des Netzteil-Bricks zu verbinden! Die Leuchtintensität der roten LED am Kollektor des Transistors bleibt in etwa gleich.

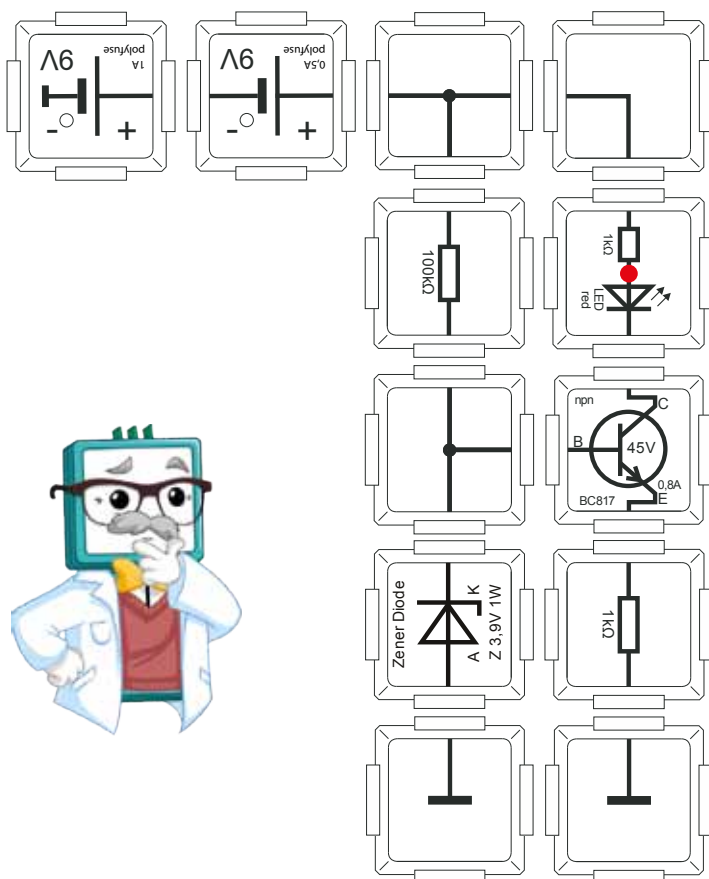


Abb. 43: Konstantstrom für LED bei 18V-Versorgung

5.6.11 Astabiler Multivibrator

Ein klassischer Schaltkreis zur Schwingungserzeugung ist ein Multivibrator. Hier werden zwei Transistoren so gegeneinander geschaltet, dass sie sich abwechselnd an- und ausschalten. Es ist nicht möglich den Schaltkreis in einem festen Zustand verharren zu lassen, daher bezeichnet man ihn als instabil. Instabile Multivibratoren werden in der Technik zum Erzeugen einer Rechteckspannung eingesetzt.

Die Dauer für einen Zyklus wird von dem Lade- bzw. Entladevorgang der Kondensatoren über deren vorgeschaltete Widerstände bestimmt. Welcher der beiden Transistoren durch die Basis-Ströme als erster schaltet, kann beim Aufbau der Schaltung zunächst nicht vorhergesagt werden. Da die Schaltung aus zwei baugleichen Hälften besteht, entscheiden kleine Fertigungstoleranzen der Bauteile, welche LED als erstes leuchtet.

Wir können den Schaltvorgang gut an den abwechselnd blinkenden LEDs beobachten. Die Wahl der Kapazität der Kondensatoren und ihrer dazugehörigen Vorwiderstände definieren die Periodendauer für einen Schaltvorgang. In unserer Schaltung sind die Widerstände und Kondensatoren für beide Transistoren gleich. Man kann annehmen, dass das Umschalten immer dann erfolgt wenn der Kondensator in etwa halb aufgeladen oder halb entladen ist. Diese Zeit bis zur halben Ladung dauert $\ln(2) \times R \times C$. Eine volle Periode besteht aus einmal den Kondensator C_1 laden und anschließend Kondensator C_2 laden. Also ist die Gesamtzeit:

$$T = 2 \times \ln(2) \times R \times C = 2 \times 0,69 \times 100 \text{ k}\Omega \times 10 \text{ }\mu\text{F} = 1,39 \text{ s}$$

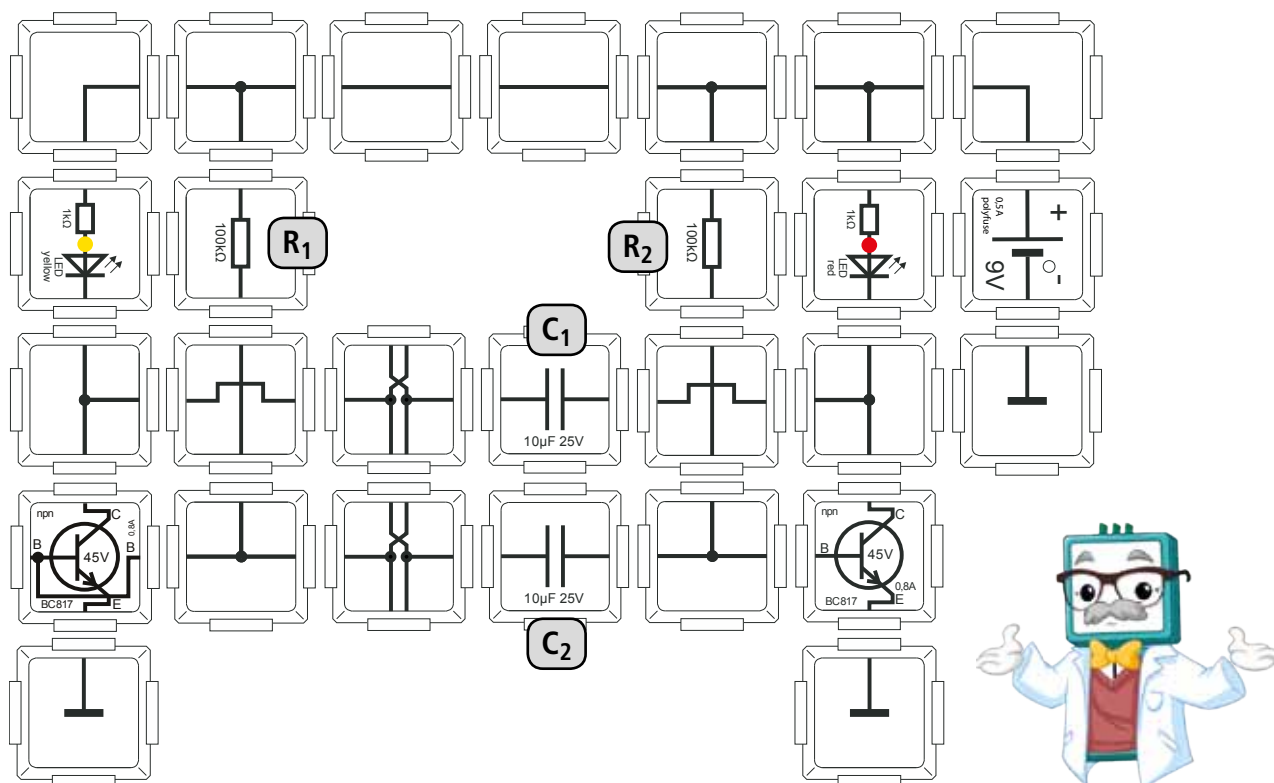


Abb. 44: Astabiler Multivibrator

Das Advanced Set beinhaltet Kondensator- und Widerstands-Bricks verschiedener Werte. Gerne kannst Du mit den Werten spielen und somit die Schaltdauer verändern. Widerstand R_1 und Kondensator C_1 steuern das Schaltverhalten des linken Transistors und R_2 und C_2 steuern den rechten Transistor. 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.

Die Gleichung zur Berechnung der Periodendauer für ein unsymmetrisches Tastverhältnis lautet in modifizierter Form:

$$T = \ln(2) \times (R_1 \times C_1 + R_2 \times C_2)$$

5.6.12 Monostabiler Multivibrator

Wir wollen eine Schaltung bauen, die etwa ein Treppenlicht nach der Betätigung eines Tasters einschaltet und nach einer bestimmten Zeit automatisch wieder ausschaltet. Eine solche Schaltung nennt man monostabil, denn sie hat zwar zwei Zustände („Licht ein“ und „Licht aus“), aber nur einer davon (Aus) ist stabil. Der monostabile Multivibrator ist zwar ähnlich wie der astabile Multivibrator aufgebaut, aber es befindet sich in einem der Transistor-Verbindungswege ein Widerstand (R_3) anstelle des Kondensators – wie in nachfolgender Abbildung zu sehen ist. Zudem ist zwischen Basiskontakt des ersten Transistors und dessen Widerstand ein Taster vorgesehen.

Ein monostabiler Multivibrator kennt genau einen Zustand in dem er stabil verharrt. Dieser tritt ein, sobald 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. Im Ruhezustand, nachdem das Licht (gelbe LED) schon lange nicht mehr gebrannt hat, ist der linke Transistor gesperrt (die gelbe LED ist aus, der Kondensator längst aufgeladen). Dadurch, dass der linke Transistor sperrt, bleibt der rechte Transistor über die $10\text{k}\Omega$ leitend. Bei geöffnetem Taster leuchtet nur die rote LED. Wird der Taster aber gedrückt, so wird der linke Transistor leitend die gelbe LED leuchtet und der Kondensator C_1 wird entladen. Durch die Entladung des Kondensators bekommt der rechte Transistor weniger Basisstrom und die rote LED wird sofort dunkler. Wenn man die Taste sofort wieder loslässt, leuchtet die gelbe LED eine Weile weiter und die rote bleibt währenddessen dunkler. Diese Zeit endet, sobald der Kondensator ganz entladen (genauer gesagt umgeladen) ist. 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 definierte Zeit abgelaufen ist. Nun ist der stabile Zustand erreicht und die rote LED leuchtet permanent.

Durch wiederholtes Drücken des Tasters, können immer wieder Impulse erzeugt werden. Dieser Vorgang nennt sich Triggern (Auslösen). Mit Triggersignalen an monostabilen Multivibratoren werden in der Technik Impulse definierbarer Dauer erzeugt.

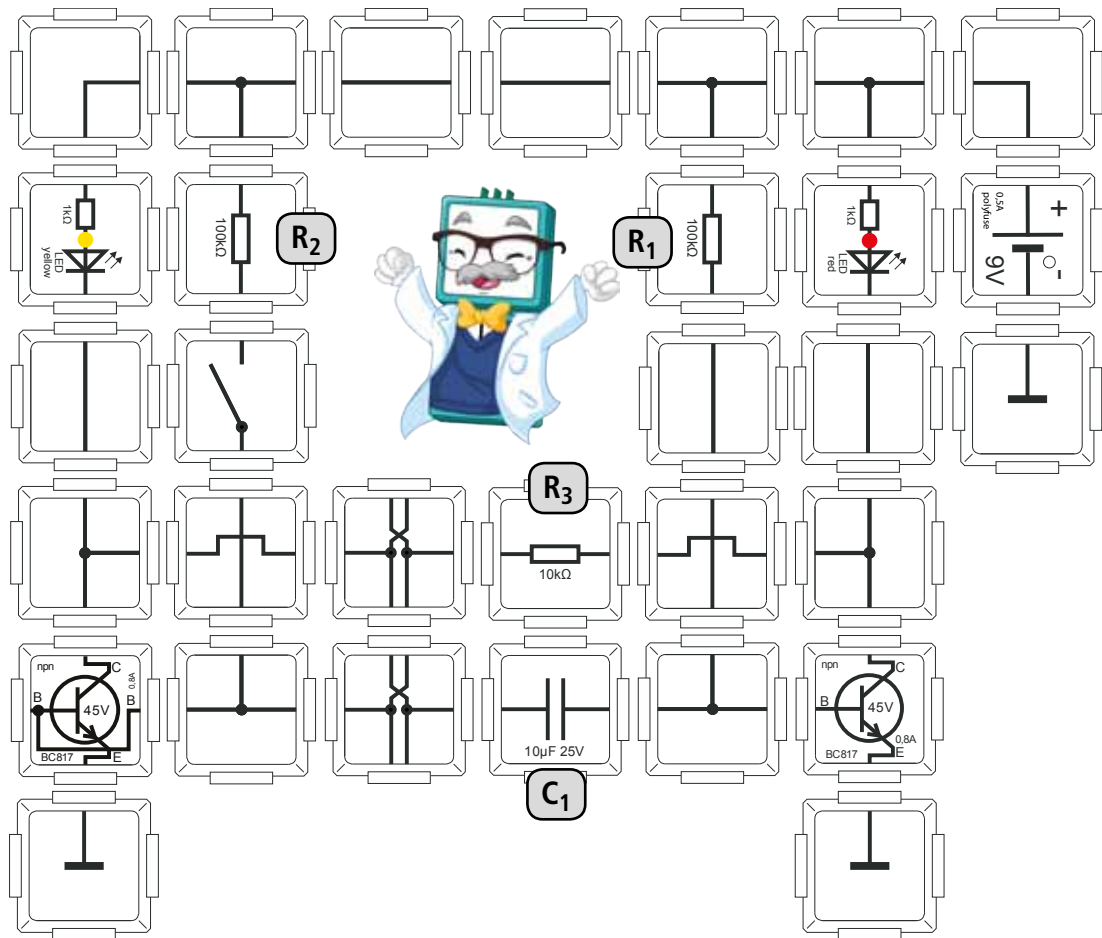


Abb. 45: Monostabiler Multivibrator

Die Zeit ist für ein Treppenhauslicht noch viel zu kurz, aber wenn wir statt dem $10\ \mu\text{F}$ Elektrolytkondensator einen mit $100\ \mu\text{F}$ einsetzen erreichen wir ca. 15-20 Sekunden. Wenn wir den zweiten $100\ \mu\text{F}$ Elko noch parallel schalten erreichen wir die doppelte Einschaltdauer.

5.6.13 Bistabiler Multivibrator

Der bistabile Multivibrator oder auch bistabile Kippstufe genannt hat zwei stabile Zustände. Sie schwingt nicht von selbst wie die astabile Kippstufe. Solche Schaltungen werden auch zum Speichern von Daten verwendet und werden in der Digitaltechnik auch als „Flipflop“ bezeichnet.

Zwischen den beiden Zuständen kann die spezielle bistabile Kippstufe, die wir im Folgenden aufbauen wollen durch zwei Taster hin- und hergeschaltet werden. Die Schaltung ist sehr ähnlich zur astabilen Kippstufe aus Kapitel 5.6.11. Um die beiden Zustände stabil zu machen ersetzen wir die zwei Kondensatoren gegen zwei $100\ \text{k}\Omega$ Widerstände. Zudem tauschen wir die beiden Widerstände von der Basis zu 9V durch Taster gegen Masse.

Wird der rechte Taster betätigt, leuchtet die gelbe LED und die rote erlischt. Der linke Taster lässt die rote LED leuchten und die gelbe erlischt. Nach jedem Umschaltvorgang ist der Zustand der beiden Leuchtdioden genau entgegengesetzt. Bei unbetätigten Tastern bleibt der letzte Zustand solange gespeichert, bis wieder eine Taste gedrückt wird. Wenn man das Umschalten nicht durch die Taster sondern durch elektrische Signale von zusätzlich angeschlossenen Leitungen veranlasst, bezeichnet man diesen Typ von Flipflop auch als sogenanntes R/S-Flipflop (R steht für Reset und S für Set). Der Vorteil gegenüber anderen Schaltung ist, dass das Umschalt- oder Triggersignal nicht permanent anliegen muss. Solche Schaltungen braucht man sehr oft in der Automatisierungstechnik. Beispielsweise genügt ein kleiner Impuls am Set-Eingang um einen Garagentormotor loslaufen zu lassen bis der Endlagenschalter den Reset-Trigger betätigt und das Tor an der gewünschten Position stoppt.

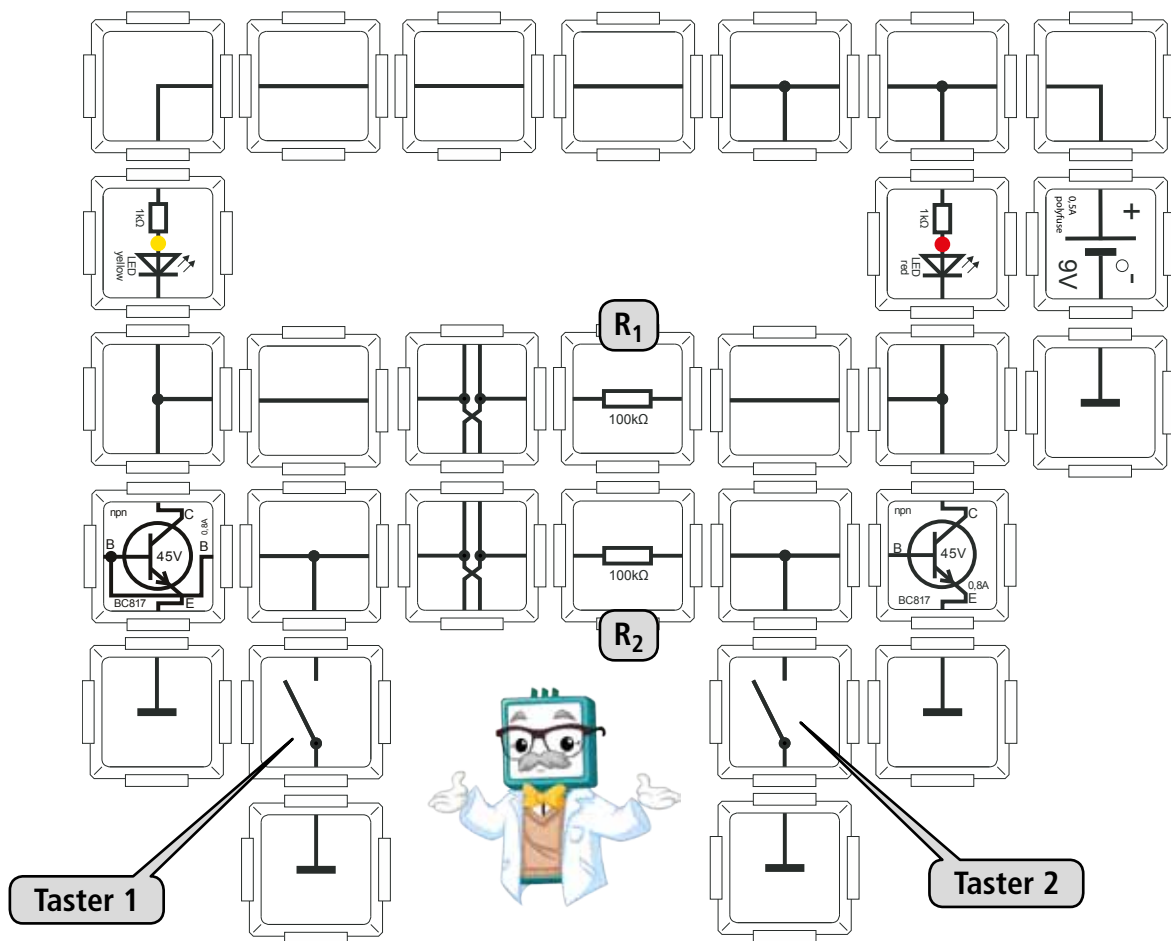


Abb. 46: Bistabiler Multivibrator

5.7 Feldeffekt-Transistoren (FET)

5.7.1 Junction-FET (JFET) – Sperrschichtfeldeffekttransistor

Die englische Abkürzung JFET steht für Junction-FET. Auf Deutsch heißt dieses Bauteil Sperrschichtfeldeffekttransistor. Dies war der erste Typ Feldeffekt-Transistor, der erfunden wurde. Ein FET hat wie jeder normale Transistor drei Anschlüsse. Sie heißen Source, Drain und Gate. Bei jedem FET sind die Drain und Source Anschlüsse durch einen Kanal aus Halbleitermaterial verbunden. Der Stromfluss durch den Kanal ist natürlich von der an Drain und Source anliegenden Spannung abhängig. Zusätzlich gibt es direkt über dem Kanal eine Steuerelektrode die Gate genannt wird. Inzwischen gibt es sogenannte Isolierschicht-Feldeffekttransistoren bei denen diese Elektrode vom Kanal durch einen dünnen Isolator getrennt ist, sodass der Kanal stromlos, nur durch eine Spannung gesteuert werden kann. Bei den ersten FETs die erfunden wurden, konnte man das so noch nicht erfolgreich herstellen. Bei den ersten FETs war die Gate-Elektrode vom Kanal nur durch eine Sperrschicht isoliert. Der Übergang Gate zu Kanal war also genauso konstruiert wie eine Halbleiterdiode und hat sich auch genauso verhalten. Bei jedem FET kann der Strom durch den Kanal schon durch kleine Änderungen der Spannung am Gate-Eingang stark beeinflusst werden. Wir haben also hier ein verstärkendes Element, das sehr ähnlich wie ein gewöhnlicher Bipolartransistor eingesetzt werden kann. Es gibts FETs mit n- oder p-dotiertem Kanal.

Im vorliegenden Versuch kommt der n-Kanal-JFET vom Typ J310 zum Einsatz. Er braucht eine negative Spannung am Gate-Anschluss, um den Stromfluss im Kanal zwischen Drain- und Source-Anschluss zu steuern. Ist die Gate-Spannung 0V, verhält sich der FET wie ein normaler ohmscher Widerstand und es findet keine Beeinflussung des Stromes zwischen dem Drain- und Source-Anschluss statt. Zum Abschalten muss die steuernde Gate-Spannung beim n-JFET negativ sein. Bei positiver Gate-Spannung erfolgt ein unerwünschter Stromfluss durch die Gate-Drain-Diode. Um auch eine negative Gate-Spannung einstellen zu können verwenden wir, wie aus der Abbildung ersichtlich, zwei entgegengesetzt geschaltete Spannungsquellen. Der Spannungsteiler aus 1k Ω -Widerstand und 10k Ω -Poti ist oben an +9V und unten an -9V angeschlossen. Damit kann die Gate-Spannung zwischen -9V und ca. +8V eingestellt werden. Um einen unzulässig hohen Gate-Strom zu verhindern, ist am Gate-Anschluss ein 100k Ω -Widerstand eingebracht. Das Potentiometer steuert nun indirekt den Stromfluss über unsere 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. Weil zur Steuerung über den Steuer-Stromkreis mit dem 100k Ω -Widerstand sehr viel weniger Leistung erforderlich ist als im Last- Stromkreis mit der LED, haben wir hier eine Leistungs-Verstärkung. Der in diesem Versuch verwendete JFET vom Typ J310 wird normalerweise in Hochfrequenz-Vorverstärkern, wie z. B. den LNAs (Low-Noise-Amplifier) eingesetzt, um eine sehr gute Signalqualität zu gewährleisten.

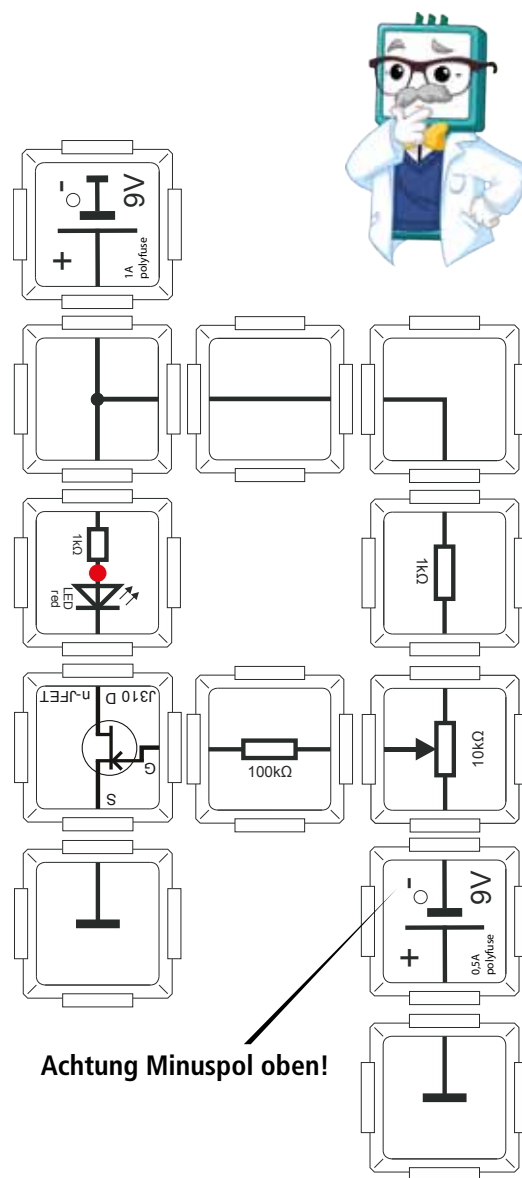


Abb. 47: Junction-FET-Transistor (JFET)

5.7.2 Metall-Oxid-Halbleiter-FET (MOSFET)

Ein Metall-Oxid-Feldeffekttransistor (MOSFET) gehört zu den Isolierschicht-Feldeffekttransistoren. Das Metall-Oxid isoliert den Gate-Anschluss gut vom Halbleiterkanal. Somit gibt es keine Probleme mit unerwünschten Gate-Strömen mehr. Deshalb haben solche Isolierschicht-Feldeffekttransistoren die Sperrschicht-Feldeffekttransistoren – von Spezialfällen abgesehen – weitgehend verdrängt. Zur Steuerung eines FETs muss nur noch die Energie aufgebracht werden um das elektrische Feld unter dem Gate auf bzw. abzubauen. Im Gegensatz dazu fließt bei Bipolar-Transistoren permanent ein Basisstrom.

Wenn bei Feldeffekt-Transistoren die Gate-Spannung variiert, wird die Leitfähigkeit des Kanals beeinflusst. Bei Isolierschicht-Feldeffekttransistoren gibt es Verarmungs- und Anreicherungstypen. Sie haben verschiedene Schaltzeichen. Der Unterschied liegt in der Leitfähigkeit ohne Gate-Spannung. Wir verwenden hier einen Anreicherungstyp (im Symbol verdeutlicht durch die Trennung von Source und Drain). Dieses Bauteil wird erst bei hinreichender Gate-Spannung leitend während beim Verarmungstyp eine hinreichende Gate-Spannung zum Abschalten führt. Auch bei MOSFETs gibt es Typen mit n- oder p-dotiertem Kanal.

Unser MOSFET vom Typ 2N7002 ist ein n-Kanal-Anreicherungstyp (kurz NMOS). Er ist ohne Gate-Spannung nicht leitend. Der Pfeil nach innen bedeutet n-Kanal. Unser MOSFET lässt also einen Stromfluss zu, sobald eine positive Gate-Spannung anliegt. Ohne Gate-Spannung sperrt er. In unserem Schaltungsaufbau wird die Gate-Spannung durch das Potentiometer eingestellt. Der MOSFET wird leitend und die rote LED beginnt zu leuchten, wenn wir den Drehknopf von links nach rechts verstellen.

Achtung:



FETs sind sehr empfindlich bzgl. elektrostatischer Ladung. Die empfindliche Isolierschicht und der Kanal werden leicht beschädigt. Beachten Sie bei der Handhabung von FETs folgende Regeln:

Du solltest, wenn möglich, nicht auf Teppich- oder Kunststoffböden arbeiten. Dort können beim Gehen und sonstigen Bewegungen sehr hohe elektrostatische Ladungen entstehen. Du solltest dich, bevor du den Anschluss eines FET-Bricks berührst, entladen. Das geht am besten, wenn du einen geerdeten Gegenstand z.B. eine Wasserleitung, Heizungsrohre, oder ein geerdetes Gehäuse eines Elektrogeräts anfässt. Dieses sollte in Reichweite sein, damit du nicht danach wieder über einen Teppich laufen musst. Auch das Gehen ohne Schuhe reduziert den Aufbau von Ladungen erheblich. Am besten du versuchst die Anschlüsse der Bricks in einer Schaltung mit FETs gar nicht anzufassen (außer es soll in einem Versuch genau das getan werden; aber achte dann ganz besonders auf elektrostatische Ladungen).

Bitte beachte die Regel, dass die Betriebsspannung erst ganz am Schluss angelegt werden soll, nachdem die Schaltung bereits vollständig aufgebaut ist und beim Zerlegen auch als erstes abgetrennt wird.

In professionell eingerichteten Elektroniklaboren, wo mit ESD-empfindlichen Bauteilen (ESD = Electro Static Discharge) umgegangen wird, gibt es ganz besondere Böden, Einrichtungsgegenstände, Schuhe, Erdungen und sogar Armbänder um diese Ladungen zu abzuleiten. Es gibt aber auch Bauteile die bereits intern einen gewissen ESD-Schutz eingebaut haben.

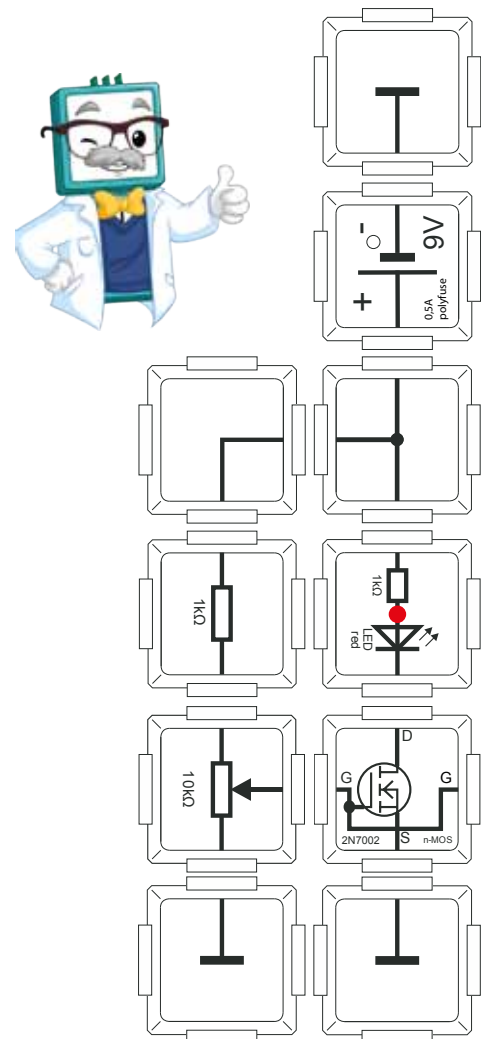


Abb. 48: Metall-Oxid-Halbleiter-FET (MOSFET)

5.7.3 MOSFET als Schalter

Genauso wie bei unserem Bipolartransistor BC817, können wir den MOSFET nicht nur als Verstärker, sondern auch als Schalter verwenden. Beim Drücken des Tasters in der folgenden Schaltung fließt durch den Spannungsteiler aus den beiden 100k Ω -Widerständen nur wenig Strom und daher nur wenig Steuerleistung. Durch das symmetrische Widerstandsverhältnis vorgegeben, wird die Versorgungsspannung halbiert. D. h. beim Drücken des Tasters werden 4,5V an den Gate-Eingang angelegt. Das elektrische Feld unter dem Gate-Kontakt ist jetzt groß genug, um den MOSFET (Anreicherungstyp ist ohne Gate-Spannung nicht leitend) zu entsperren und damit die rote LED zum Leuchten zu bringen.

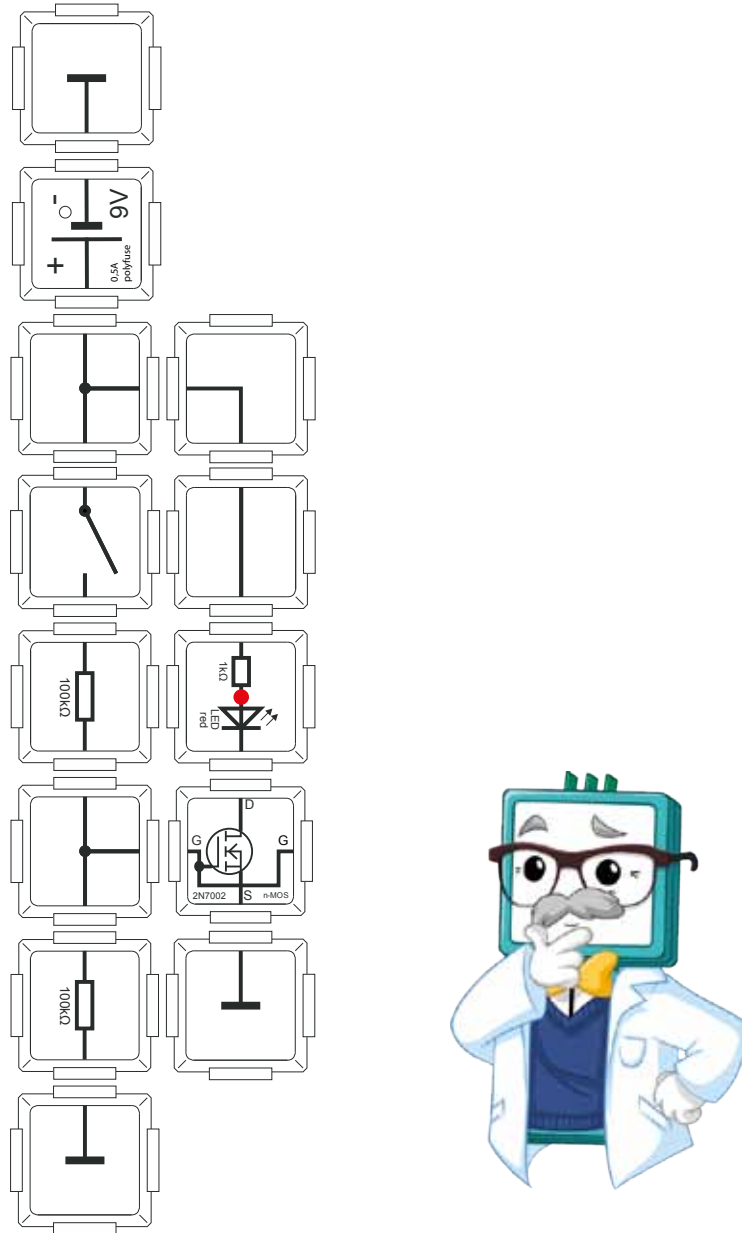


Abb. 49: MOSFET als Schalter

Achtung:



MOSFETs sind sehr empfindlich bzgl. elektrostatischer Ladung. Die empfindliche Isolierschicht und der Kanal werden leicht beschädigt. Beachte bei der Handhabung von MOSFETs die Regeln auf Seite 72:

5.7.4 MOSFET als Touchsensor

Dieser Versuch besteht wie in nachfolgender Abbildung dargestellt, aus einer Serienschaltung von Versorgungs-, LED-, MOSFET- und zugehörigen Masse-Bricks als Abschluss auf beiden Seiten. Hierbei ist der Drain-Anschluss des MOSFET über die LED an den Plus-Pol der Versorgung anzuschließen und Source ist mit dem Masse-Brick zu verbinden. Der MOSFET ist am Gate-Anschluss so hochohmig, dass seine Empfindlichkeit 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 gespeist und bewirken einen Schaltvorgang. Die Ladungsmengen resultieren aus dem normalen Stromnetz oder sind statische Ladungen. Diese reichen aus um das Gate des MOSFET ausreichend aufzuladen. Der MOSFET kann schon durch einen winzigen Funkenschlag aufgrund statischer Entladung zerstört werden. Setze dich deshalb auf einen Stuhl und berühre den Batterie-Brick bevor du den Gate-Kontakt streifst. Wenn die LED erlischt, nachdem du den Kontakt wieder losgelassen hast, kannst du den Vorgang wiederholen. Bleibt die rote LED jedoch an, ist – wie bei einem Kondensator – genug Ladung gespeichert, sodass die LED erst erlischt, nachdem die Ladung langsam abgeflossen ist.



Achtung!

Gehe unbedingt vorsichtig vor, da der MOSFET durch statische Entladung zerstört werden kann! Beachte bei der Handhabung von MOSFETs auch die Regeln auf Seite 72:

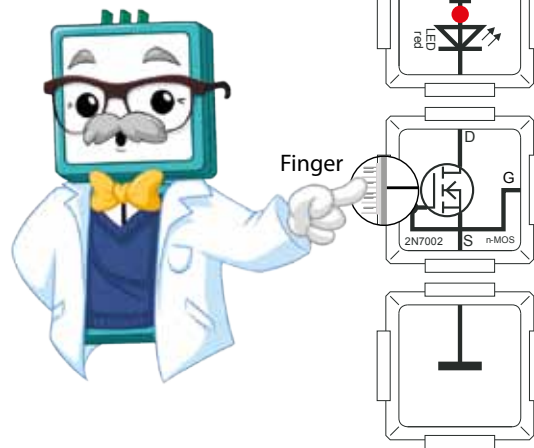


Abb. 50: MOSFET als Touchsensor

5.8 Spezial-Halbleiter

5.8.1 Programmierbarer Unijunction Transistor (PUT)

PUT steht für programmierbarer Unijunction-Transistor (engl. Programmable Unijunction Transistor). Ein PUT unterscheidet sich im inneren Aufbau wesentlich von einem Unijunction-Transistor. Ein PUT ähnelt eher einem Thyristor (dieser wird im nächsten Kapitel vorgestellt). Ein PUT funktioniert nach außen hin ähnlich wie ein Unijunction-Transistor, daher auch der Name vom englischen „Programmable Unijunction Transistor“. Er hat drei Anschlüsse, die Anode, die Kathode und das Gate. In Durchlassrichtung gepolt, verhält sich die Anoden-Kathoden-Strecke wie eine Diode mit hoher Schwellspannung, in Sperrichtung findet kein Stromfluss statt.

Die Schwell- oder Zündspannung kann manipuliert werden indem am Gate-Anschluss eine positive Spannung angelegt wird. Daher wird er als „programmierbar“ bezeichnet. PUTs werden oft zum Erzeugen von Schwingungen eingesetzt. Das wollen wir hier auch zeigen. Von der PUT-Anode zur Masse ist ein Kondensator eingebaut. Dieser wird von der Spannungsquelle geladen bis die Schwellspannung des PUTs erreicht ist.

Nach Erreichen der Schwellspannung (nur wenig über der Gate-Spannung) „zündet“ der PUT und der Kondensator entlädt sich über die Anoden-Kathoden-Strecke des PUT und die rote LED leuchtet. Danach beginnt der Ladevorgang durch die Batterie erneut. Die Schaltung schwingt jetzt mit einer bestimmten Frequenz. Das Entladen ist möglich, da die Spannung nach dem Erreichen der Schwellspannung absinken kann, der PUT aber weiterhin leitend bleibt bis fast 0V erreicht sind. Da die Schwellspannung unseres Unijunction-Transistors mit der Gate-Spannung steuerbar ist, können wir mit dem Poti die Frequenz einstellen. Die LED blinkt schneller, wenn der Drehknopf gegen den Uhrzeigersinn verstellt wird.

Für Neugierige:

Die Frequenz bei Mittelstellung des Potis errechnet sich wie folgt:

$$f = \frac{1}{R \times C \times \ln\left(\frac{1}{1-\eta}\right)}$$

$$= \frac{1}{100 \text{ k}\Omega \times 10 \text{ }\mu\text{F} \times \ln(2,61)} \approx 1,04 \text{ Hz}$$

mit

$$\eta = \frac{5 \text{ k}\Omega + 4,7 \text{ k}\Omega}{4,7 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} \approx 0,617$$

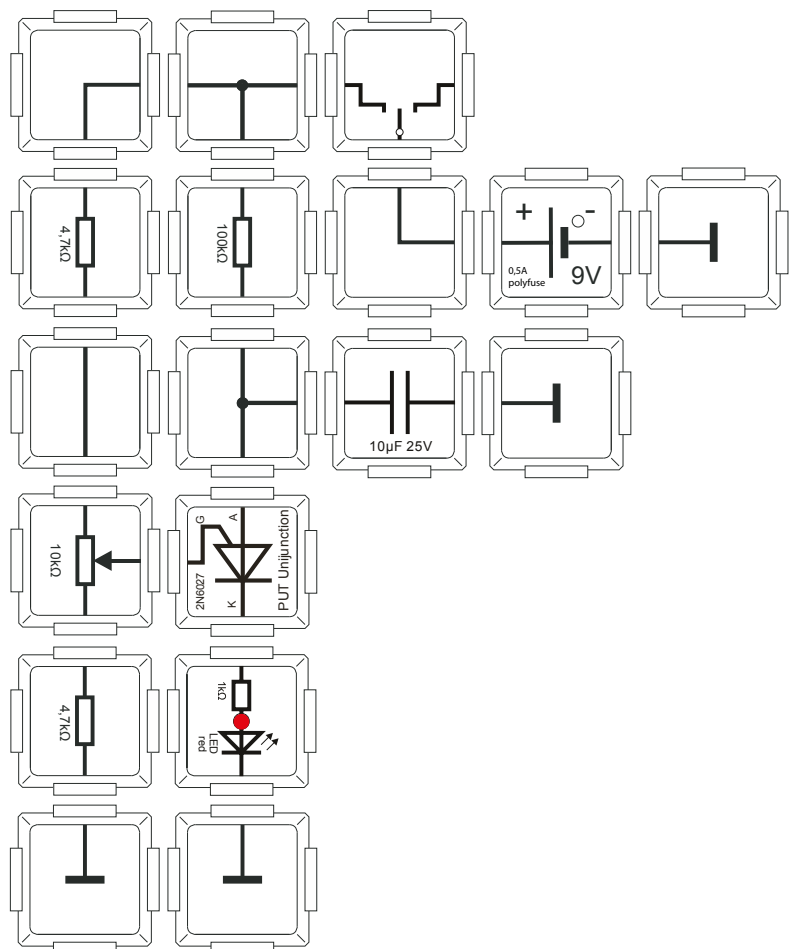


Abb. 51: Programmierbarer Unijunction Transistor (PUT)

5.8.2 Thyristor im Ersatzschaltbild

Weitere elektronische Bauelemente mit besonderen Eigenschaften, wie hoher Stromfestigkeit, sind der Thyristor und der Triac. Der Thyristor wird für Gleichspannungen, der Triac für Wechselfspannungen eingesetzt. In diesem Versuch sehen wir uns den Thyristor näher an. Der Thyristor ist eine Vierschichtdiode wie in folgendem Bild ganz links zu sehen ist. Er funktioniert so, als wären zwei 3-Schichtdioden verschaltet wie in der zweiten Graphik von links. Diese 3-Schichtdioden funktionieren wie zwei gewöhnliche Bipolartransistoren, wie im dritten Bild von links gezeigt. Das rechte Bild zeigt das Schaltsymbol eines Thyristors.

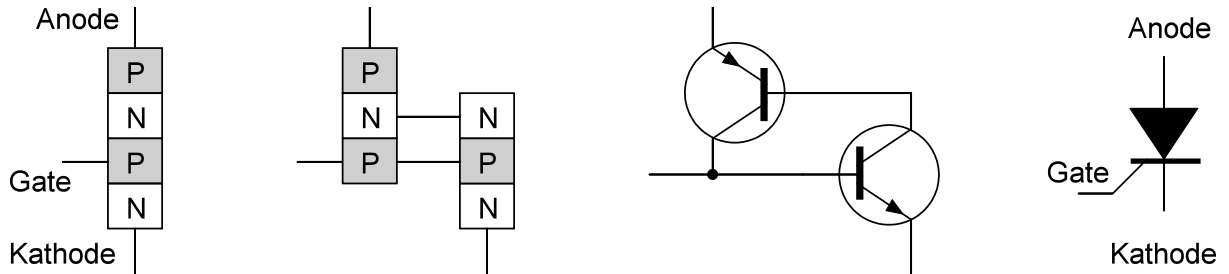


Abb. 52: Der Thyristor

Der Thyristor benötigt eine positive Zündspannung, vergleichbar mit der Steuerspannung am PUT, um zu entsperren – man sagt auch zu zünden – und bleibt dann leitend bis er "gelöscht" wird. In unserer Schaltung haben wir einen Thyristor aus zwei entgegengesetzt aufgebauten Transistoren nachgebildet, einem PNP- und einem NPN-Transistor. Sobald der Schalter in Position S1 gebracht wird, liegt die Versorgungsspannung an der Schaltung. Dies ist Voraussetzung, damit unsere Thyristor-Nachbildung durch Drücken des Tasters gezündet werden kann – die rote LED leuchtet. Jetzt kann die LED nur durch ein Unterbrechen der Versorgungsspannung ausgeschaltet werden, der Thyristor wird dadurch „gelöscht“. Dieser Vorgang ist beliebig wiederholbar.

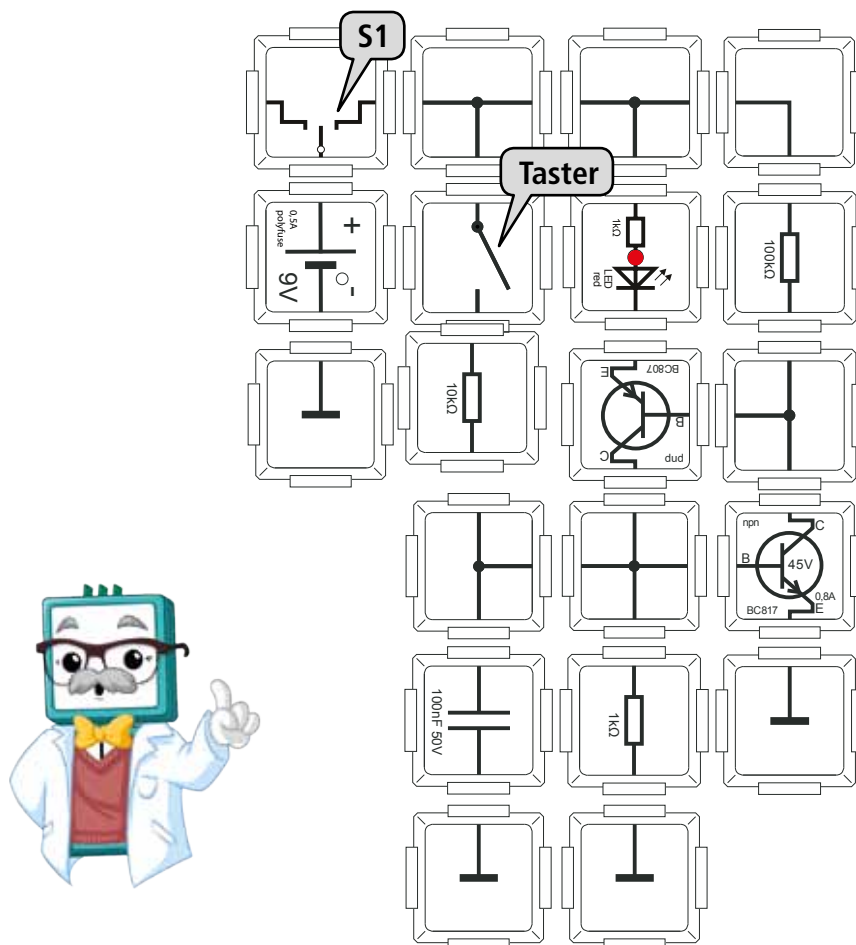


Abb. 53: Thyristor-Nachbildung

5.9 Timer-Baustein 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.

5.9.1 Timer astabil

Die folgende Schaltung zeigt einen klassischen Oszillator. Der Timer 555 hat eine Gegentaktendstufe, die den Ausgang (OUT) entweder mit Masse oder der Versorgungsspannung verbindet. Während der Kondensator über die beiden Widerstände geladen wird, liegt am Ausgang die Versorgungsspannung. Sobald der Kondensator ausreichend (siehe dazu auch Kapitel 5.9.4 auf Seite 80) geladen ist (die Spannung wird am Eingang THRES = Threshold gemessen), beginnt der Entladevorgang über den 100kΩ-Widerstand R_2 am „DISCH“-Anschluss (= Discharge). Danach startet der Vorgang erneut. Da der Timer 555 zwischen Versorgungsspannung und Masse umschaltet ist die erzeugte Schwingung ein Rechtecksignal. Die rote LED blinkt. Man nennt eine solche Schaltung auch astabiler Multivibrator. Die Leuchtdauer ist um 10 % größer als die dunkle Phase der LED. Beide Phasen zusammen bestimmen die Periodendauer T .

Die Periodendauer T lässt sich wie folgt berechnen:

$$T = (R_1 + 2 \times R_2) \times C \times \ln(2) = (10 \text{ k}\Omega + 2 \times 100 \text{ k}\Omega) \times 10 \text{ }\mu\text{F} \times 0,69 = 1,5 \text{ s}$$

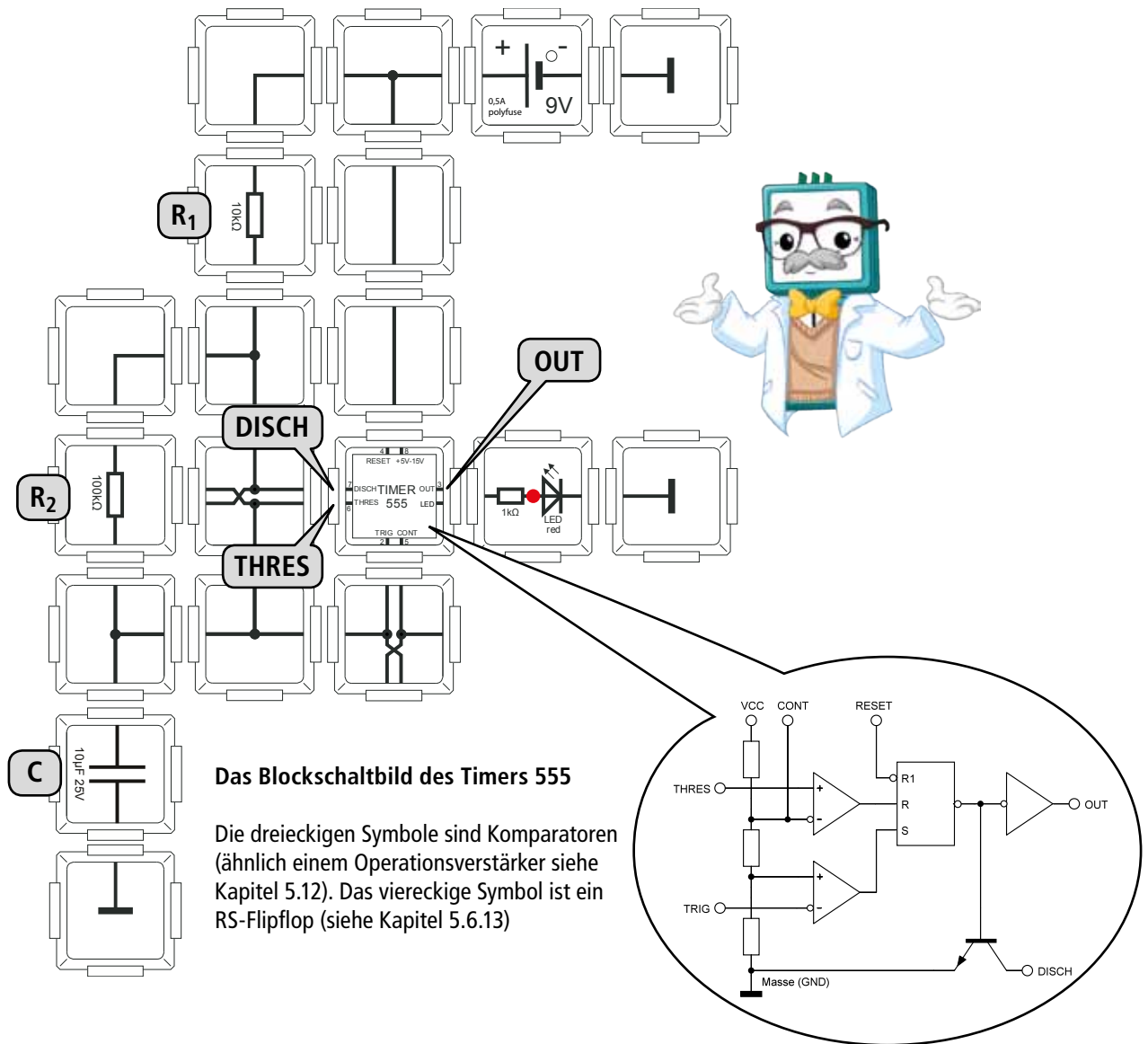


Abb. 54: Timer astabil

5.9.2 Timer monostabil

Den monostabilen Multivibrator hatten wir schon im Kapitel 5.6.12 kennengelernt. Dort haben wir ihn mit zwei Transistoren aufgebaut. Jetzt wollen wir einen integrierten Schaltkreis (IC) verwenden. Mit dem Timer Baustein 555 sparen wir zwar nicht viele Bauteile ein, aber das Timing und Schaltverhalten ist präziser als die frühere Schaltung.

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.

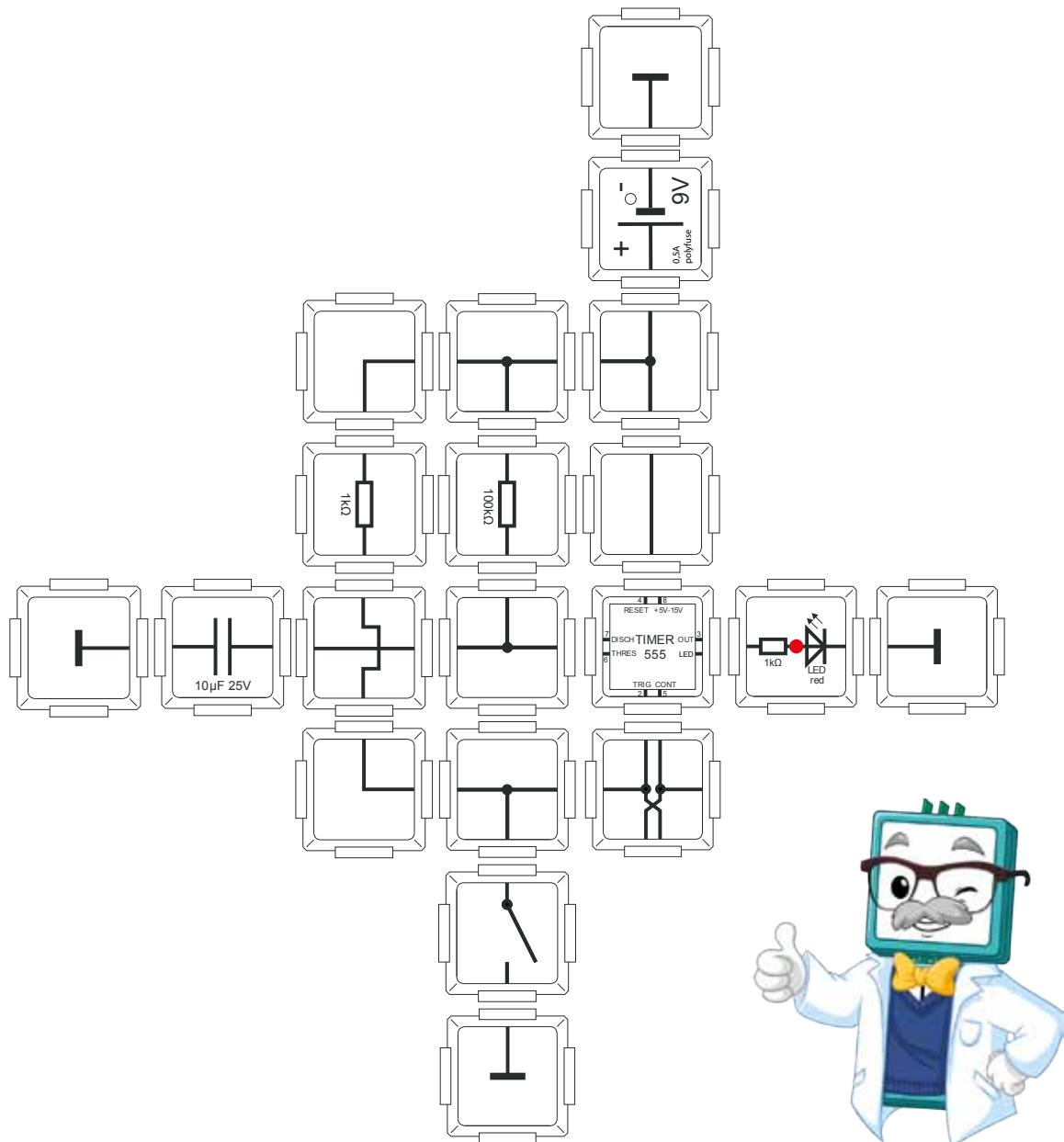


Abb. 55: Timer monostabil

5.9.3 Timer bistabil (Variante 1)

Unser Timer-Brick vom Typ 555 enthält auch ein RS-Flipflop (siehe auch Kapitel 5.6.13 und Blockschaltbild unten). An die Threshold- und Trigger-Eingänge dieses Flipflops schließen wir jetzt zwei Taster an und steuern so das Ausgangssignal. Durch Drücken des Set-Tasters bringen wir die rote LED zum Leuchten. Wird der Taster wieder losgelassen, leuchtet die LED weiterhin. Der Zustand wird vom Flipflop im Timer gespeichert. Der Reset-Taster schaltet das Flipflop in den anderen Zustand. Das Flipflop ist nun zurückgesetzt und dieser Zustand bleibt solange erhalten bis wiederum der Set-Taster gedrückt wird. Zum Zurücksetzen wird der Threshold-Eingang (THRES) verwendet (deutsch: Schwelle), der intern im Timer den Reset-Eingang (R) des Flipflops ansteuert. Zum Setzen wird der Trigger-Eingang (TRIG) verwendet, der intern den Set-Eingang (S) des Flipflops ansteuert.

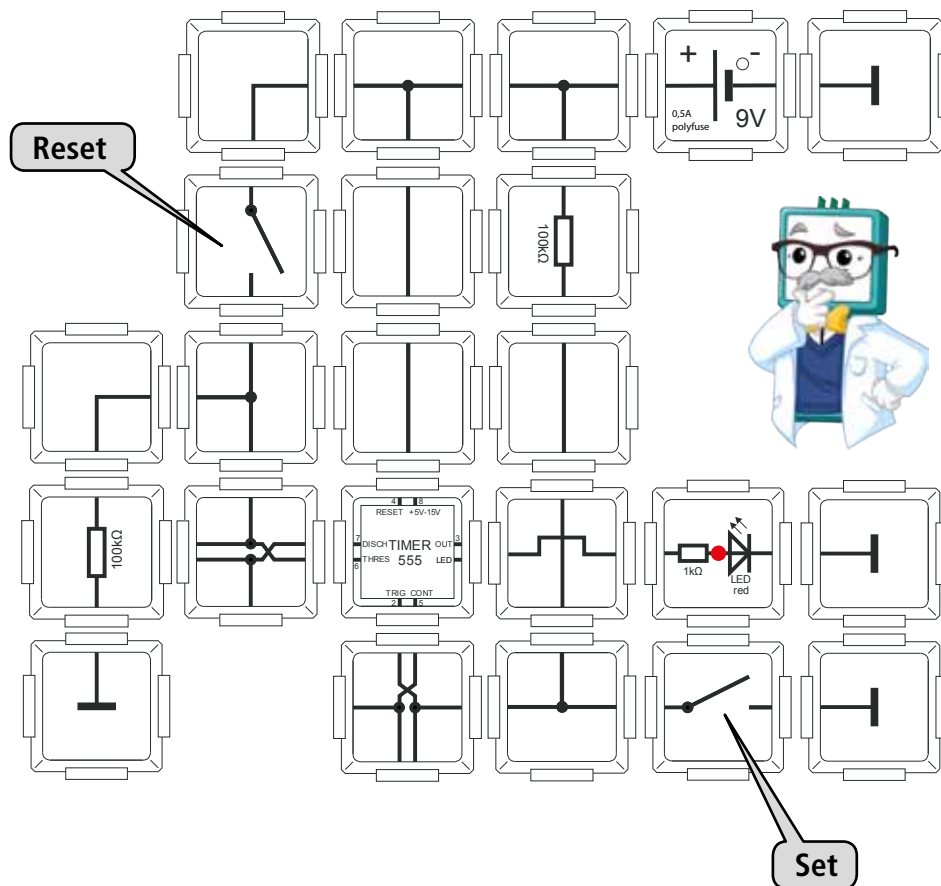
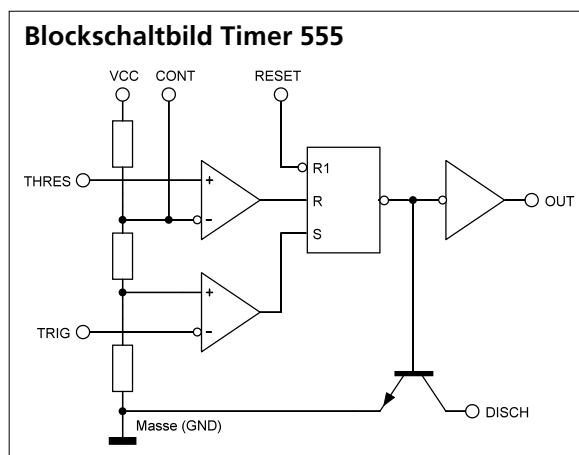


Abb. 56: Timer bistabil (Variante 1)



5.9.4 Timer bistabil (Variante 2)

Wenn wir uns die folgende Schaltung und das Blockschaltbild anschauen, finden wir am Timer einen bisher noch nicht genutzten Eingang namens Reset. Dies ist, wie man an dem kleinen Kreis am Eingang des internen Flipflops erkennt, ein low-aktiver Eingang. Wir können ihn ohne Widerstand benutzen, wenn wir dort einen Taster gegen Masse anschließen. Somit können wir gegenüber der letzten Schaltung noch einen Widerstand einsparen.

In der Schaltung „Variante 1“ haben wir die Threshold- und Trigger-Eingänge verwendet. Jetzt verwenden wir den Reset und den Trigger-Eingang zum Umschalten des Flipflops. Das Einschalten der LED erfolgt, sobald die Spannung am Trigger-Eingang $1/3$ der Versorgungsspannung unterschreitet. Diese Schwelle ist durch die drei gleich großen Widerstände im Blockschaltbild des Timers vorgegeben. Das Set-Signal wird wieder zurückgesetzt, wenn der Reset-Eingang auf Masse gezogen wird. Dies geschieht durch Drücken des Reset-Tasters mit der Folge, dass die rote LED erlischt. Der Zustand bleibt so lange im Flipflop des Timers gespeichert bis wieder die Set-Taste gedrückt wird.

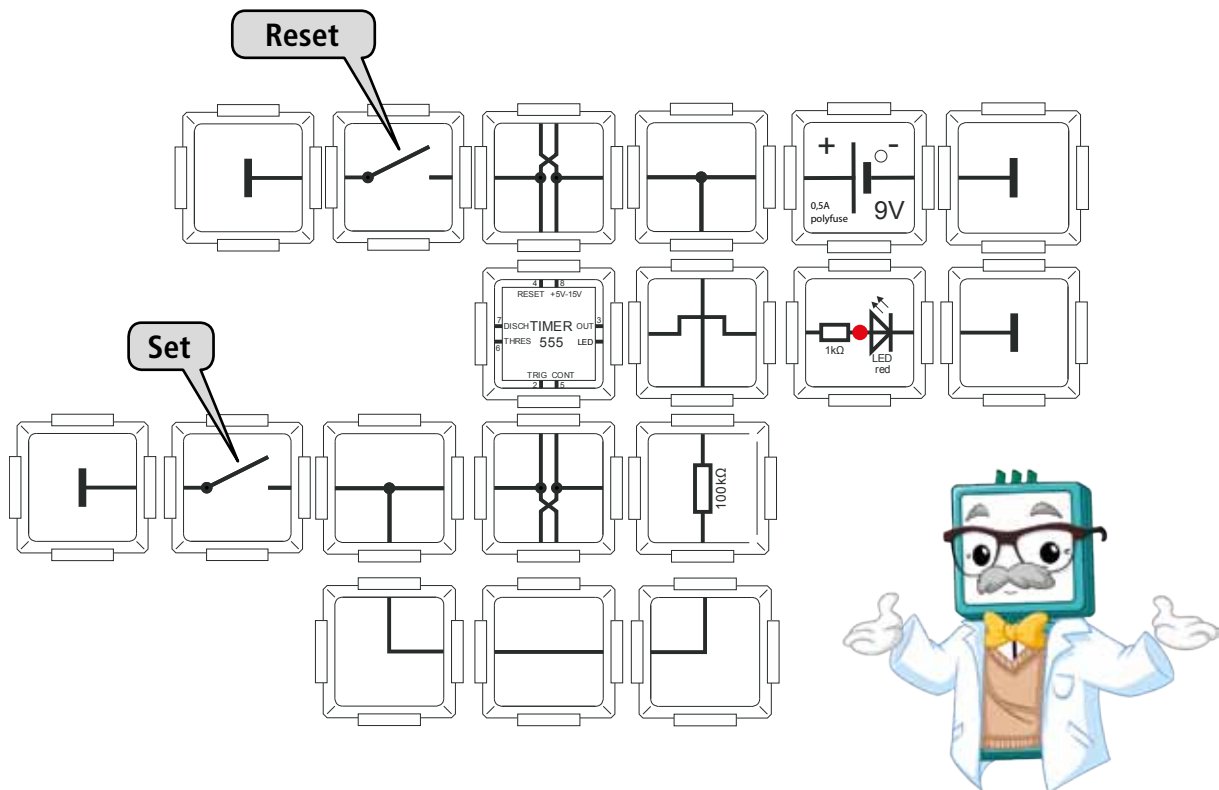
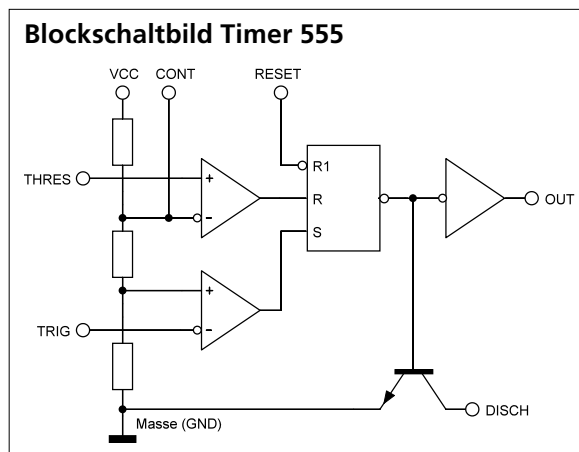


Abb. 57: Timer bistabil (Variante 2)



5.9.5 Timer bistabil (Variante 3)

Der Timer-Brick kann noch in einer weiteren Variante als Flipflop beschaltet werden. Das Setzen erfolgt – wie im vorherigen Beispiel – durch eine Masseverbindung des Trigger-Eingangs via Set-Taster. Die rote LED am Ausgang leuchtet, sobald die Spannung am Trigger-Eingang $1/3$ der Versorgungsspannung unterschreitet. Das Rücksetzen wird hier durch den Reset-Eingang anstelle des "Threshold"-Eingangs ermöglicht. Die rote LED erlischt, sobald der Reset-Taster betätigt wird. Auch hier bleiben alle Signale am Ausgang erhalten bis eine alternative Eingabe (Tastendruck) erfolgt. Neben den hier verwendeten Tastern, eignen sich je nach Anwendung auch MOSFETS oder andere elektronische Schaltelemente zur Ansteuerung.

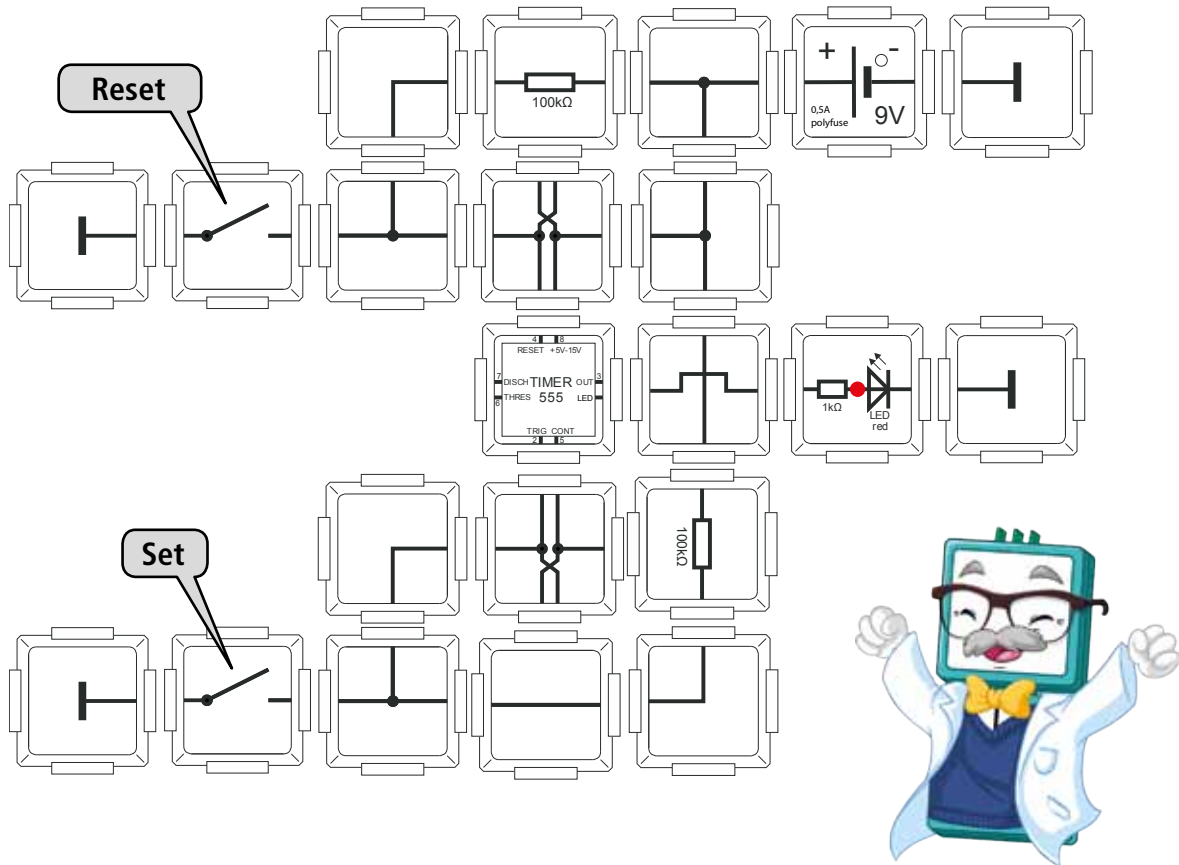


Abb. 58: Timer bistabil (Variante 3)

5.9.6 Timer als Spannungsgenerator

Achtung: Diesen Versuch nicht mit dem Netzteil durchführen!

Vorsicht: An der 10mH Spule 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 im Dauerbetrieb lassen.

Der Timer-Brick wird hier wie im Kapitel 5.9.1 auf Seite 77 als astabiler Multivibrator verwendet. Er liefert an seinem Ausgang ein sogenanntes Rechtecksignal das mit der Frequenz 670Hz zwischen Versorgungsspannung und Masse wechselt. Der Transistor lädt und entlädt die Spule. Da die Änderung des Stromflusses in sehr kurzer Zeit erfolgt, ist die Induktionsspannung sehr hoch. Die Frequenz ist zu hoch, um sie mit bloßem Auge wahrzunehmen. Die Glimmlampe wird mit der über die Diode gleichgerichtete Spannung und der im $10\mu\text{F}$ -Kondensator gespeicherten Ladung gespeist. Der Kondensator ist notwendig, da die Energiemenge eines Spannungsstoßes der Spule nicht genügt, um die Glimmlampe zum Leuchten zu bringen. Er speichert die Energie solange 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 zur Verfügung gestellt wird.

Anzumerken ist, dass die Energie dieselbe bleibt und selbstverständlich aus der Batterie im Batterie-Brick entnommen wird.

Das Erhöhen der Spannung durch eine Kombination aus Spule und Kondensator wird z.B. bei Leuchtstoffröhren und der Hintergrundbeleuchtung von TFTs oder LCDs genutzt. In der Technik werden diese Schaltungen als Aufwärtswandler oder Booster (Verstärker) bezeichnet und in Spannungswandlern oder Schaltnetzteilen, wie z. B. in Computern, verwendet.

Die Stabilisierung der Ausgangsspannung ist noch wichtig und erfolgt hier über die Glimmlampe. Mit dem Kondensator am Eingang des Timer-Bricks kann die Schaltfrequenz des 555 und damit indirekt die Spannung und Frequenz an der Glimmlampe verändert werden. Das Produkt aus Widerstand und Kondensator bestimmt die Frequenz, wie schon im Kapitel 5.9.1 auf Seite 77 dargestellt. Du kannst hier mit verschiedenen Kondensatoren experimentieren.

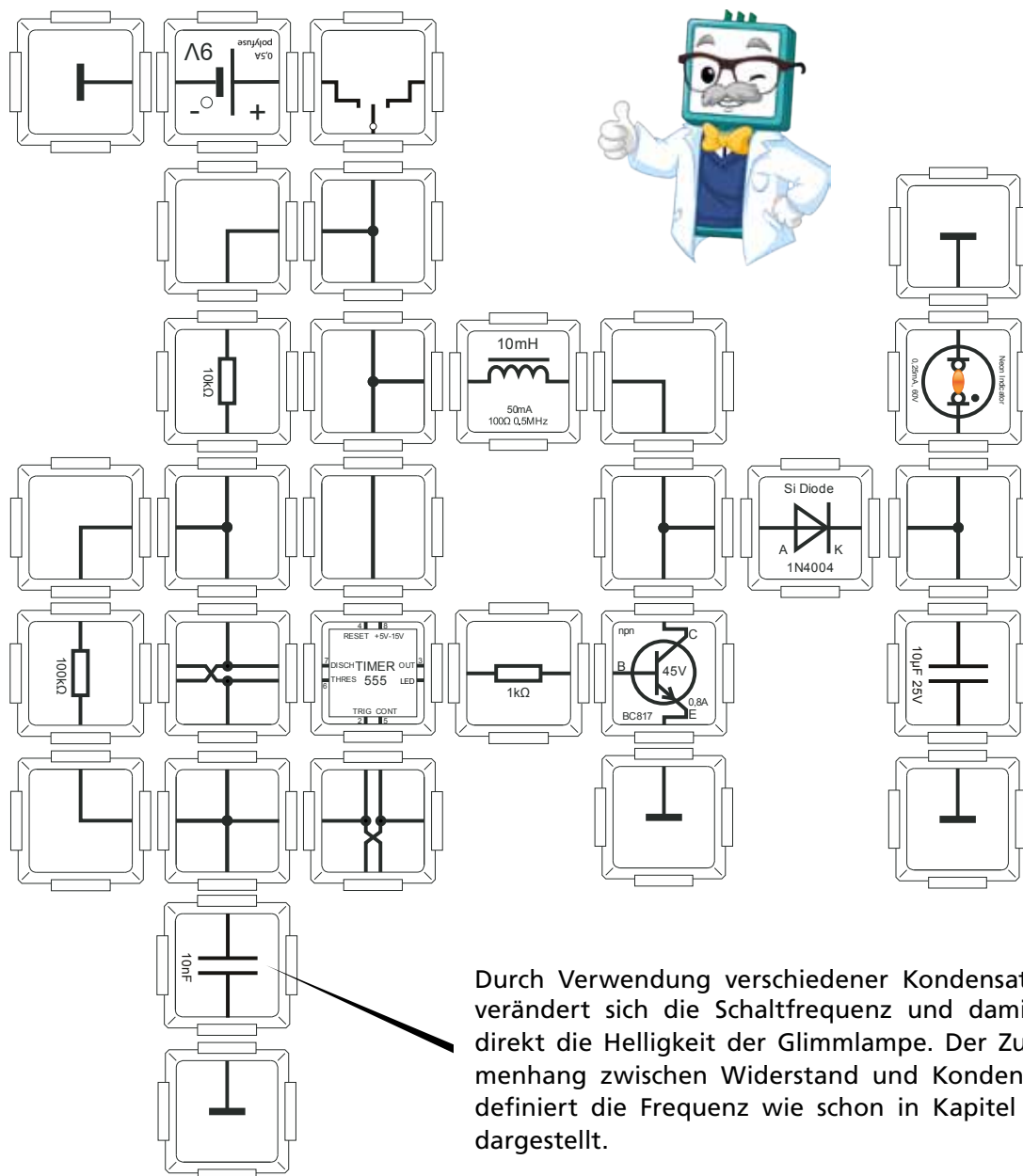


Abb. 59: Timer als Spannungsgenerator

5.10 Logikschaltungen mit Halbleiter

5.10.1 ODER-Schaltung mit Dioden

In der Computer und Automatisierungstechnik braucht man Schaltungen die mathematische Operationen ausführen. Eine der einfachsten Operationen sind die logischen Verknüpfungen UND sowie ODER aus der Booleschen Algebra (siehe auch Wahrheitstabellen für die jeweiligen Verknüpfungen). Die einfachsten Schaltungen für solche Verknüpfungen kann man mit Schaltern, Tastern und Relais bauen. So hat beispielsweise Konrad Zuse einen der ersten Computer der Welt aus Fernmelde-Relais aufgebaut. Eine der nächsten Evolutionsstufen in der Digitaltechnik war die Diodenlogik. UND- sowie ODER-Verknüpfungen lassen sich damit leicht umsetzen. Schaltungen die einfache boolesche Logikfunktionen realisieren nennt man auch Logikglieder (werden aber in der Regel nach dem aus dem Englischen stammenden Begriff "gate", zu deutsch Gatter bezeichnet). Zunächst wollen wir eine ODER-Verknüpfung realisieren, weil sie einfacher ist, als die UND-Verknüpfung im nächsten Kapitel.

In der folgenden Schaltung ist es gleich welcher Taster betätigt wird. Die rote LED leuchtet immer dann, wenn entweder Taster 1 oder Taster 2 oder beide Taster gleichzeitig geschlossen werden. Wird kein Taster gedrückt, leuchtet die LED nicht. Wir haben also die ODER-Funktion realisiert. Ein sog. Spannungs-High-Pegel (hier 9V Versorgungsspannung) am Eingang (Taster) oder am Ausgang (LED) bedeutet in der booleschen Algebra eine „1“ oder ein „wahr“ und ein sog. Spannungs-Low-Pegel (hier 0V oder Masse) entspricht „0“ oder „falsch“.

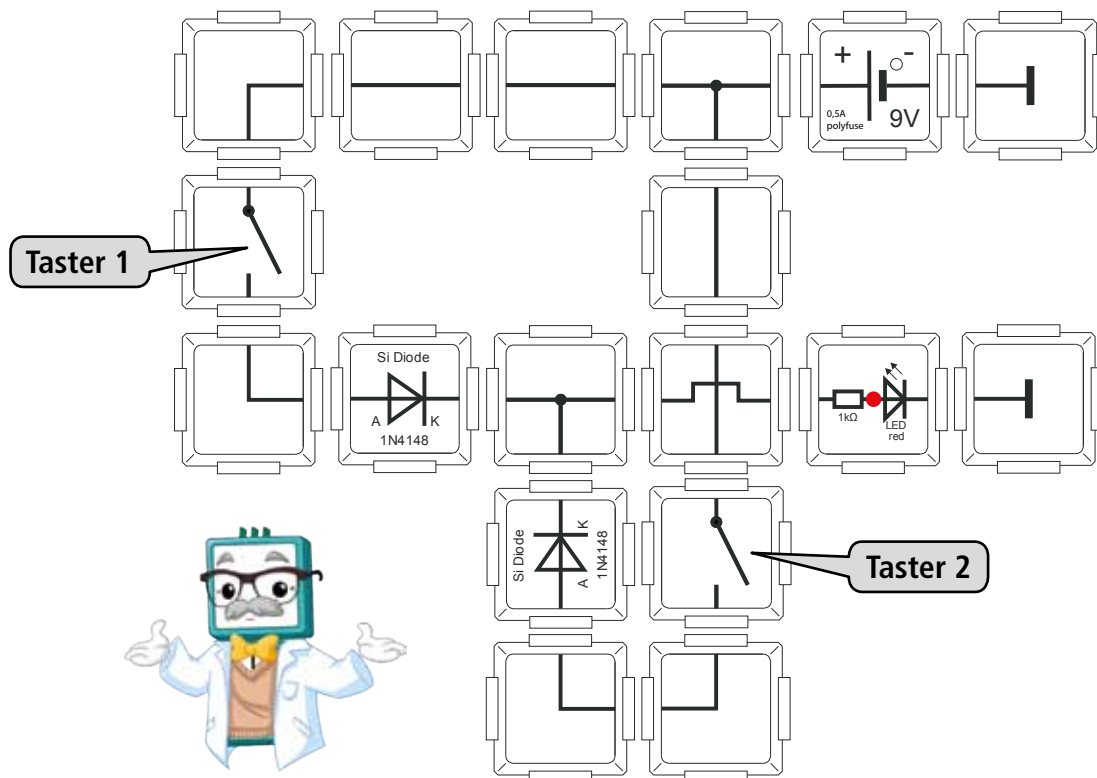


Abb. 60: ODER-Schaltung mit Dioden

Der Digitaltechniker kann die ODER-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (Aus)	0 (Aus)	0 (Aus)
1 (Ein)	0 (Aus)	1 (Ein)
0 (Aus)	1 (Ein)	1 (Ein)
1 (Ein)	1 (Ein)	1 (Ein)

Die rote LED leuchtet, wenn Taster 1 ODER Taster 2 ODER beide gleichzeitig gedrückt werden.

5.10.2 UND-Schaltung mit Dioden

In diesem Versuch bauen wir eine UND-Verknüpfung mit Dioden. Sind beide Taster geschlossen werden die Dioden überbrückt, sodass kein Strom durch die Dioden fließt. Der Stromfluss über den $10\text{k}\Omega$ -Widerstand bringt die LED zum Leuchten. Sobald aber nur einer der beiden Taster losgelassen wird, wird die LED gleichsam „kurzgeschlossen“. Wegen des offenen Tasters fließt der Großteil des vom $10\text{k}\Omega$ -Widerstand kommenden Stroms durch die Diode und den viel kleineren 330Ω Widerstand. Der Spannungsabfall an der Kombination aus 330Ω Widerstand und Diode ist nicht groß genug um die LED zum Leuchten zu bringen ($10\text{k}\Omega$ und 330Ω bilden einen Spannungsteiler).

In der Technik werden oft viele solcher Logikschaltungen hintereinander geschaltet. Das heißt, die Stelle an der bei uns die LED sitzt, wird zum Ausgang und mit dem Eingang der nächsten Logikstufe (dort wo bei uns die Taster sitzen) verbunden. Dafür ist diese einfache Dioden-Schaltung aber ungeeignet. Der Unterschied von niedriger und hoher Spannung am Ausgang reicht oft nicht aus um die nachfolgende Logikstufe sicher anzusteuern. Zusätzliche Verstärker-Transistoren versprechen hier Abhilfe. Solche Schaltungen wurden früher in großer Zahl (insbesondere für frühe Computer) gebaut. Man nennt sie DTL-Logik (Dioden-Transistor-Logik).

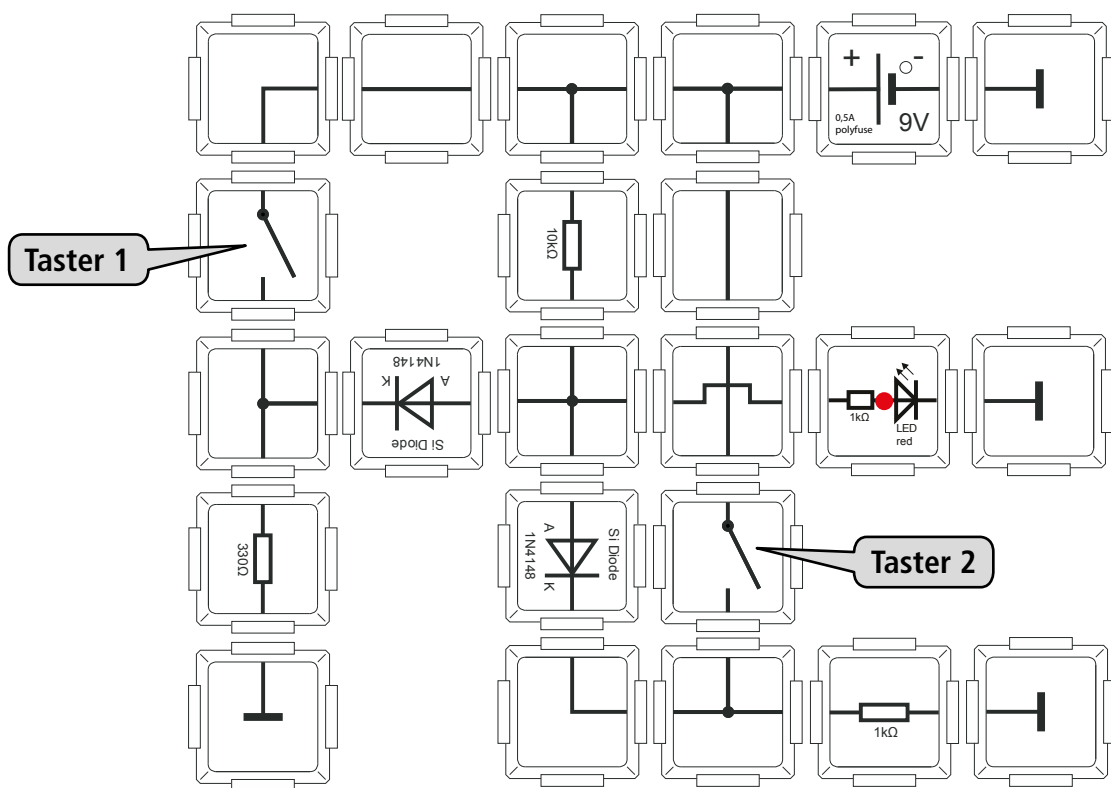


Abb. 61: UND-Schaltung mit Dioden

Hinweis: In der Praxis sollten der 330Ω und der $1\text{k}\Omega$ Widerstand den gleichen Wert haben. Im Advanced Set ist allerdings nur je ein Stück enthalten.

Der Digitaltechniker kann die UND-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (Aus)	0 (Aus)	0 (Aus)
0 (Aus)	1 (Ein)	0 (Aus)
1 (Ein)	0 (Aus)	0 (Aus)
1 (Ein)	1 (Ein)	1 (Ein)

Die rote LED leuchtet nur, wenn Taster 1 UND Taster 2 gleichzeitig betätigt werden.

5.10.3 NAND-Schaltung mit Transistoren

NAND ist englisch und steht für „negated and“ (im Deutschen könnte man negierte UND-Verknüpfung sagen). Die NAND-Verknüpfung zählt neben der NOR-Verknüpfung zu den logischen Funktionen, mit der alle binären Schaltzustände abgebildet werden können. Es existiert formal logisch keine Funktion, die nicht aus diesen beiden Grundverknüpfungen umgesetzt werden könnte. Dies macht deutlich, welche Bedeutung sie in der Technik, besonders in der Computertechnik haben.

Ein weiterer Entwicklungsschritt in der Digitaltechnik waren integrierte Schaltungen mit TTL-Logik. TTL steht für „Transistor-Transistor-Logik“. Im Gegensatz zur DTL-Logik werden nur noch Transistoren ohne Dioden verwendet. Die Familie der TTL-ICs hatten NAND- und NOR-Gatter als Grundlage. Im Gegensatz zu Schaltungen mit einzelnen (diskreten) Transistoren enthalten ICs (Integrated Circuits) viele Halbleiterbauelemente auf engstem Raum. Das NAND-Gatter ist eine der am häufigsten verwendete Logik-Verknüpfung. Erst wenn beide Taster betätigt werden, leiten beide Transistoren und der Strom wird über die Transistoren quasi kurzgeschlossen. Der größte Anteil des Stromes der durch den 1 k Ω -Widerstand begrenzt wird, fließt durch die Transistoren. Ein kleinerer Anteil fließt durch die LED, reicht jedoch nicht aus um die LED zum Leuchten zu bringen.

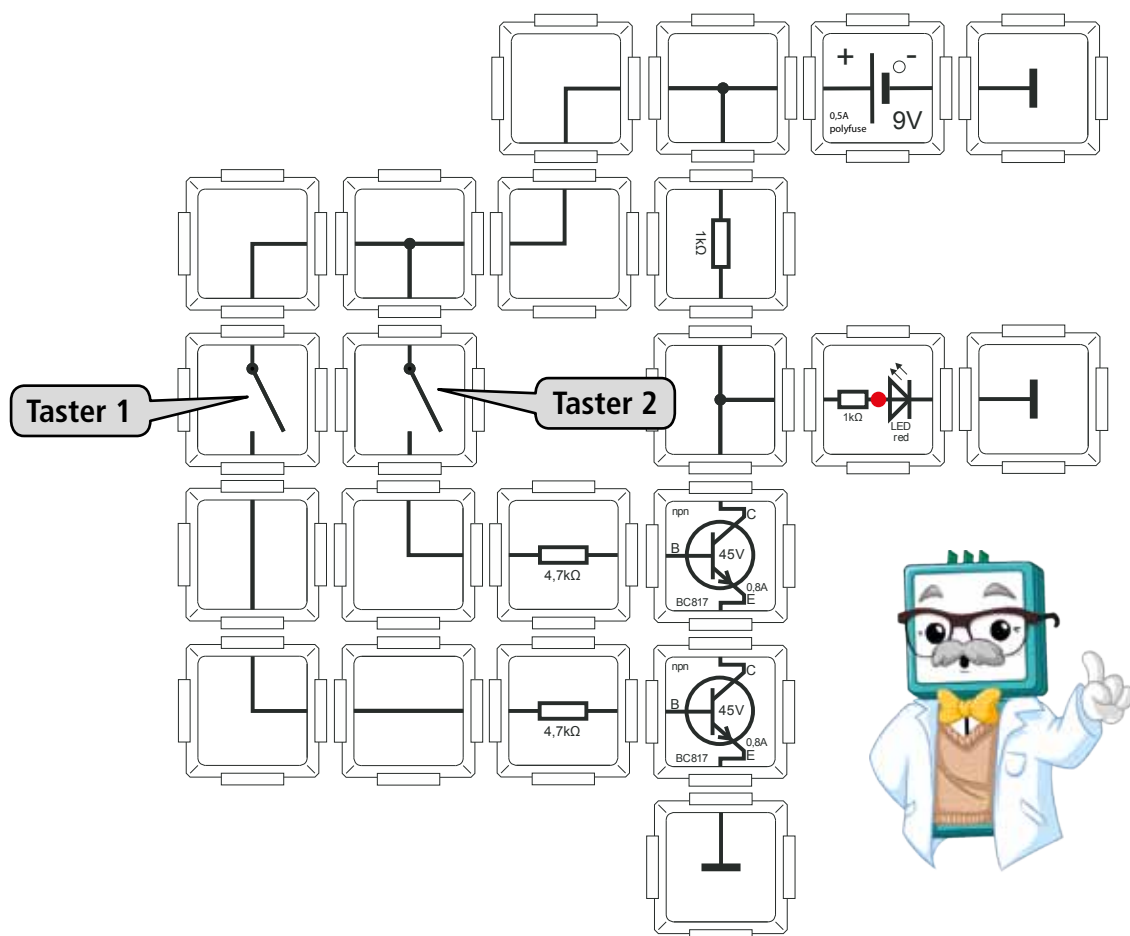


Abb. 62: NAND-Schaltung mit Transistoren

Der Digitaltechniker kann die NAND-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (Aus)	0 (Aus)	1 (Ein)
0 (Aus)	1 (Ein)	1 (Ein)
1 (Ein)	0 (Aus)	1 (Ein)
1 (Ein)	1 (Ein)	0 (Aus)

Die rote LED leuchtet nur, wenn Taster 1 UND Taster 2 NICHT gleichzeitig betätigt werden.

5.10.4 NOR-Schaltung mit Transistoren

NOR ist englisch und steht für „negated or“ (im Deutschen könnte man negierte ODER-Verknüpfung sagen). Die NOR-Verknüpfung ist neben der NAND-Verknüpfung, die zweite elementare Logikfunktion. Sie wird in den sog. NOR-Gattern aus elektronischen Schaltern aufgebaut (wir verwenden hier Bipolartransistoren). An dieser Schaltung ist die Einfachheit der Grundprinzipien in der digitalen Schaltungstechnik gut zu erkennen. Während die NAND-Verknüpfung zwei seriell geschaltete Transistoren parallel zum Ausgang der LED hat, wird die NOR-Verknüpfung durch zwei parallel geschaltete Transistoren parallel zum Ausgang umgesetzt und verwirklicht damit elementar die Funktion der Schaltung. Die rote LED erlischt, wenn einer oder beide Taster gedrückt werden.

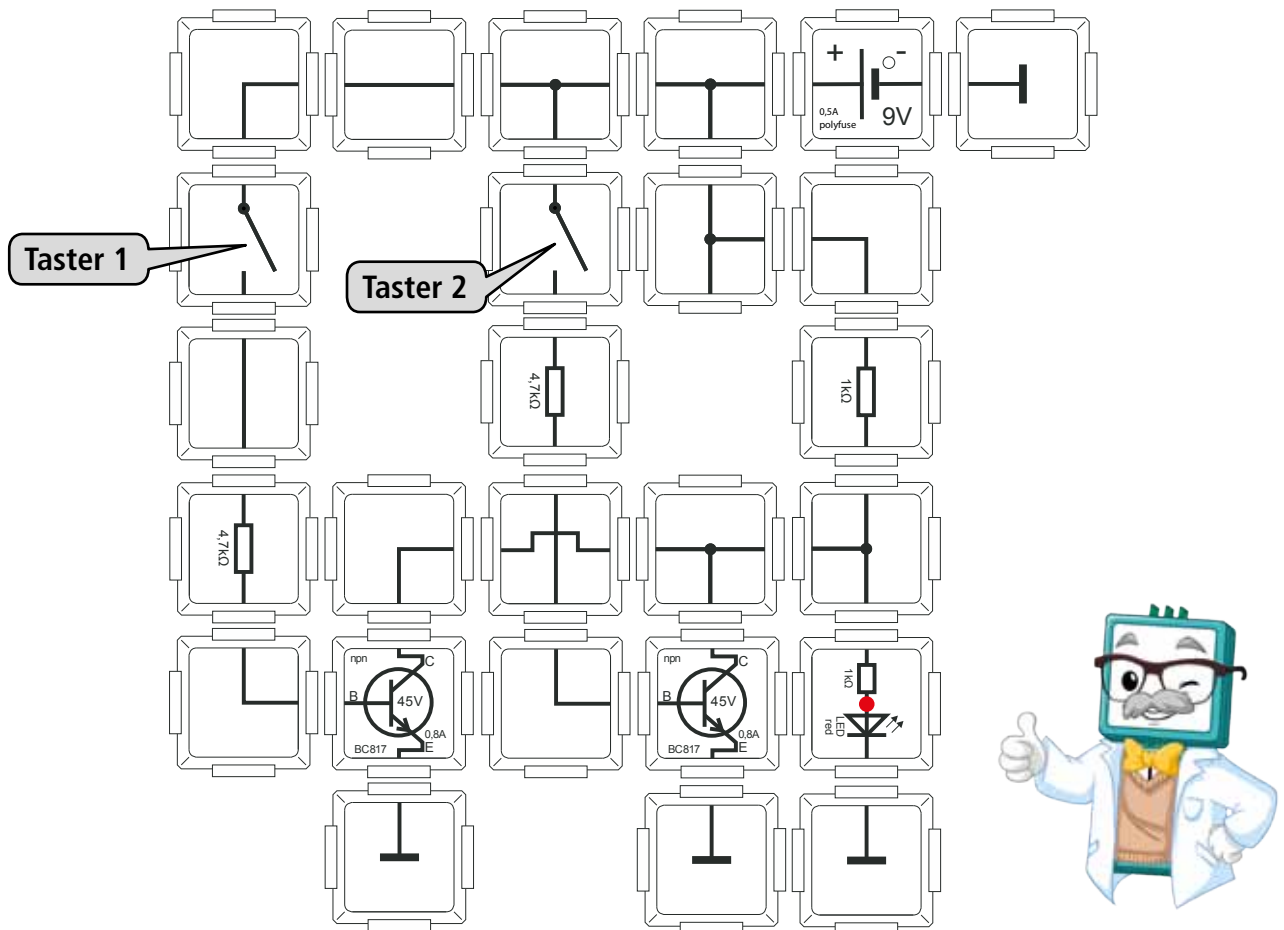


Abb. 63: NOR-Schaltung mit Transistoren

Der Digitaltechniker kann die NOR-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (Aus)	0 (Aus)	1 (Ein)
1 (Ein)	0 (Aus)	0 (Aus)
0 (Aus)	1 (Ein)	0 (Aus)
1 (Ein)	1 (Ein)	0 (Aus)

Die rote LED leuchtet nur, solange keiner der beiden Taster betätigt wird. Anders ausgedrückt: sie leuchtet dann NICHT, wenn Taster 1 ODER Taster 2 ODER beide Taster gleichzeitig gedrückt werden.

5.10.5 AND-Schaltung mit Transistoren

Aus der booleschen Algebra wissen wir, dass eine negierte NAND-Verknüpfung wieder eine AND-Funktion ergibt. Dies bestätigt auch die Wahrheitstabelle (siehe unten). Wir nehmen also die NAND-Schaltung aus Kapitel 5.10.3 und schließen am Ausgang eine NICHT- oder engl. NOT-Schaltung (auch Inverter genannt) an und erhalten so eine AND-Schaltung. Die Nicht-Schaltung kann, wie aus folgender Schaltung ersichtlich sehr einfach mit nur einem Transistor aufgebaut werden. Die LED leuchtet nur, wenn sowohl Taster 1 als auch Taster 2 gedrückt werden. Wir haben also die AND-Funktion realisiert.

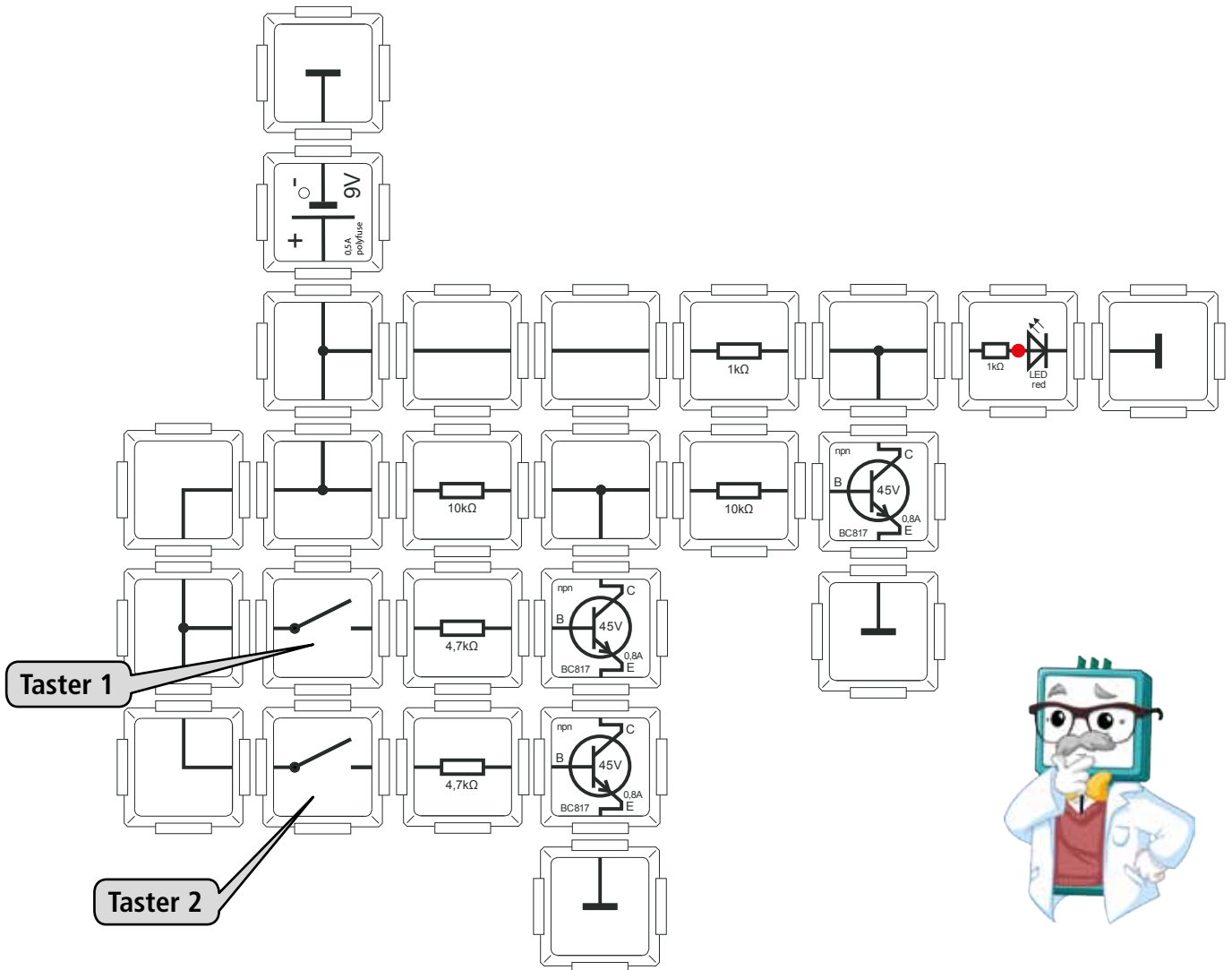


Abb. 64: AND-Schaltung mit Transistoren

Der Digitaltechniker kann die AND(UND)-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (Aus)	0 (Aus)	0 (Aus)
0 (Aus)	1 (Ein)	0 (Aus)
1 (Ein)	0 (Aus)	0 (Aus)
1 (Ein)	1 (Ein)	1 (Ein)

Die rote LED leuchtet nur, wenn Taster 1 UND Taster 2 gleichzeitig gedrückt werden.

5.10.6 OR-Schaltung mit Transistoren

Eine OR- bzw. ODER-Schaltung lässt sich durch eine doppelte Negation genauso umsetzen wie die AND-Schaltung im vorangegangenen Versuch. Hierzu verwenden wir zwei zueinander parallel geschaltete Schaltkreise. Die ODER-Verknüpfung ist aus der Parallelschaltung der Transistoren realisiert, die durch die beiden Taster gesteuert werden. Somit wird das Signal zweimal negiert, sodass sich gemäß der booleschen Algebra wieder eine OR-Verknüpfung ergibt.

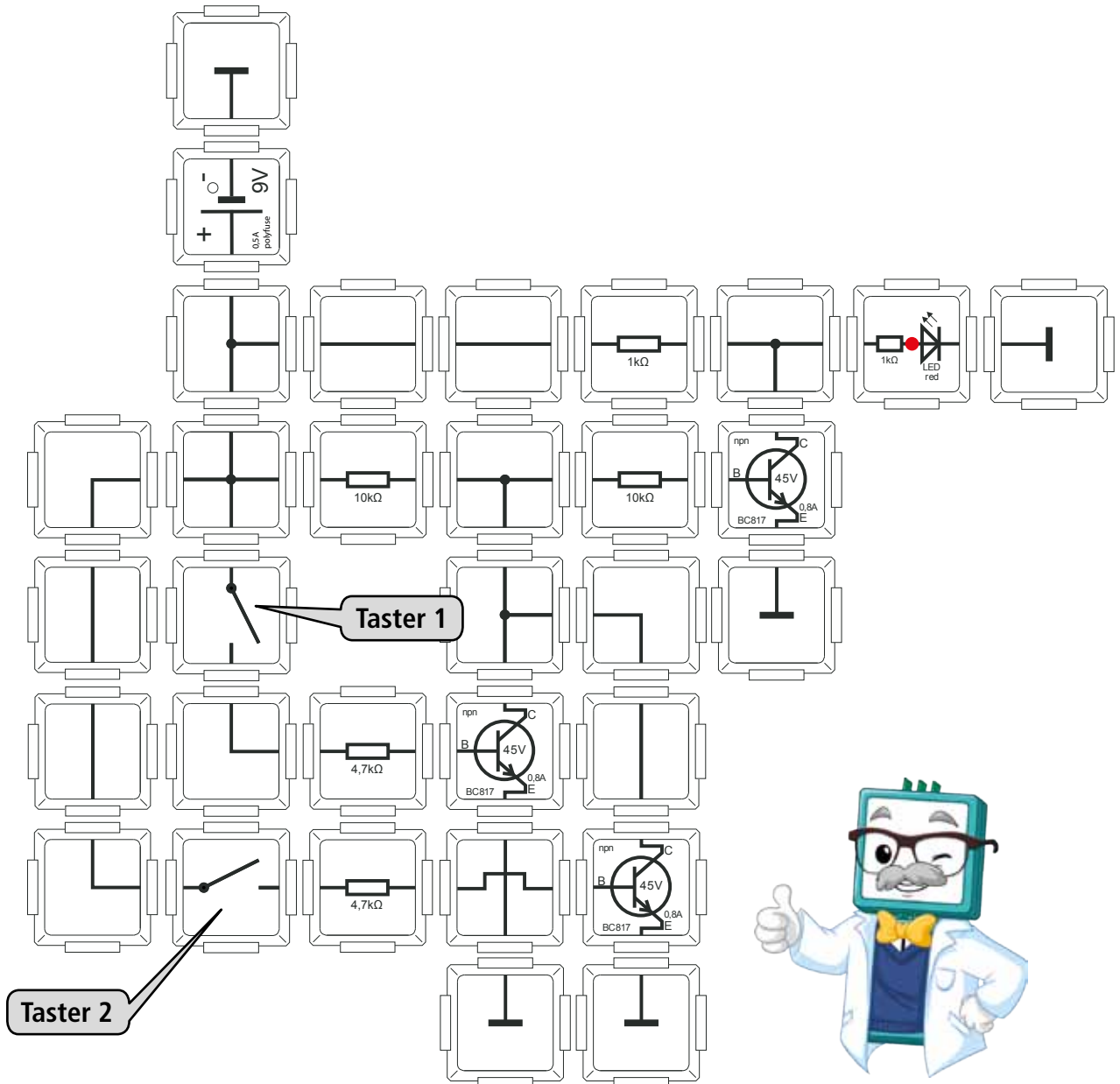


Abb. 65: OR-Schaltung mit Transistoren

Der Digitaltechniker kann die OR(ODER)-Verknüpfung in Form einer Wahrheitstabelle darstellen:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (Aus)	0 (Aus)	0 (Aus)
1 (Ein)	0 (Aus)	1 (Ein)
0 (Aus)	1 (Ein)	1 (Ein)
1 (Ein)	1 (Ein)	1 (Ein)

Die rote LED leuchtet, wenn Taster 1 ODER Taster 2 ODER beide Taster gleichzeitig betätigt werden.

5.11 Oszillatorschaltungen

5.11.1 Quarz-Oszillator im 13,56 MHz ISM-Band

Zur Erzeugung von Schwingungen brauchen wir ein schwingfähiges Gebilde. Mechanische Uhren verwenden dazu ein Pendel oder eine Unruhe. Das Pendel würde langsam aufhören zu Schwingen, wenn nicht durch geschickte Uhrmachertechnik permanent Energie nachgeliefert würde. In der Elektronik kann man als schwingfähiges Gebilde Schwingkreise oder Quarze verwenden. Quarze sind wesentlich frequenzstabiler als Schwingkreise. Die permanente Nachlieferung von Energie wird durch eine sogenannte Rückkopplung bewirkt. An das schwingende Gebilde (bei uns der Quarz) wird ein verstärkendes Element (bei uns ein Transistor) angeschlossen. Vom Ausgang des Verstärkers (bei uns der Kollektoranschluss des Transistors) wird Energie auf den Schwingkreis zurückgekoppelt (bei uns ist ja der Quarz direkt an den Kollektor angeschlossen). Und schon schwingt die Schaltung mit der Frequenz, die vom Quarz vorgegeben wird.

Die Funkfrequenzen für verschiedene Funkdienste sind in unterschiedliche Frequenzbänder unterteilt, um gegenseitige Störungen zu vermeiden. Unsere Oszillator-Schaltung verwendet eine Frequenz des lizenzfreien ISM-Bands (Industrial, Scientific and Medical Band, deutsch: Industrie-, Wissenschafts- und Medizin-Band). Unser Schwingquarz liegt mit 13,56 MHz etwa die Mitte dieses Bands. Viele handelsübliche Transponder (z. B. RFID) senden auch auf dieser Wellenlänge. Die Frequenz kann durch einen Kondensator noch erhöht werden. In unserem Beispiel ist das der 33 pF-Kondensator. Um die konventionellen Frequenzen von Funk bzw. Radio nicht zu stören, schließe bitte keine Antenne an, da die Schaltung Oberwellen erzeugt, die ein ganzzahliges Vielfaches der Resonanzfrequenz des Schwingquarzes sind. Diese Wellen können Funkdienste stören. Du kannst die Hochfrequenz (HF) auch mit einem Weltempfänger auf Kurzwelle mit Einseitenband-Modulation (SSB) oder Morsen (CW) empfangen. Die Funktion des Oszillators wird hier trickreich durch die beiden LEDs nachgewiesen. Der Kondensator lässt keine Gleichspannung passieren. Die negative Halbwelle bewirkt Stromstöße durch die rote LED. Die positive Halbwelle bewirkt Stromstöße durch die gelbe LED. Die Trägheit der Photorezeptoren des menschlichen Auges bewirkt, dass Lichtsignale mit Frequenzen oberhalb von ca. 100 Hz als flimmerfreies Dauerleuchten wahrgenommen werden. Man sieht also beide LEDs schwach leuchten, was die Existenz einer Wechselfspannung beweist.

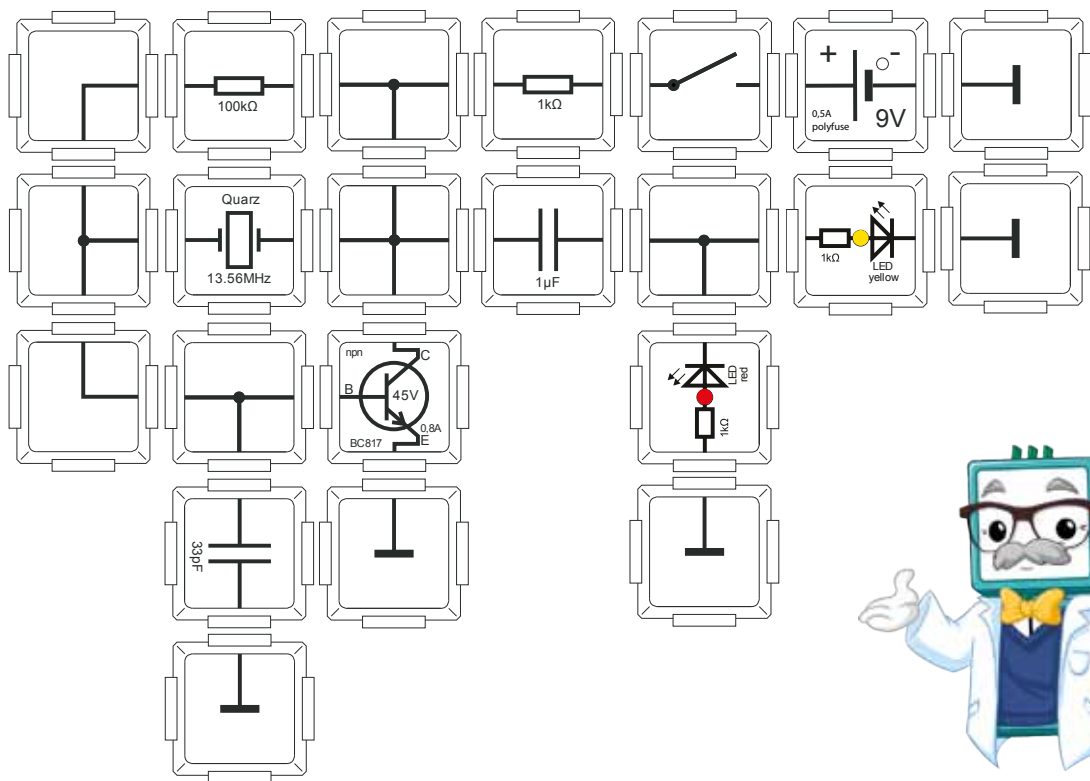


Abb. 66: HF-Generator im 13,56 MHz ISM-Band

5.11.2 Quarz-Oszillator mit Abstimmung

Diese Schaltung unterscheidet sich von der vorigen nur dadurch, dass wir statt einem Festkondensator einen verstellbaren Trimmer-Kondensator verwenden. Damit kann man die Sendefrequenz einstellen. Diese Schaltung erzeugt genauso wie die vorherige einen unmodulierten Träger. Wenn man aber einen SSB-Empfänger verwendet, kann man durch Verstimmen des Empfängers eine veränderliche Tonhöhe wahrnehmen. 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. Er wird gerne im Amateurfunk für Sprechfunkverkehr verwendet. Aber nicht nur Amateurfunkempfänger, sondern auch einige Weltempfänger können das. Diese Modulationsart hat den Vorteil, dass die gesamte Sendenergie für die Informationsübermittlung verwendet wird (Amplitudenmodulation braucht mehr als die doppelte Bandbreite). Im Versuch 5.11.1 war die Frequenz konstant, daher ist im Weltempfänger ein konstanter Pfeifton zu hören. Mit dem veränderbaren Kondensator trimmen wir die Resonanzfrequenz des Schwingquarzes etwas, sodass die Tonhöhe variiert wird. Wenn wir ein herkömmliches Kurzwellen-Radio (mit Amplituden-Modulation) auf 13,56MHz einstellen und unseren Sender Ein- und Aus-Schalten können wir nur ein sich veränderndes Rauschen hören, da die Amplitude der Schwingung keine Änderung erfährt (nicht moduliert wird).

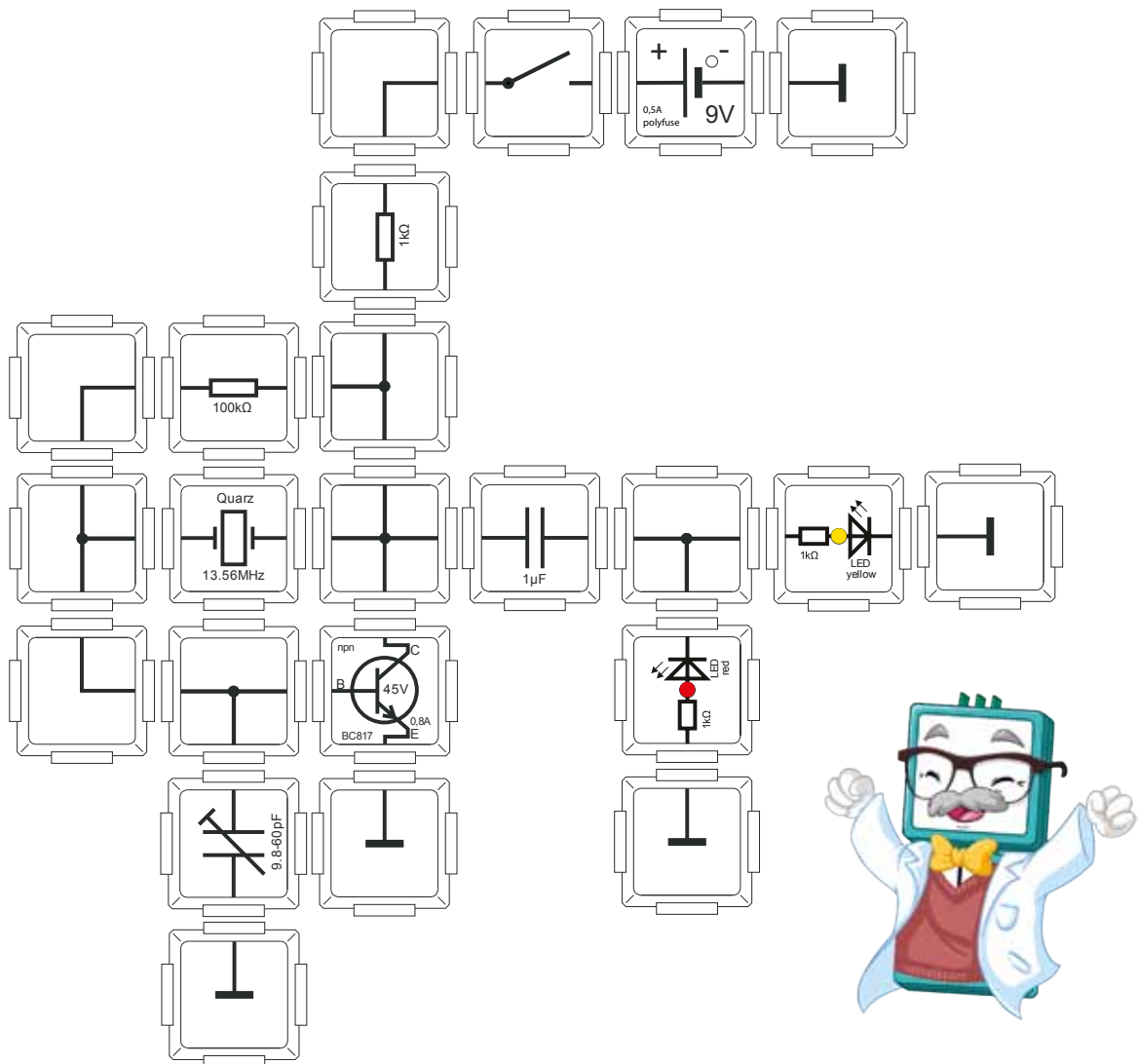


Abb. 67: Quarzoszillator mit Abstimmung

5.11.3 Quarz-Oszillator mit Kapazitätsdiode

Die Kapazitätsdiode ist ein besonderes elektronisches Bauelement. Sie verändert, in Sperrichtung geschaltet, ihre Kapazität in Abhängigkeit von der angelegten Spannung. Das physikalische Grundprinzip hierfür ist einfach. Die Sperrschicht in der Kapazitätsdiode 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 verwendete Kapazitätsdiode vom Typ BB131 hat ein Kapazitätsintervall von 1 pF bis 14 pF. 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. Die Einstellung der Diodenkapazität kann über ein Potentiometer sehr genau erfolgen. Unsere Schaltung hier unterscheidet sich von Versuch 5.11.2 nur durch den Schaltungszweig von der Basis nach unten. Der 1 µF-Kondensator an der Basis des Transistors trennt die notwendige Diodensteuerspannung von der ebenfalls notwendigen Arbeitspunkteinstellung für den Transistor (ca. 0,6V). Ohne ihn wären die beiden Stromquellen kurzgeschlossen. Der 330 Ω-Widerstand ist notwendig, um einen Kurzschluss der 13,56 MHz Wechselspannung gegen Masse zu verhindern. Auch hier ist im Weltempfänger (eingestellt auf SSB-Modulation oder CW) die Hochfrequenz nachweisbar.

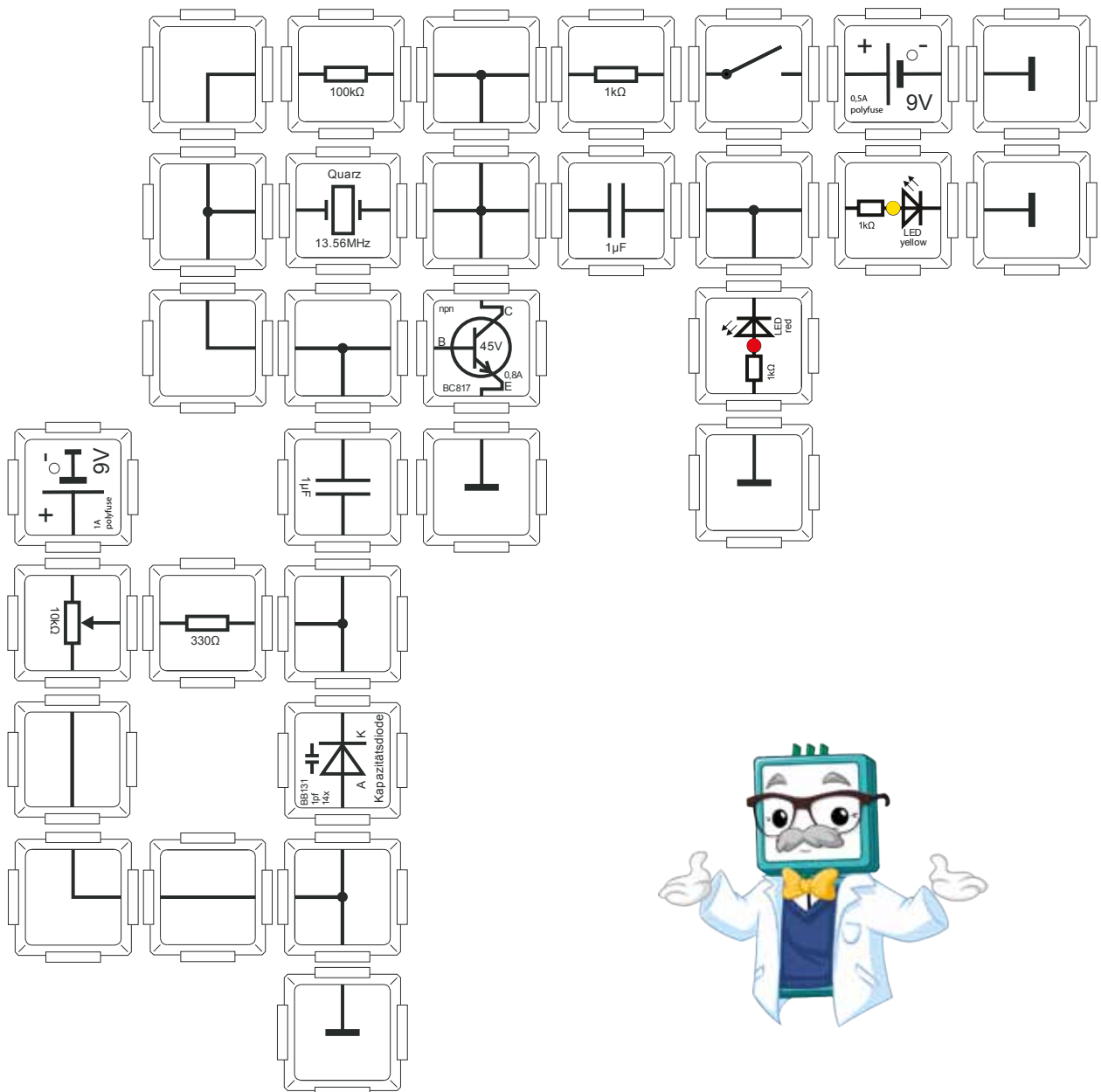


Abb. 68: Quarzoszillator mit Kapazitätsdiode

5.11.4 Schwingkreis mit Kondensator und Spule

Wir hatten am Anfang, bei der Einführung zum Thema Oszillator in Kap. 5.11.1 schon erwähnt, dass als schwingendes Element neben dem Quarz auch ein klassischer Schwingkreis verwendet werden kann. Ein solcher wird durch die Verbindung eines Kondensators (C) und einer Spule (L) aufgebaut (Kondensatoren und Spulen gab es schon vor den Quarzen).

Sowohl die Spule als auch der Kondensator sind Bauelemente, die Energie speichern können. Die Spule im magnetischen Feld. Der Kondensator im elektrischen Feld. Wenn man den Kondensator auflädt und dann eine Spule parallel schaltet, wird der Kondensator über die Spule entladen. Da wegen der Selbstinduktion der Spule, der Spulenstrom nicht sofort, sondern erst verzögert hochläuft, dauert die Entladung etwas länger. Wenn der Kondensator ganz entladen ist, ist die ganze Energie vom elektrischen Feld des Kondensators in das magnetische Feld der Spule geflossen. Da aber der Spulenstrom aufgrund der Selbstinduktion nur verzögert ansteigen konnte, kann er auch nur verzögert wieder abklingen. Es fließt also weiter Strom obwohl die Kondensatorspannung Null erreicht hat. Dadurch wird der Kondensator jetzt in entgegengesetzter Richtung (andere Polung) geladen. So schwingt jetzt die Energie permanent zwischen C und L hin und her, bis sie langsam durch die inneren Widerstände von Spule, Kondensator und andere Verluste verbraucht wird. Die Schwingung klingt ab. Die Resonanzfrequenz ist um so höher, je größer das Produkt aus Kapazität des Kondensators und der Induktivität der Spule ist.

Zur Berechnung der Resonanzfrequenz f_0 verwenden wir die Thomsonsche Schwingungsgleichung. Für die Mittelstellung des veränderbaren Kondensators (300 pF) ergibt sich:

$$f_0 = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{L \times C}} = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{10 \mu H \times 100 pF}} = 2,9 \text{ MHz}$$

Beim Oszillator sorgt eine Rückkopplung über einen Verstärker dafür, dass die Verluste des Schwingungsanregers permanent ausgeglichen werden und die Schwingung kontinuierlich weiterläuft. Dass der Oszillator wirklich schwingt und eine HF-Wechselspannung liefert, weisen wir wieder mit unseren antiparallel geschalteten LEDs nach, wie bei unseren vorherigen Oszillator-Schaltungen. Wenn beide LEDs leuchten, ist eine Wechselspannung realisiert. Mit einem Oszilloskop oder einem Frequenz-Messgerät kann diese zwischen Masse und der Anode der roten LED abgegriffen und dargestellt werden.

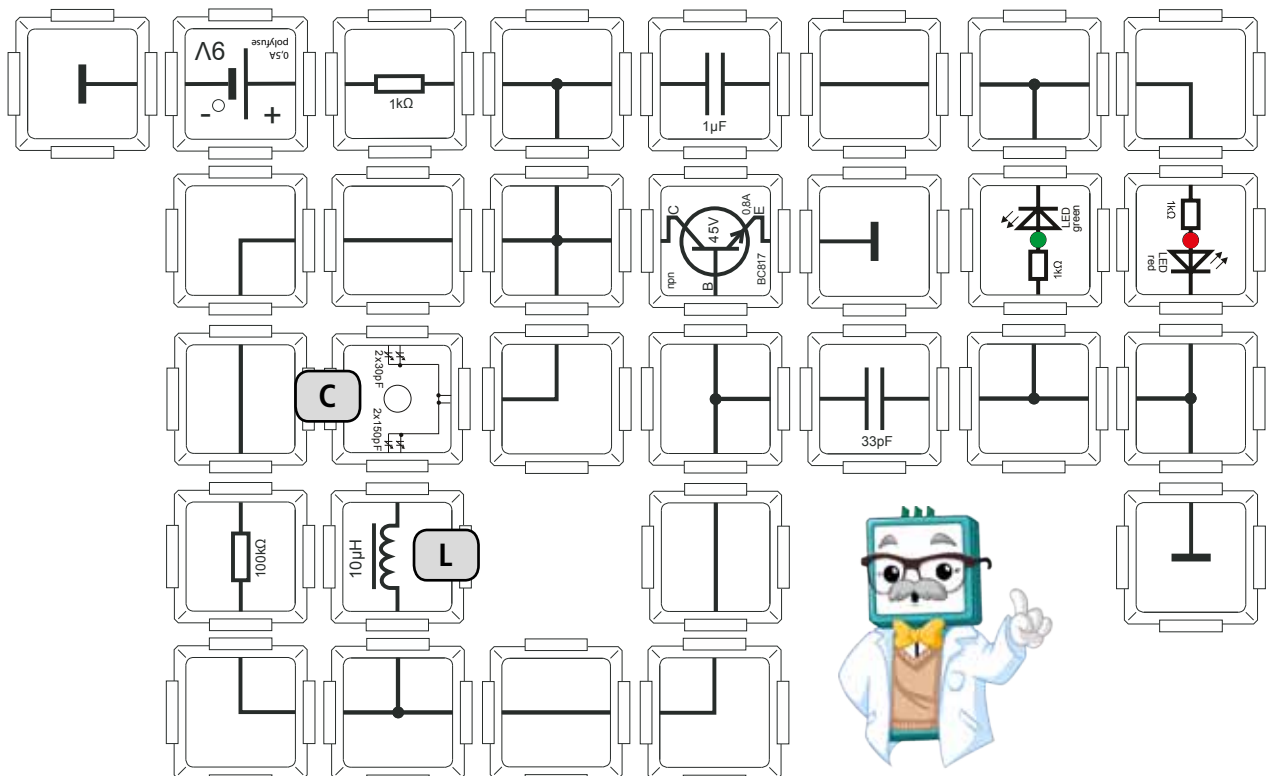


Abb. 69: Schwingkreis mit Kondensator und Spule

5.12 Der Operationsverstärker (OPV)

5.12.1 Operationsverstärkers als Komparator

Im Kapitel 5.9 hatten wir mit dem Timer-Baustein 555 schon unsere erste integrierte Schaltung kennengelernt. Eine der ersten Analog-Schaltungen für die schon früh Halbleiter-ICs in hohen Stückzahlen gefertigt wurden ist der Operationsverstärker, da er sehr vielfältig eingesetzt werden kann. Ein OPV kann den Spannungsunterschied an seinen zwei Eingängen, von denen einer mit Plus und der andere mit Minus bezeichnet ist, verstärken. Deshalb wird er auch Differenzverstärker genannt. Da er aber auch für viele andere Operationen, wie Addieren oder Subtrahieren verwendet werden kann, wird er heute meist OPV = Operationsverstärker oder englisch OPA = Operational Amplifier genannt. Die Verstärkung beträgt mehrere Hunderttausend. Der OPV vom Typ LMC662 ist aus MOSFETs aufgebaut, deshalb ist der Stromfluss an seinen Eingängen mit wenigen Femto-Ampere (10-15 fA) sehr klein. Da MOSFETs schon durch elektrostatische Entladung zerstört werden können, musst du sehr vorsichtig im Umgang mit diesem Brick sein. Unser LMC662-Brick schleift die Versorgungs-Spannung vom oberen zum unteren Hermaphrodit-Kontakt durch. Die Masse ist intern verdrahtet. Das soll den Verdrahtungsaufwand reduzieren. Der Spannungsteiler aus den 10k Ω -Festwiderständen halbiert die Versorgungsspannung. Die Polarität der Ausgangsspannung wechselt, wenn die Schwelle von 4,5V unterschritten wird – in der Folge erlischt die rote LED. Der Vorzeichenwechsel der Ausgangsspannung findet beim Drehen des Potentiometers im Uhrzeigersinn, beim Überschreiten der Mittelstellung, statt. In der zweiten Schaltung ist der Kreuzungs-Brick um 180 Grad gedreht, sodass der positive (+) und negative (-) OPV-Eingang vertauscht angeschlossen wird. Folglich muss das Potentiometer in entgegengesetzter Richtung gedreht werden, um dieselbe Wirkung zu erzielen. Eine solche Schaltung, die zwei Spannungen vergleicht und meldet, welche von beiden größer ist, nennt man Komparator. Die Verstärkung des ICs ist so groß, dass wir mit dem Poti nie eine Stellung finden werden, bei der die Ausgangsspannung einen mittleren Wert einnimmt. Sie wird immer entweder nahe an der negativen Betriebsspannung des OPV's (hier Masse) oder an der positiven (hier +9V) sein.

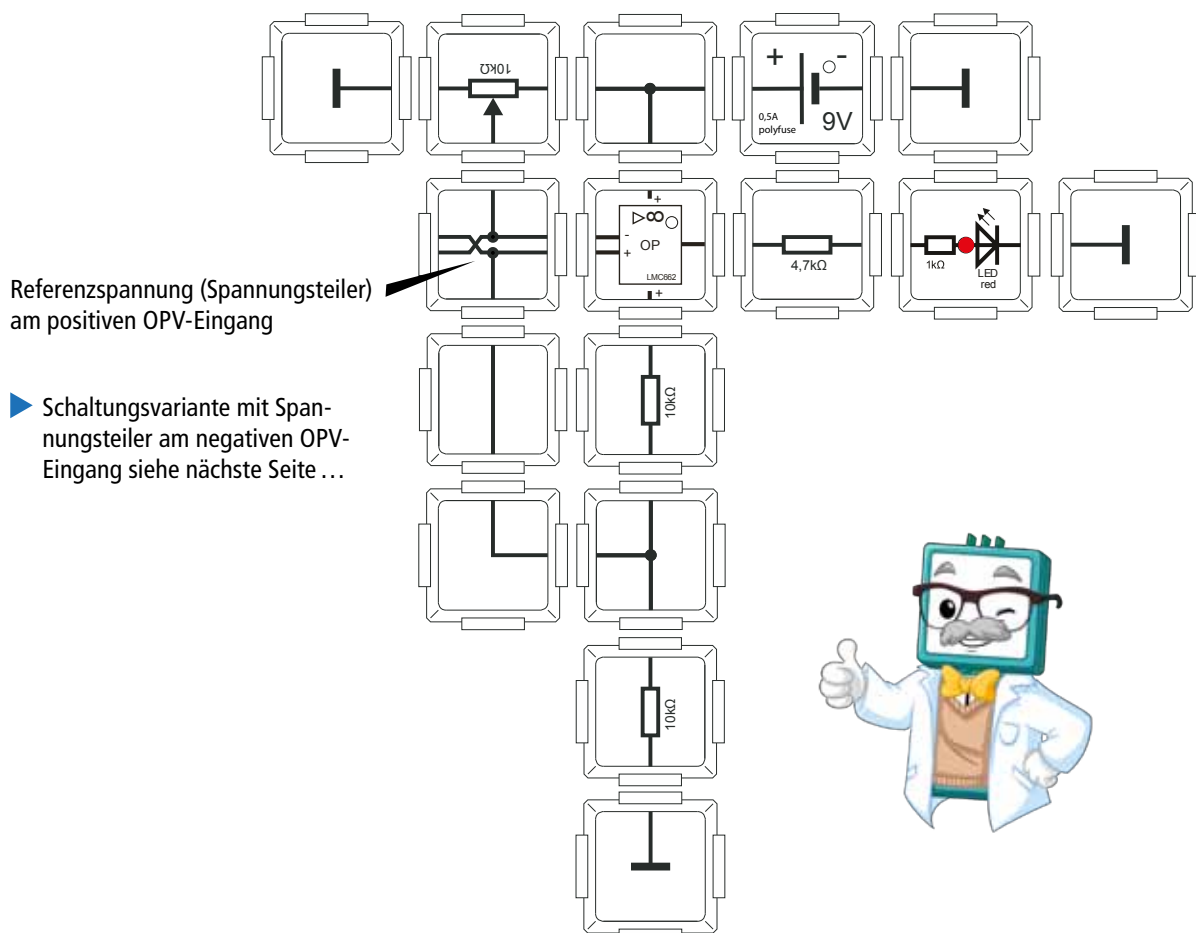


Abb. 70: Operationsverstärker als Komparator (positiver Eingang)

Operationsverstärker als Komparator (Fortsetzung) ...

Referenzspannung (Spannungsteiler) am negativen OPV-Eingang – Kreuzungs-Brick um 180° gedreht im Vergleich zu Abb. 70

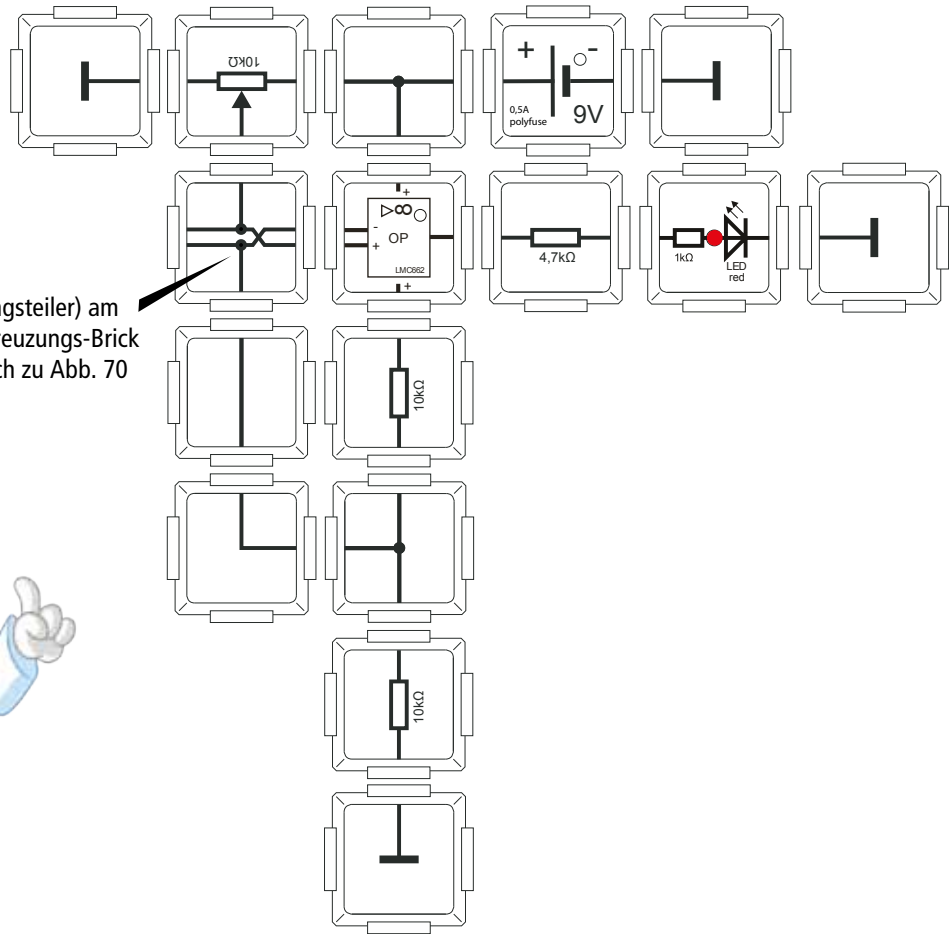


Abb. 71: Operationsverstärker als Komparator (negativer Eingang)

5.12.2 Operationsverstärker als Spannungsfolger

Wir haben bereits erwähnt, dass es viele Einsatzfelder für OPVs gibt. Dafür gibt es viele Grundschaltungen. Eine, den Komparator, haben wir schon kennengelernt. Die einfachste Verstärker-Grundschaltung ist der folgende Spannungsfolger. Hier wird der Minus-Eingang des OPVs mit seinem Ausgang verbunden. Wenn die Spannung am Plus-Eingang nur minimal steigt wird der OPV sofort seine Ausgangsspannung anheben. Aber wegen der Verbindung vom Verstärkerausgang zum negativen Eingang (man nennt das eine Gegenkopplung) wird der OPV gebremst und seine Ausgangsspannung steigt nur so lange, bis er die Eingangsspannung am positiven Eingang erreicht hat. So folgt schließlich die Ausgangsspannung des OPV's der Eingangs-Spannung des OPV's, die am Plus-Eingang anliegt. Um das zu zeigen wird in unserer Schaltung der Plus-Eingang an ein Potentiometer angeschlossen, sodass wir verschiedene Eingangsspannungen einstellen können.

Die Leuchtintensität der roten LED kann jetzt mit dem Potentiometer geregelt werden. Der Vorteil dieser Schaltung ist, dass durch die Hochohmigkeit des Eingangs, das Potentiometer nur sehr wenig belastet wird, im Gegensatz zu einer direkten Regelung über das Potentiometer. Ein moderner OPV kann tatsächlich mehr thermische Verlustleistung aushalten als eine kleiner empfindlicher Poti-Schleifkontakt. Daher können an Stelle des Potis auch andere Bauelemente verwendet werden, die einen viel höheren Widerstand besitzen, als das 10 k Ω -Potentiometer.

Alle verstärkenden OPV-Grundschaltungen sind mit einer Gegenkopplung (hier die direkte Verbindung vom Ausgang zum Eingang) konstruiert. Der OPV möchte stets die Spannungsdifferenz zwischen Plus- und Minus-Eingang ausgleichen. Dies bedeutet, der Ausgang stellt sich auf jene Spannung ein, dass der Plus- und der Minus-Eingang des OPVs auf gleichem Potential sind.

$$\text{Es gilt: } U_+ = U_-$$

Und weil hier ja der Ausgang mit dem negativen Eingang verbunden ist, folgt der Ausgang (bis auf minimale Fehler des OPV) genau dem Eingang. Mit dieser Regel kann man auch die Funktion anderer OPV-Schaltungen schnell ableiten.

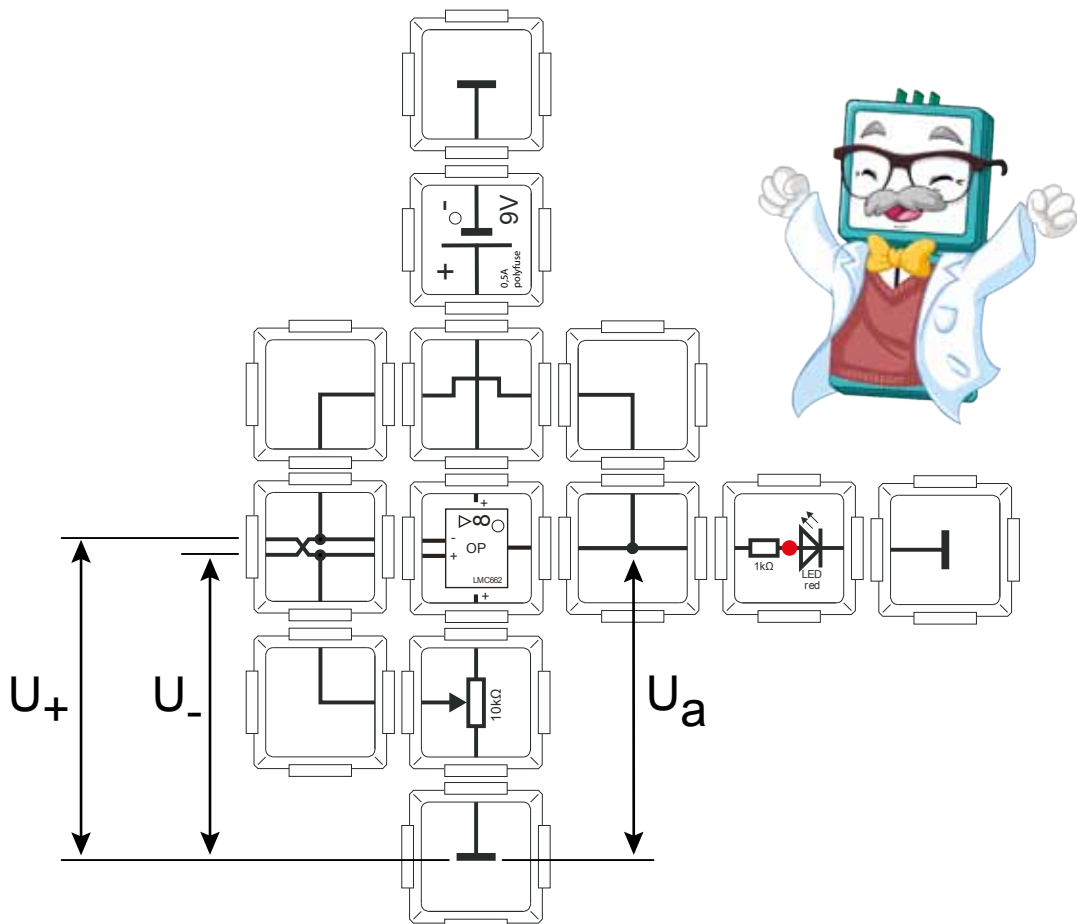


Abb. 72: Operationsverstärker als Spannungsfolger

5.12.3 Operationsverstärker als nicht-invertierender 11:1 Verstärker

Ein idealer Verstärker liefert eine Ausgangsspannung, die um einen bestimmten, definierten Faktor höher ist als die Eingangsspannung. Diesen Faktor nennt man Verstärkung. Der Spannungsfollower aus dem letzten Versuch ist eine Sonderform des Verstärkers, bei dem der Verstärkungsfaktor stets 1 ist. Jetzt wollen wir einen Verstärker mit der Verstärkung 11 bauen. Das funktioniert mit einem Spannungsteiler in der Gegenkopplung. Das ist unsere nächste OPV-Grundschaltung. Wir hatten ja schon die Regel kennengelernt, dass sich bei den gewöhnlichen OPV-Grundschaltungen die Ausgangsspannung so einstellt dass gilt: Plus-Eingangsspannung = Minus-Eingangsspannung.

Damit können wir das Verhalten der Schaltung ableiten:

$$U_+ = U_- = U_a \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \Rightarrow U_a = U_+ \times \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

...mit den Werten aus unserer Brick-Schaltung ergibt sich ein Verstärkungsfaktor von 11:

$$U_a = U_+ \times \frac{10 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \Rightarrow \frac{U_a}{U_+} = \frac{10 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 11$$

Dieser Faktor ergibt sich aus dem Widerstandsverhältnis des Widerstands am Minus-Eingang (R_1) des OPVs gegen Masse zum Gesamtwiderstand der Widerstandskombination ($R_1 + R_2$) am OPV-Ausgang gegen Masse. 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 ($U_+ = U_-$) bzgl. der Versorgungsspannung (hier +9V) erreicht. Danach ist keine Änderung der Leuchtintensität der LED mehr zu beobachten, der Maximalwert ist erreicht. Die Polarität der Ausgangsspannung ist positiv (nicht invertierend), da die Spannung am Plus-Eingang verändert wird.

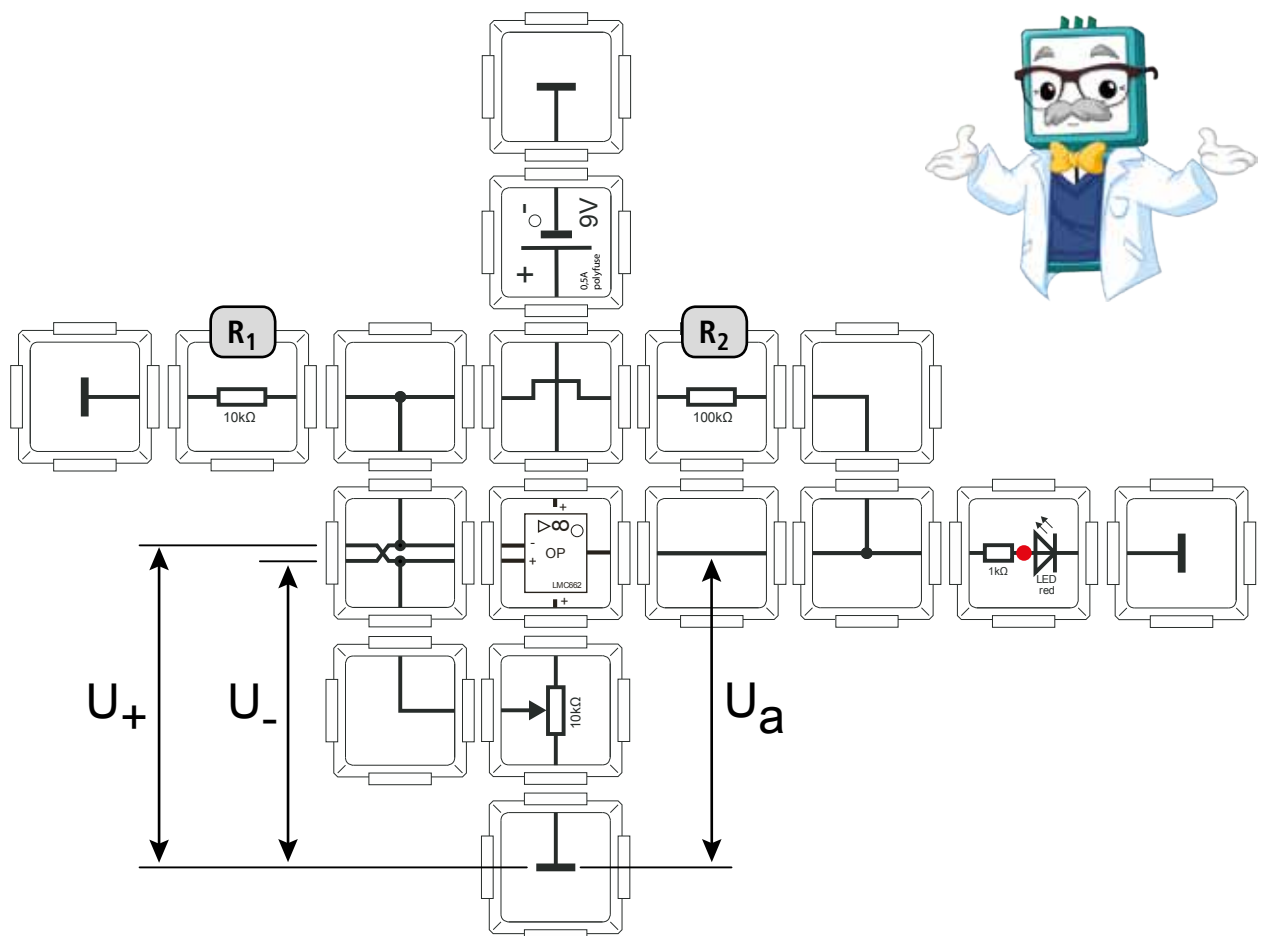


Abb. 73: Operationsverstärker als nicht-invertierender Verstärker (11:1)

5.12.4 Operationsverstärker invertierend mit virtueller Masse und 10:1 Verstärkung

Die folgende Schaltung besitzt zwei Lernziele: Sie zeigt uns eine weitere OPV-Grundschialtung und wie man eine virtuelle Masse (das ist ein Schaltungsknoten der auf Massepotential bleibt, obwohl er nicht direkt mit der Masse verbunden ist) erzeugt. Die hohe Verstärkung von OPVs ist normalerweise (der Komparator vom Kapitel 5.12.1 ist eine Ausnahme) gar nicht gewünscht da zu hohe Verstärkungen leicht zu instabilen Schaltungen führen können.

Daher wird beim Einstaz von OPVs fast immer eine Gegenkopplung gebaut, bei der das Ausgangssignal so auf einen der OPV-Eingänge zurückgeführt wird, dass diese Gegenkopplung der Änderung des Signals entgegenwirkt. Es kommt also zu einer Stabilisierung. Das Gegenteil zur Gegenkopplung ist die Rückkopplung, die nicht eine Stabilisierung des Signals, sondern eine Verstärkung von Änderungen bewirkt. Das hatten wir bei den Oszillator-Schaltungen kennengelernt. Dort haben wir mit ausreichender Rückkopplung das Aufschaukeln bis zu einer permanenten Schwingung erreicht.

In diesem Versuch wird die Gegenkopplung über den Spannungsteiler aus $100\text{ k}\Omega + 10\text{ k}\Omega + 10\text{ k}\Omega$ -Poti erreicht. Ein Teil der Ausgangsspannung wird über den $100\text{ k}\Omega$ -Widerstand auf den negativ wirkenden Eingang geführt. Durch Verwendung des negativen Eingangs handelt es sich um eine Gegenkopplung.

Die Eingangsspannung dieser Grundschialtung ist die Spannung U_e am Schleifkontakt des Potis:

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

$$U_- = (U_a - U_e) \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_e$$

Um die Ausgangsspannung zu erhalten, muss der Term nach U_a aufgelöst werden:

$$U_a = (U_- - U_e) \times \frac{R_1 + R_2}{R_1} + U_e = U_- \times \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_e \times \frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{mit } U_+ = U_- = 0\text{ V ist, folgt: } U_a = -U_e \times \frac{R_2}{R_1} = -U_e \times \frac{100\text{ k}\Omega}{10\text{ k}\Omega} = -10 \times U_e$$

Das entspricht einem Verstärkungsfaktor von **-10** für die Widerstandskombination aus $100\text{ k}\Omega$ und $10\text{ k}\Omega$. Der Verstärker arbeitet mit einer virtuellen Masse von $4,5\text{ V}$. D. h. die Spannungsdifferenz zwischen U_e und $4,5\text{ V}$ wird genau um den Faktor **-10** verstärkt und am Ausgang U_a (der Ausgang des OPVs) ausgegeben, wobei die Ausgangsspannung ebenfalls gegen die virtuelle Masse gemessen werden muss. Wenn wir statt den beiden $4,7\text{ k}\Omega$ Widerständen andere Werte wählen, können wir auch eine andere Spannung als $4,5\text{ V}$ einstellen.

Die rote LED leuchtet bei der Drehung des Potentiometer-Knopfes im Uhrzeigersinn immer stärker. Die Ausgangsspannung macht einen Vorzeichenwechsel gegenüber der Eingangsspannung (man sagt der Verstärker invertiert) und überstreicht einen Bereich von max. $\pm 4,5\text{ V}$ bzgl. unserer virtuellen Masse, die wir mit $4,5\text{ V}$ am Minus-Eingang des OPVs erzeugt haben. Dies entspricht $U_{max}/2$ bzgl. der Versorgungs-Masse.



Aufgabe:

Sie können auch, statt nur einer, zwei verschiedenfarbige LED's anschliessen. Wenn Sie das richtig machen, können Sie den Vorzeichenwechsel sehen.

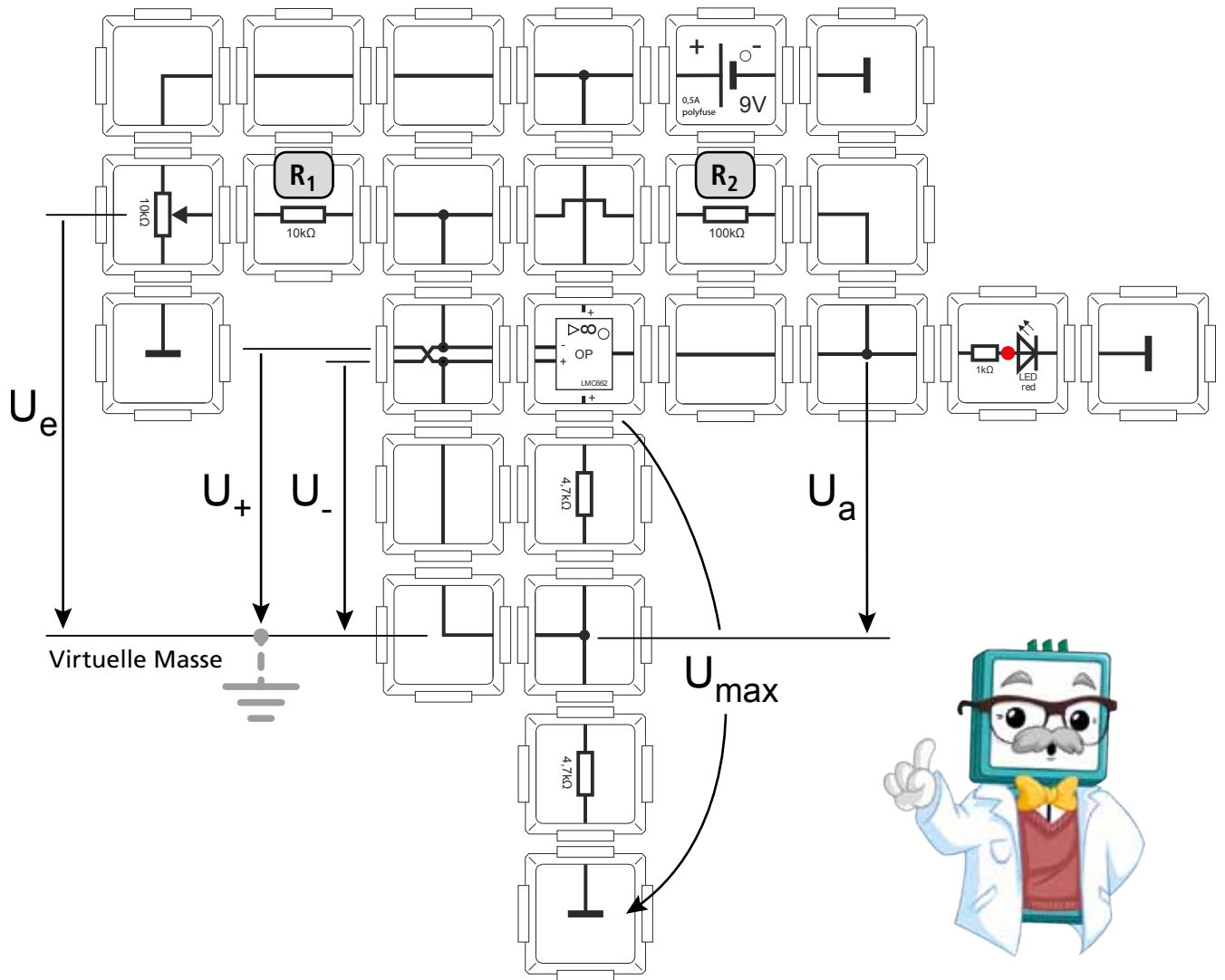


Abb. 74: Operationsverstärker invertierend mit virtueller Masse

5.12.5 Operationsverstärker als Integrator

Auch komplexe mathematische Operationen wie das Integrieren lassen sich mit einem OPV nachbilden. Das Integral (lernt man im Mathematikunterricht) ist der Flächeninhalt unter einer Funktion. Die Funktion ist hier der Verlauf der Eingangsspannung (y-Achse) am Schleif-Kontakt des Potis gegenüber der Zeit (x-Achse).

Um das zu erreichen brauchen wir in der Schaltung aus dem letzten Kapitel nur den rechten $100\text{k}\Omega$ Widerstand (R_2) gegen einen Kondensator (C) austauschen. Und schon haben wir eine weitere OPV-Grundschaltung. Wenn wir die Schaltung wieder mit unserer bekannten Regel analysieren (Aufgabe für Dich) sehen wir, dass die Höhe des Stroms durch den Kondensator die gleiche ist, wie durch den $10\text{k}\Omega$ Widerstand (R). Ein Kondensator, lädt sich in Abhängigkeit von der Zeit auf. Somit übernimmt er die Aufgabe die y-Werte des Integrals aufzusummieren. Er kann das allerdings nicht bis ins Unendliche tun. Wenn der Ausgang des OPVs in die Nähe von $+9\text{V}$ kommt, kann er nicht mehr. Das Gleiche passiert am unteren Ende nahe bei 0V .

Wenn man am Potentiometerknopf dreht, hat man den Eindruck als würde die LED träge reagieren. Der Kondensator „integriert“ die Eingangsspannung. Je weiter rechts von der Mitte aus das Poti steht umso schneller steigt die LED-Helligkeit an und je weiter links von der Mitte der Regler steht, desto schneller fällt die Helligkeit. Bei der Mittelstellung des Potentiometers bleibt die Helligkeit der LED konstant. Ein Integrator glättet die Eingangsspannung, schnelle Änderungen werden gemildert.

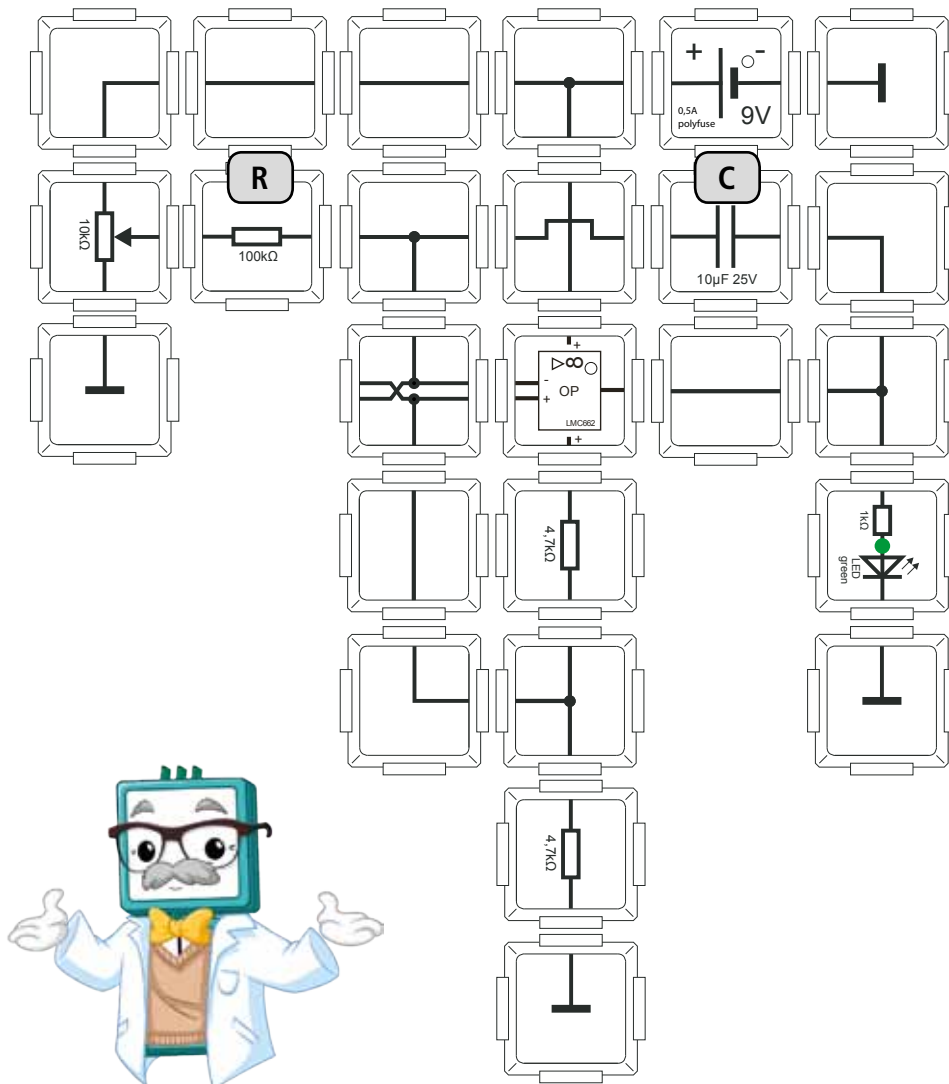


Abb. 75: Operationsverstärker als Integrator

5.12.6 Operationsverstärker als Differenzierer

Das Differenzieren lernt man ebenfalls im Mathematikunterricht. Die mathematische Operation ist die Differentiation, in ihr wird die Steilheit einer Kurve an einer Stelle bestimmt. Angewendet auf Spannungsfunktionen über die Zeit verstärkt der Vorgang der Differenzierung Spannungsänderungen. D.h. schnell wechselnde Eingangsspannungen erzeugen hohe Ausgangsspannungen. Eine über der Zeit konstante Eingangsspannung liefert sogar 0 Volt Ausgangsspannung. Bitte Differenzierer nicht mit dem Differenzverstärker verwechseln!

Für die OPV-Grundschialtung des Differenzierers müssen wir nur im Vergleich zu Kapitel 5.12.4 den linken $10\text{k}\Omega$ Widerstand (R_1) gegen einen Kondensator (C) austauschen. Der Bezug für die Eingangs- und Ausgangsspannung dieser Grundschialtung ist auch hier wieder die halbe Versorgungsspannung. Wenn wir die Schaltung wieder mit unserer bekannten Regel analysieren (Aufgabe für Dich) sehen wir, dass die Höhe des Stroms durch den Kondensator der gleiche ist, wie durch den $100\text{k}\Omega$ Widerstand (R). Die Geschwindigkeit mit der sich ein Kondensator auf- oder entlädt (die Steilheit des Spannungsverlaufes) entspricht dem Strom durch den Kondensator. Also übernimmt hier der Kondensator die mathematische Aufgabe des Differenzierens.

Du musst den Potentiometerknopf ständig hin- und herdrehen, damit die LED blinkt, da bei konstantem Spannungsabfall am Potentiometer keine Änderung stattfindet, liefert der Differenzierer Null, und die LED wird dunkel.

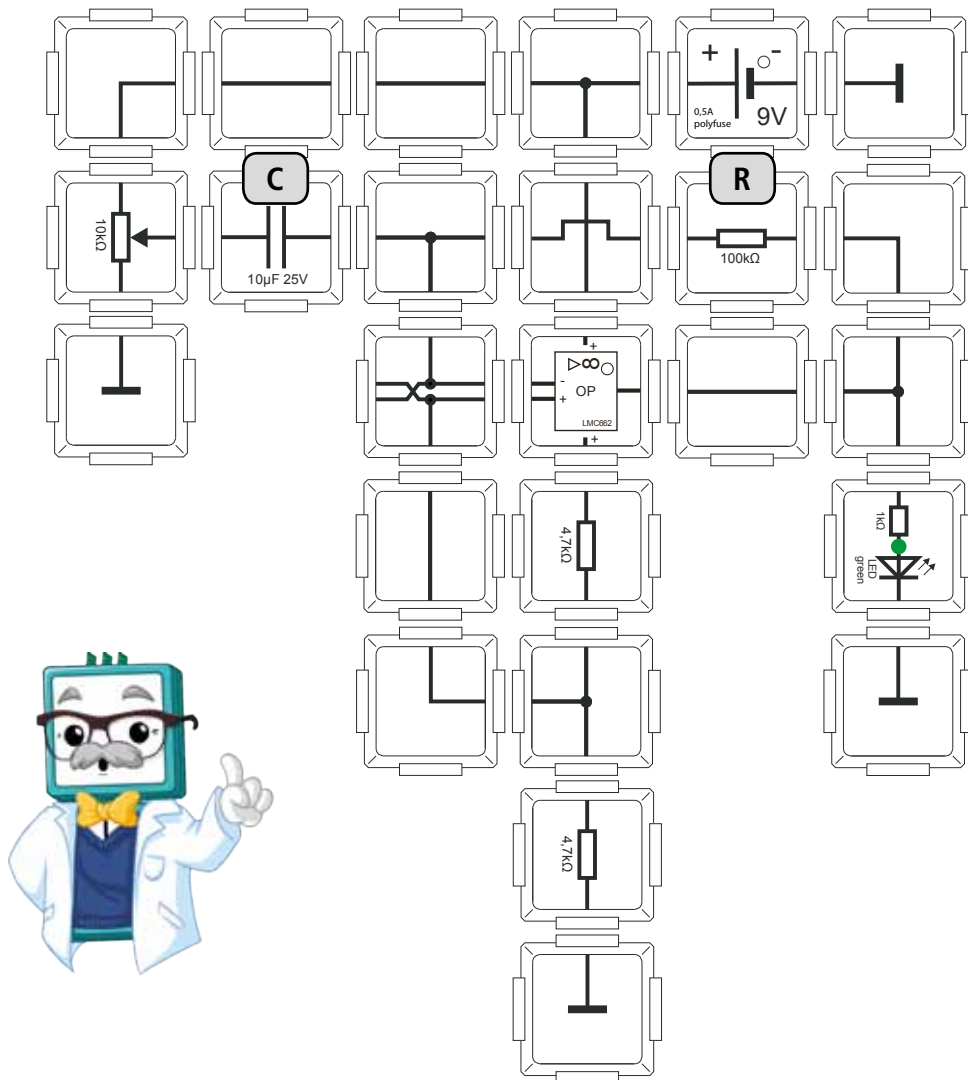


Abb. 76: Operationsverstärker als Differenzierer

5.13 Audio-Verstärker mit LM386

5.13.1 Mikrofon 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. Unser Set enthält auch ein Mikrofon und einen Lautsprecher, sodass wir den Verstärker gleich verwenden können. Der LM386 entspricht in der Grundschialtung einem Operationsverstärker, der sich speziell für die Verstärkung von akustischen Signalen eignet. So ist intern schon eine Gegenkopplung eingebaut und damit der Verstärkungsfaktor auf 200 festgelegt. Wir haben in unserem Brick am Ausgang des LM386 zwei parallel geschaltete Kondensatoren eingebaut um einem 8Ω-Lautsprecher anzusteuern. Bitte beachte die Polarität des Mikrofons! Der 1 μF-Kondensator filtert alle Gleichspannungsanteile heraus, und die Amplitude (Lautstärke) wird über unser Potentiometer gesteuert.

Unser Mikrofon hat einen eingebauten Vorverstärker und braucht eine Betriebsspannung. Wichtig ist, dass wir zwei getrennte Spannungsquellen für Mikrofon und Lautsprecher verwenden, um Rückkopplungen zu vermeiden. Eine störende Rückkopplung entsteht dann, wenn das Ausgangssignal (zu stark) wieder auf den Eingang zurückgeführt wird und der Schaltkreis aufschwingt. Er verhält sich dann wie ein Oszillator und das wollen wir hier nicht. Das 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 100 μF-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 Mikrofon in elektrische Schwingungen umgeformte akustische Signal wird vom LM386 verstärkt und an den Lautsprecher und die Klinkenbuchse weitergegeben.

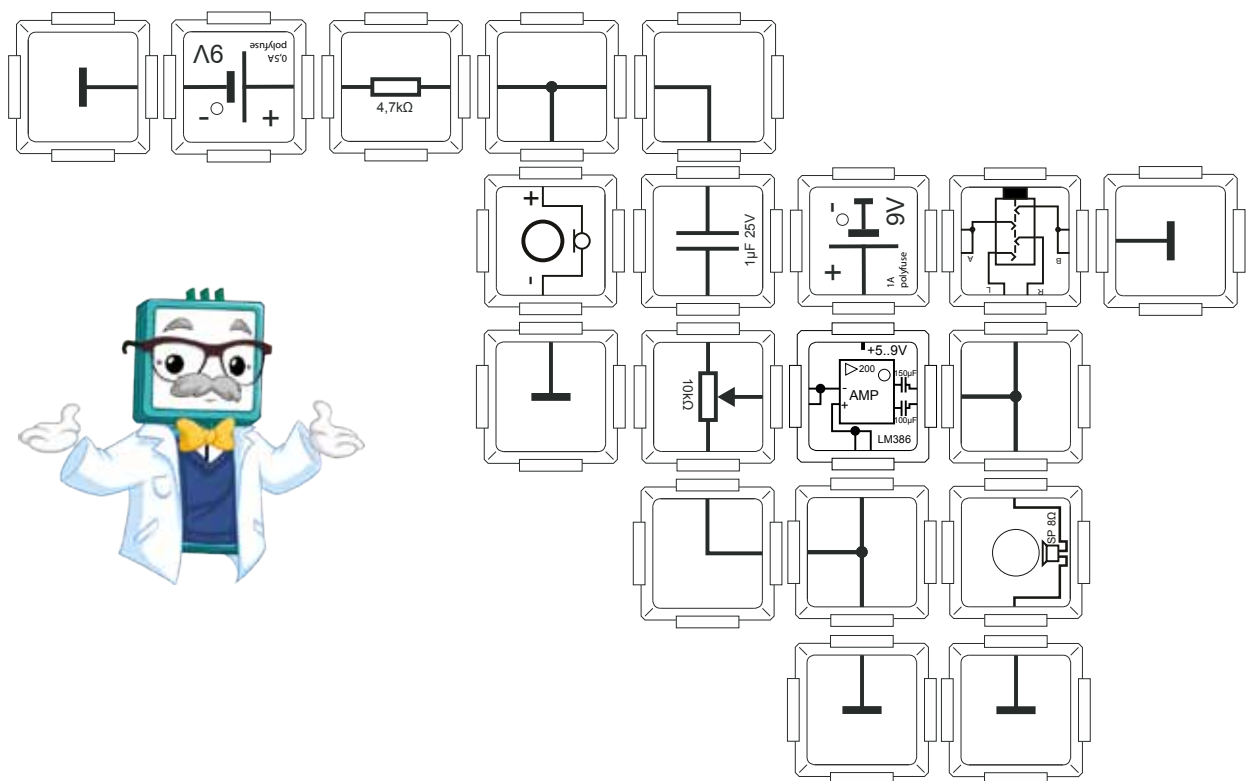


Abb. 77: Mikrofon und Verstärker

5.13.2 Rauschgenerator mit Diode als Rauschquelle

Dioden und andere Halbleiterbauelemente bestehen aus sogenannten Halbmetallen. Diese besitzen sowohl Eigenschaften von Nichtleitern als auch von Leitern. In Halbleitern bewegen sich permanent Ladungen. Diese Fluktuationen sind zwar verhältnismäßig klein, können aber, bei entsprechender Empfindlichkeit oder Verstärkung als Störspannungen oder Störströme wahrgenommen werden. Wenn man dies verstärkt und einem Lautsprecher zuführt, hört sich dieses Signal ähnlich wie Meeresrauschen an. Deshalb nennt man ein solches Störsignal auch Rauschsignal. Auch ein analoges Radio liefert, wenn ein Sender zu schwach ist ein derartiges Rauschen. Und auch beim Radio ist das Rauschen seiner Bauteile (nicht nur Halbleiter rauschen) daran beteiligt (ein Teil kommt aber auch schon von der Antenne). Diese Fluktuation ist von vielen Parametern abhängig, insbesondere von der Temperatur. In der nun folgenden Schaltung wird das Rauschen einer Diode, betrieben in Durchlassrichtung durch einen Transistor vorverstärkt und dann an den LM386 als Endverstärker weitergeleitet und schließlich am Lautsprecher hörbar gemacht. Der 100 k Ω und der 10 k Ω Widerstand an der Basis sorgen für eine korrekte Arbeitspunkteinstellung des Transistors.

Achte auf die Polung von Diode und Elektrolytkondensator!

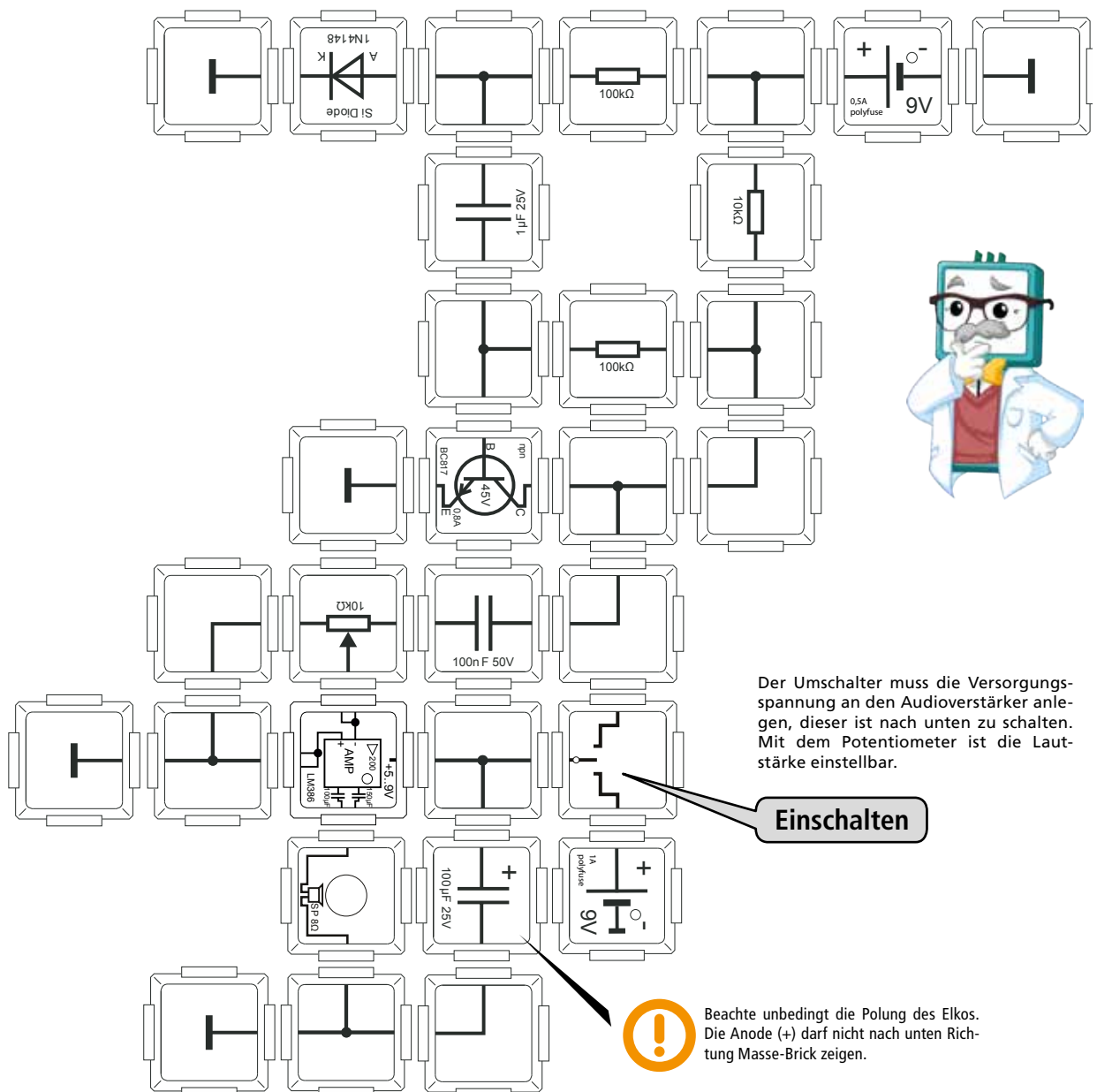


Abb. 78: Rauschgenerator mit Diode als Rauschquelle

5.13.3 Rauschgenerator mit Transistor als Rauschquelle

Auch Transistoren zählen zu den Halbleiterbauelementen. In der folgenden Schaltung wandeln wir das Rauschen des Transistors BC817, wie wir ihn schon oft verwendet haben, in ein akustisches Signal um. Er ist nur mit dem Emittor und der Basis kontaktiert, aber an der doppelten Versorgungsspannung (mit 18V) in „Sperrrichtung“ beschaltet.

Schalte den Umschalter nach oben um den Audioverstärker, welcher von der zweiten Spannungsquelle versorgt wird, dazu- oder abzuschalten!

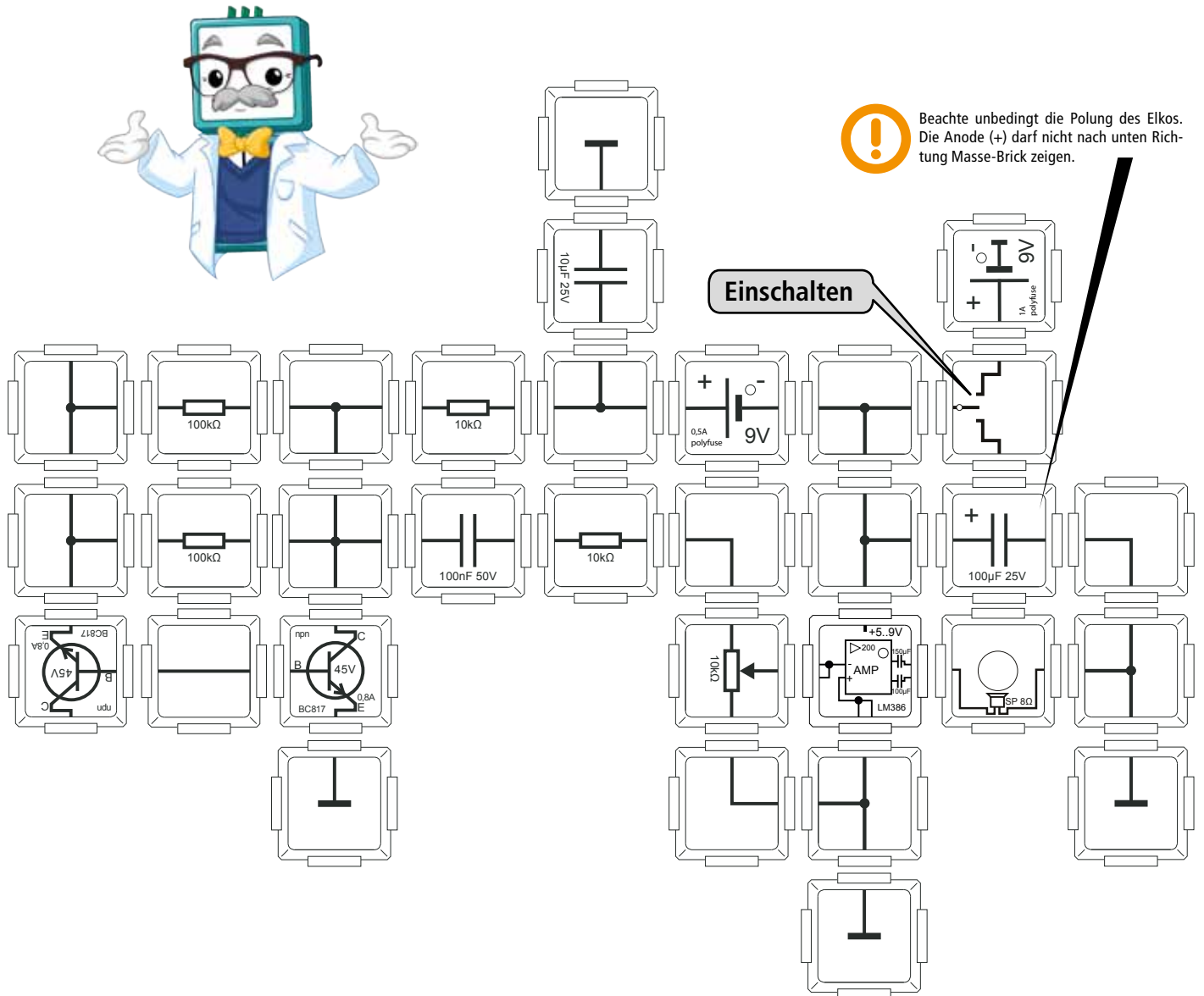


Abb. 79: Rauschgenerator mit Transistor als Rauschquelle

5.13.4 Licht hörbar machen – ein „Licht-Verstärker“

Die folgende Schaltung ist ein „Licht-Verstärker“. Da viele Lampen direkt aus unserem normalem Wechselspannungsnetz mit einer Frequenz von 50Hz betrieben werden, „flackert“ die Helligkeit oft mit 100Hz. Unser Auge ist dafür zu träge, selbst 20Hz kann man mit dem Auge nicht wahrnehmen. Diese 100Hz Lichtimpulse in unser Wohnung wollen wir hörbar machen. Leuchtstoffröhren verursachen z. B. ein Brummen.

Als Sensor für die Helligkeit dient hier der LDR03. Er ändert seinen Widerstand mit den Licht-Impulsen, die auf ihn einwirken. Er liefert in dieser Schaltung eine Gleichspannung, die von einer schwachen Wechselspannung überlagert wird. Die Gleichspannung wird von dem 1 μ F-Kondensator am LDR03 herausgefiltert. Das Netzbrummen jedoch wird vom Transistor verstärkt. Der Audioverstärker LM386 nimmt die Endverstärkung vor und ermöglicht, das Netzbrummen im Lautsprecher hörbar zu machen. Mache dich jetzt auf die Suche nach Wechsellichtquellen in deiner Wohnung, je näher du einer solchen kommst, desto lauter wird das Brummen. Die Filterschaltung aus der 10mH Spule und dem 100 μ F Elko nach Masse siebt die Hilfsspannung für den LDR und den Vorverstärker. Sie entkoppelt diesen Stromkreis vom Endverstärker. Das soll eine unangenehme Rückkopplung vermeiden.

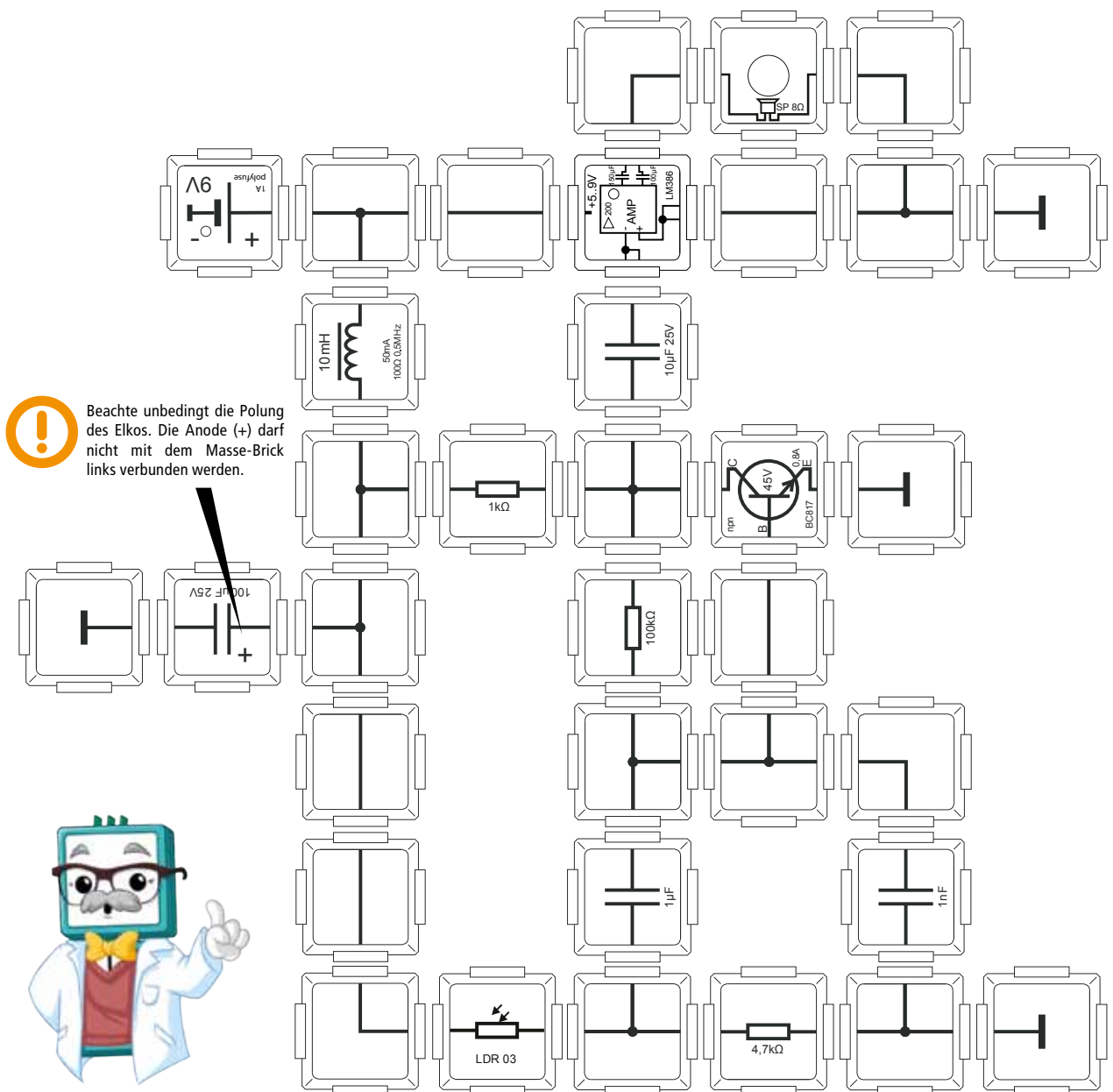


Abb. 80: Licht-Verstärker

5.13.5 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 μ F-Elektrolytkondensator minimiert die Rückkopplung und verhindert damit ein Aufschwingen der Schaltung. Bitte auf dessen richtige Polung achten!

Viel Spaß beim Aufspüren von Wechsel-Lichtquellen!



Beachte unbedingt die Polung des Elkos. Die Anode (+) darf nicht mit dem Masse-Brick oben verbunden werden.

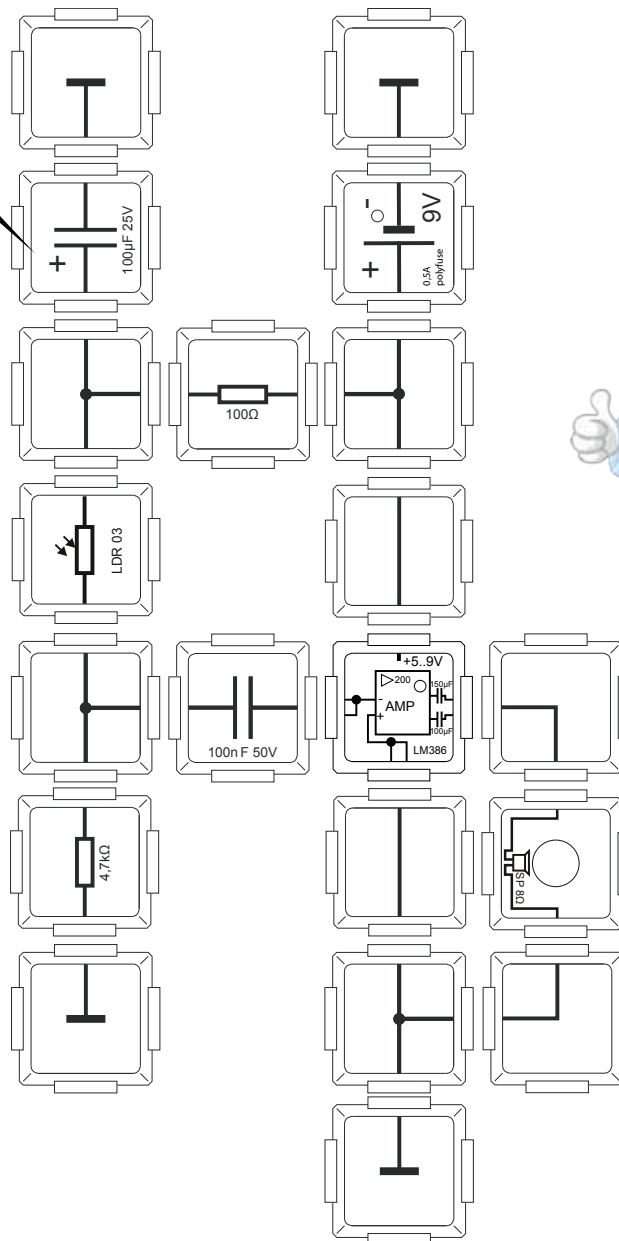


Abb. 81: Brummdetektor

5.13.6 Lichtschranke zur Audioübertragung

Die folgende Schaltung zeigt die Vielseitigkeit der Elektrotechnik! Wir wandeln ein akustisches Signal viermal um:

1. Schall in Elektrizität
2. Elektrizität in Licht
3. Licht in Elektrizität
4. Elektrizität in Schall

Zur Erzeugung von Licht und zur Detektierung von Licht verwenden wir hier erstmals unseren Lichtschranken-Brick. Er enthält eine LED als Lichtquelle und einen Phototransistor als Lichtsensor. Das reicht aus, um das Prinzip zu demonstrieren. Wenn wir einen getrennten Leuchtdiode, einen getrennten Lichtsensor und eine Glasfaser hätten, könnten wir damit auch eine sinnvolle, größere Strecke überbrücken. Eigentlich haben wir hier zwei Verstärkerstufen, da unser Mikrofon-Brick bereits einen Feldeffekt-Transistor als Vorverstärker enthält. Bitte auf die richtige Polung achten! Wenn du jetzt am Mikrofon kratzt oder pfeifst, gibt der Lautsprecher das Signal wieder. Unterbrichst du nun die Lichtschranke langsam z. B. mit einem Stück Papier, wird der Ton erst leiser, bis er schließlich ganz verstummt.

Achte auf die richtige Polung des Elektrolytkondensators! Dieser ist zur Verhinderung einer Rückkopplung eingebracht. Interessant ist auch, dass wir mit der Lichtschranke eine galvanische Trennung unserer beiden Stromkreise vollziehen. Ein Kurzschluss in einem verursacht keinen Zusammenbruch des anderen Stromkreises.

Für professionelle Anwendungen sind Sensor-Techniken unverzichtbar, da Informationen so leicht weitergeleitet und verarbeitet werden können. Neben dem hier verwendeten Lichtsensor gibt es z. B. elektronische Druck-, Temperatur- und Magnetsensoren.

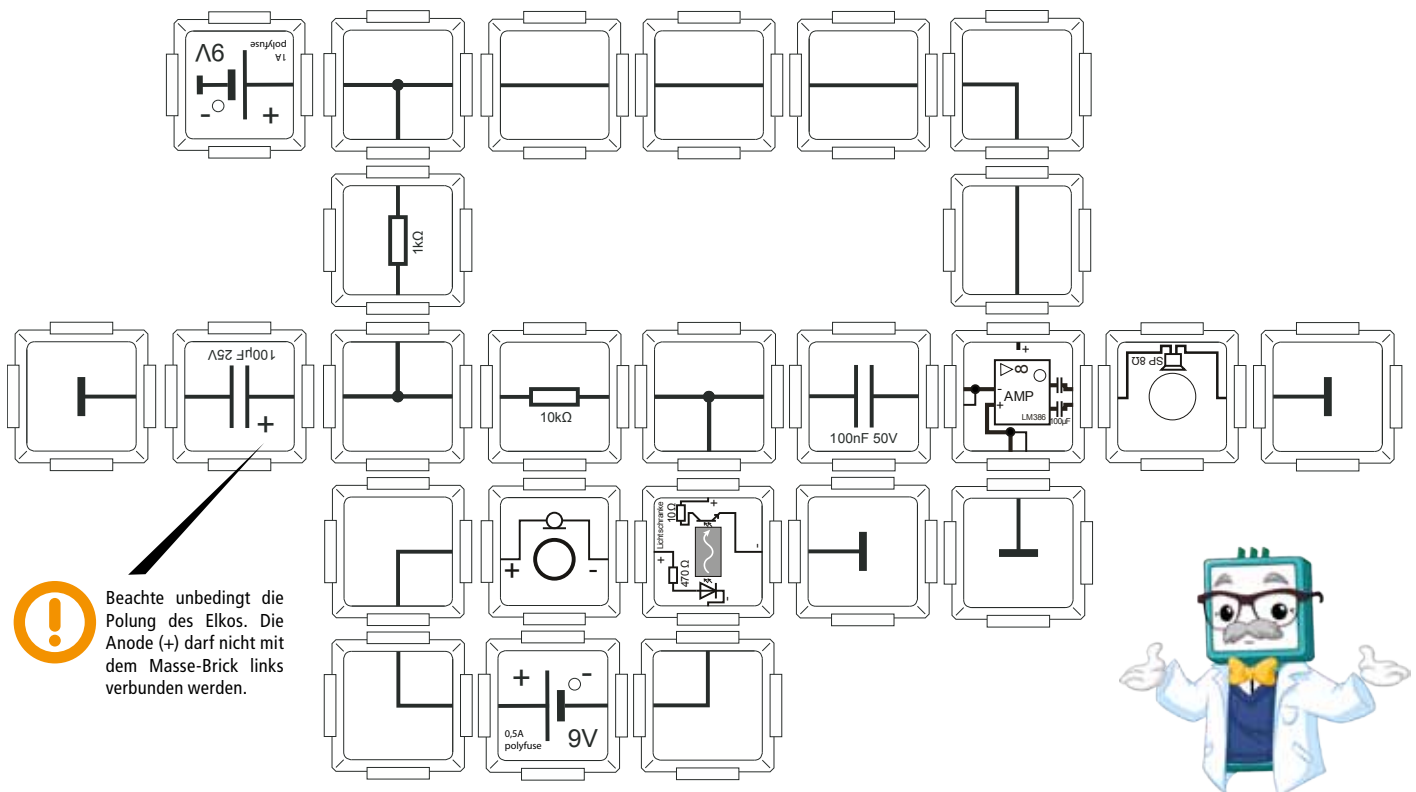


Abb. 82: Lichtschranke zur Audio-Übertragung

5.13.7 Lichtverstärker mit Phototransistor

Um das Netzbrummen noch einmal 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 5.13.5. 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 erste Verstärkung ist hier schon im Sensor realisiert. Ein Phototransistor ist empfindlicher als eine Photodiode.

Achte auf die richtige Polung des Elektrolytkondensators, der zur Rückkopplungsverringeringung eingebracht ist!

Du kannst jetzt Wechsellichtsignale in deiner Umgebung auffinden. Interessant ist der Vergleich der akustischen Signale einer flackernden Kerze mit einer Glühlampe oder Leuchtdiode.

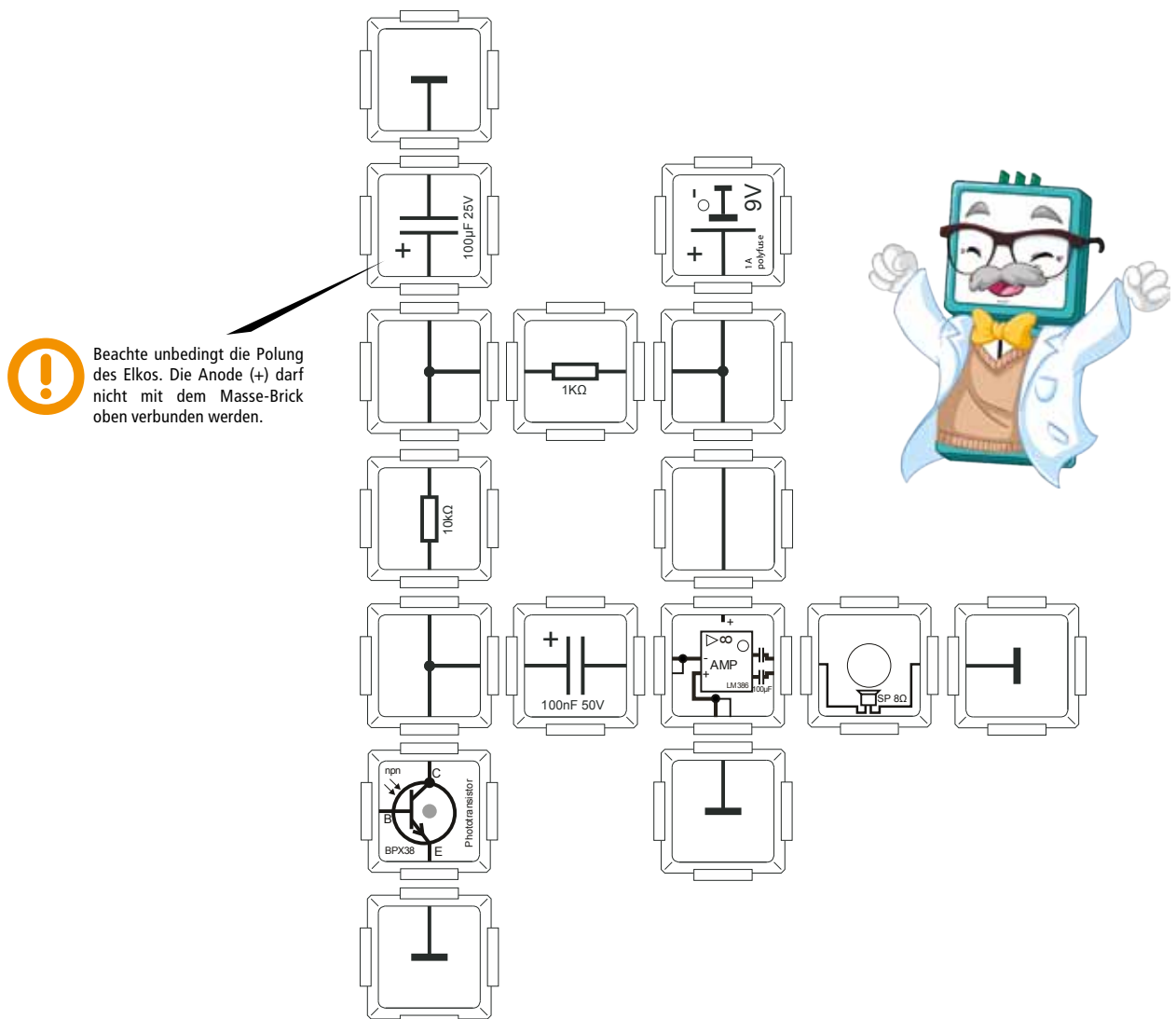


Abb. 83: Phototransistor mit Vorverstärker

5.13.8 Infrarot-Übertragung mit Phototransistor

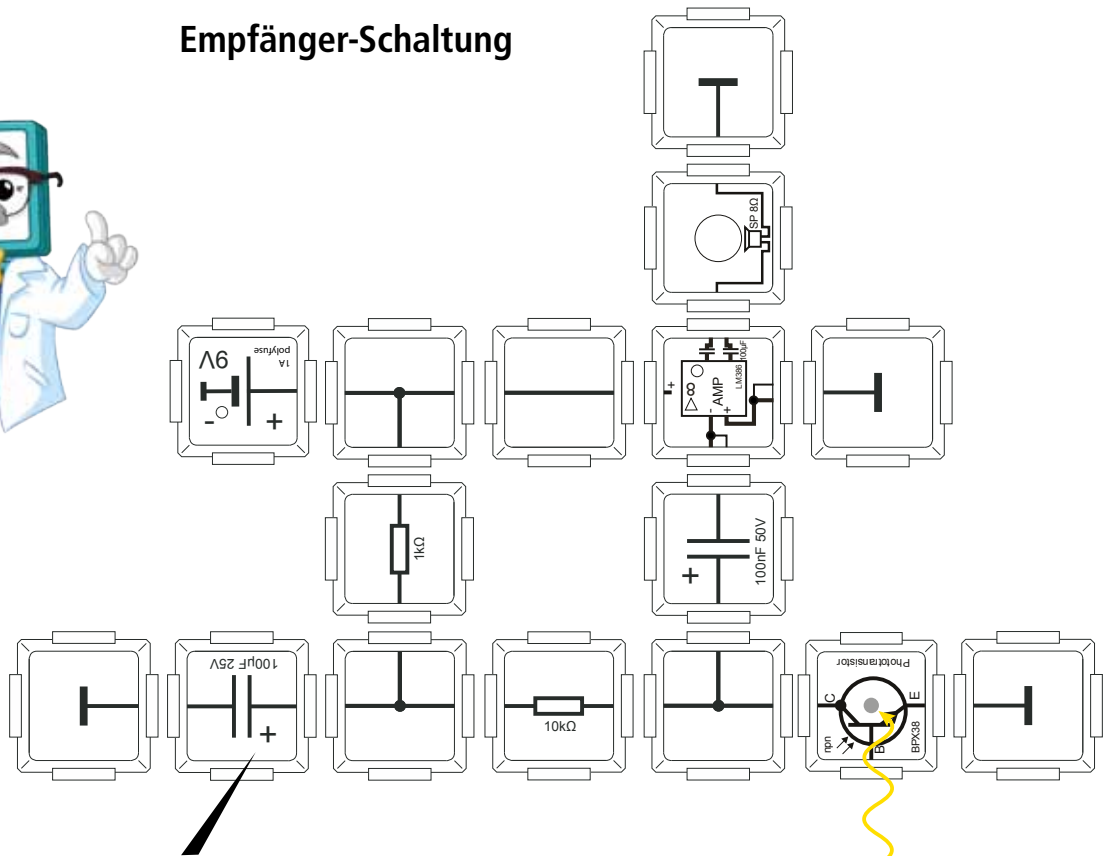
Unser Phototransistor ist für Wellenlängen empfindlich, die unser Auge nicht mehr wahrnehmen kann, so z. B. infrarotes Licht. Es liegt oberhalb einer Wellenlänge von 780nm und wird auch als Wärmestrahlung bezeichnet. Die folgende Schaltung möchte die Wellenlänge von ca. 1 μm zur Übertragung akustischer Signale nutzen. Wir verwenden anstelle der Lichtschranke jetzt erstmals den Infrarot-LED-Brick als Sender und den Phototransistor als Empfänger, um das Signal zum Audioverstärker zu übertragen. Das abgestrahlte Spektrum (Wellenlängenbereich) unserer Infrarot-LED passt sehr gut zur Empfindlichkeit unseres Phototransistors. Bei noch größeren Wellenlängen sinkt der Wirkungsgrad des Transistors langsam ab.

Achte auf die richtige Polung des Elektrolytkondensators!

Um eine gute Übertragung zu erreichen, sind Infrarot-Diode (Kathode an Minus) und Phototransistor einander näher zu bringen – z. B. durch senkrecht stellen der Bricks, die ja auch im 90° Winkel gesteckt werden können.



Empfänger-Schaltung



Beachte unbedingt die Polung des Elkos. Die Anode (+) darf nicht mit dem Masse-Brick links verbunden werden.

Sender-Schaltung

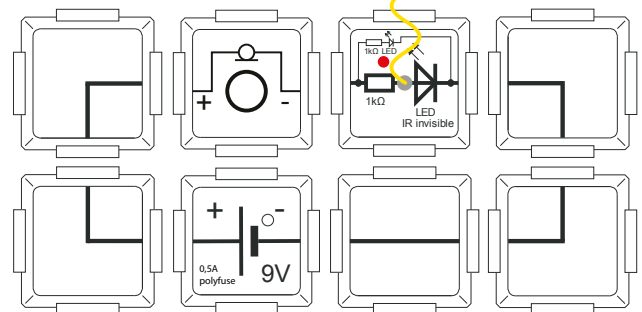


Abb. 84: Infrarot-Übertragung mit Phototransistor

5.13.9 Infrarot-Übertragung mit Photodiode

Anstelle des Phototransistors vom vorherigen Kapitel verwenden wir hier erstmals unsere Photodiode. Die Schaltung bleibt bis auf das Austauschen des Phototransistors gegen die Photodiode gleich. Die Sendediode kann auch durch andere im Set enthaltene LEDs ersetzt werden. Die Photodiode muss in Sperrichtung gepolt werden. Photodioden sind eigentlich normale Leuchtdioden. Sie sind aber so gebaut, dass das Licht die Sperrschicht erreichen kann, sodass man sie als Sensor verwenden kann. Die Photonen des Lichtes erzeugen dort einen Photostrom. Ansonsten verhält sich die Photodiode wie eine normale Diode. Photovoltaik-Solarzellen sind auch nur spezielle, großflächige Halbleiter-Dioden, die zur Stromgewinnung aus Licht optimiert wurden. Die dabei erzeugte Spannung liegt dann in Durchlassrichtung an und ist nach Erreichen des Grenzwertes nicht mehr von der Beleuchtungsstärke abhängig. Die hier genutzte Photodiode ist aus dem Halbleiter Silizium hergestellt und hat daher eine hohe Sensibilität bei Wellenlängen bis 1100nm. Bei größeren Wellenlängen nimmt die Empfindlichkeit ab, bis sie nicht mehr anspricht. Die Spektren (Wellenlängenbereich) von unserer Photodiode und unserer IR-Diode sind gut kompatibel.

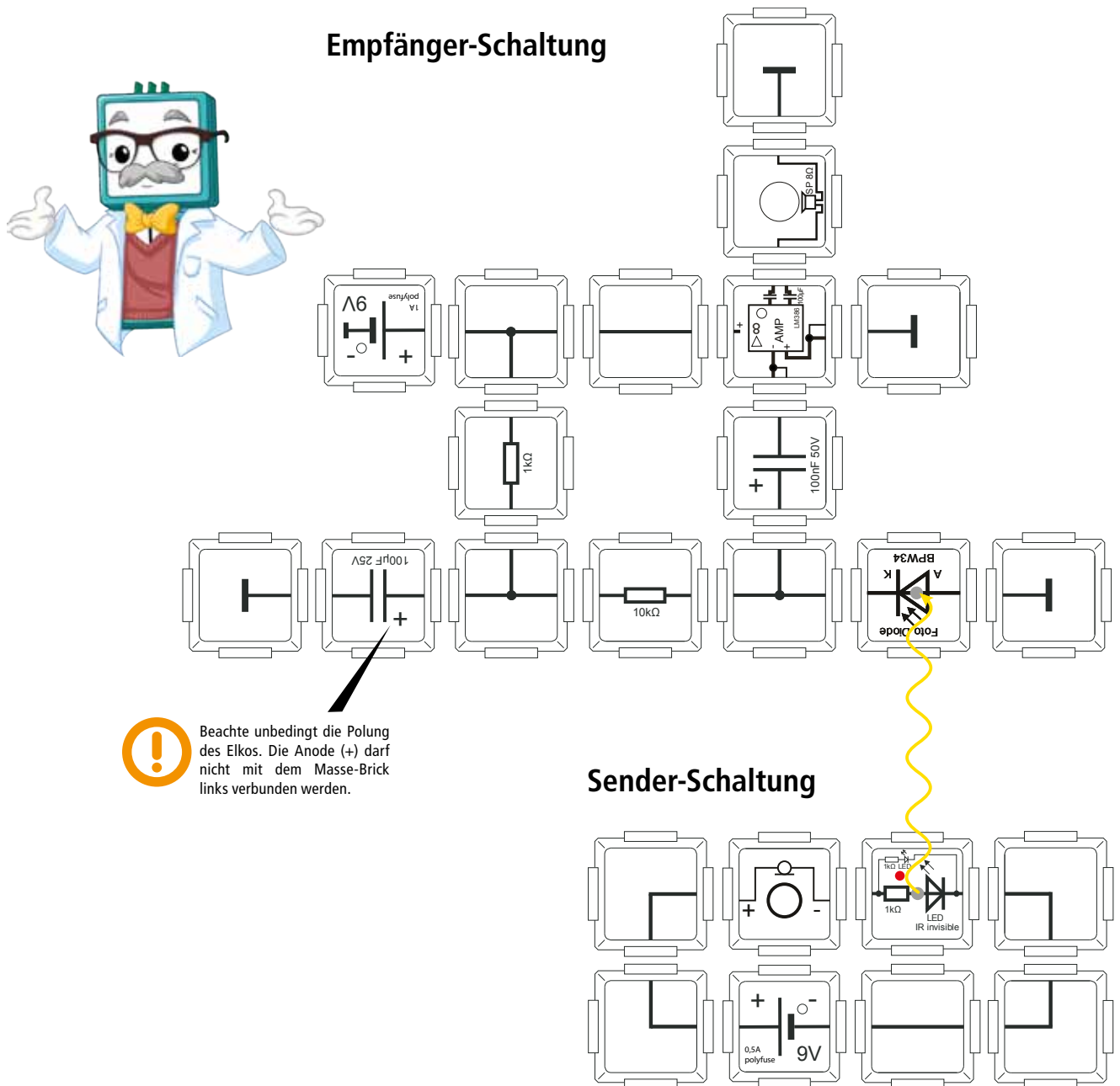


Abb. 85: Infrarot-Übertragung mit Photodiode

5.14 Das Relais

5.14.1 Relais Grundsaltung

Ein Relais ist ein elektromechanisch betriebener Schalter. Als Antrieb dient normalerweise ein Elektromagnet. Durch das Anlegen einer Steuerspannung und dem daraus resultierenden Stromfluss durch den Elektromagneten (eine Spule mit Eisenkern) an der Eingangsseite, wird ein Magnetfeld erzeugt, das einen Anker anzieht, der die Arbeitskontakte des Schaltkontakts betätigt. Wenn der Strom abgeschaltet wird, zieht eine Feder den Kontakt wieder in die Ursprungslage zurück. Somit kann man mit einem relativ kleinen Strom einen deutlich größeren Strom schalten. So kann etwa eine niedrige ungefährliche Spannung aus einem Schwachstromkreis einen Starkstromkreis steuern. Die Übermittlung des Schaltvorgangs mittels eines Magneten hat zusätzlich den Vorteil, dass der gesteuerte Stromkreis elektrisch getrennt vom steuernden Stromkreis ist. Ein Kurzschluss in einem Stromkreis hat keine Auswirkung auf den anderen Stromkreis.

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 orange Kontroll-LED in unserem Brick gibt Auskunft über den Schaltzustand des 2-poligen Wechsler-Relais: Leuchtet die LED, sind die Kontakte von der Mitte nach unten geschlossen, wenn nicht, sind die Kontakte von der Mitte nach oben geschlossen (wie auf dem Brick dargestellt). Man kann das Relais als Öffner, Schließer oder Wechsler beschalten.

Die Zuordnung der Schaltkontakte des 2-poligen Wechsler-Relais kann man der schematischen Darstellung des Relais-Bricks und dem Schaltzeichen entnehmen. Dabei gilt:

- Kontakt xNC (NC = Normally closed) ist im Ruhezustand mit xCOM verbunden
- Kontakt xNO (NO = Normally open) ist mit xCOM verbunden, sobald Relais anzieht
- Kontakt xCOM (COM = Common) ist der gemeinsame Mittelkontakt Nutzung als Umschalter

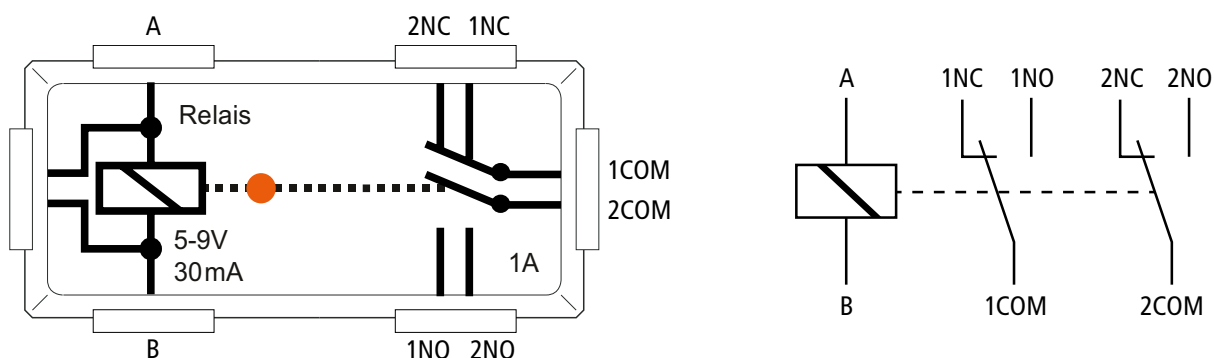


Abb. 86: Schematische Darstellung Relais-Brick (links) und Schaltzeichen (rechts)

Die 2-poligen Umschalt-Kontakte sind mit Hilfe unserer Spezialverbinder-Bricks wie z. B. dem "Leitung doppelt überkreuzt"-Brick (ALL-BRICK-0048) auch getrennt nutzbar. Siehe Brick-Schaltung in Kapitel 5.14.6.

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 langsam sind. In unserer ersten Schaltung (Abb. 87) bauen wir nur einen Steuerstromkreis auf. Sobald der Taster betätigt wird, kann man das Klicken der Kontakte hören, d. h. das Relais ist angezogen und die Schließer-Kontakte sind mit den Mittel-Kontakten verbunden. Die orange Kontroll-LED leuchtet.

Hier wird nur ein einfaches normales Relais beschrieben. Es gibt natürlich besonders in der historischen Fernmeldetechnik Sonderbauformen mit mehr als zwei (z. B. 10 oder 100) Schaltstellungen mit ganz anderem Antrieb usw.

► Relais-Grundsaltung siehe nächste Seite ...

Relais-Grundsaltung (Fortsetzung)...

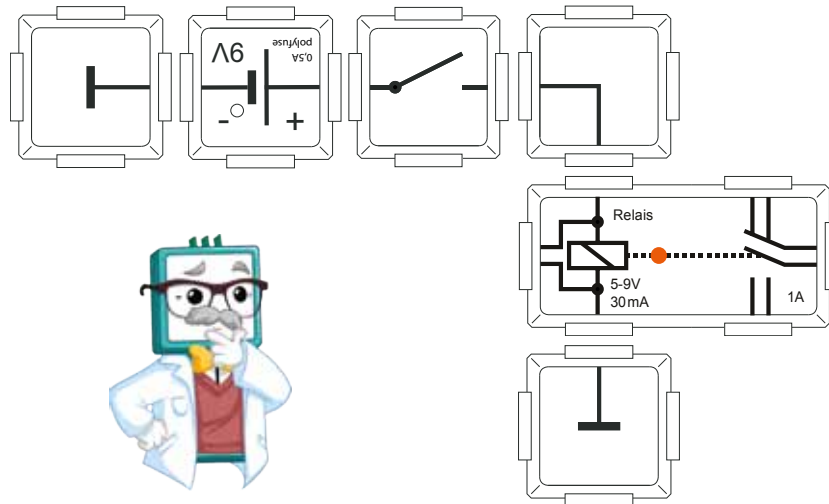


Abb. 87: Relais Grundsaltung

5.14.2 Das Relais als Umschalter

Unser Relais ist auch als Umschalter verwendbar. Der Mittelkontakt stellt hier, je nach Schaltvorgang, eine Verbindung zu den gegenüberliegenden Kontakten her. Das signalisiert die grüne LED bei unbetätigtem Taster und die rote LED bei betätigtem Taster. In allen sicherheitsrelevanten Schaltkreisen werden z. B. geschaltete Schließer-Kontakte verwendet, die eine Unterbrechung des Stromkreises im Fehlerfall melden. Diese Aufgabe kann man sich leicht für die rote LED vorstellen. Im Normalzustand sei der Taster gedrückt, sodass die grüne LED leuchtet. Im Fehlerfall (Taster nicht mehr gedrückt) öffnet der Schließer-Kontakt und der Ruhekontakt schließt den Stromkreis für die rote LED. Somit wird ein optischer Alarm ausgegeben.

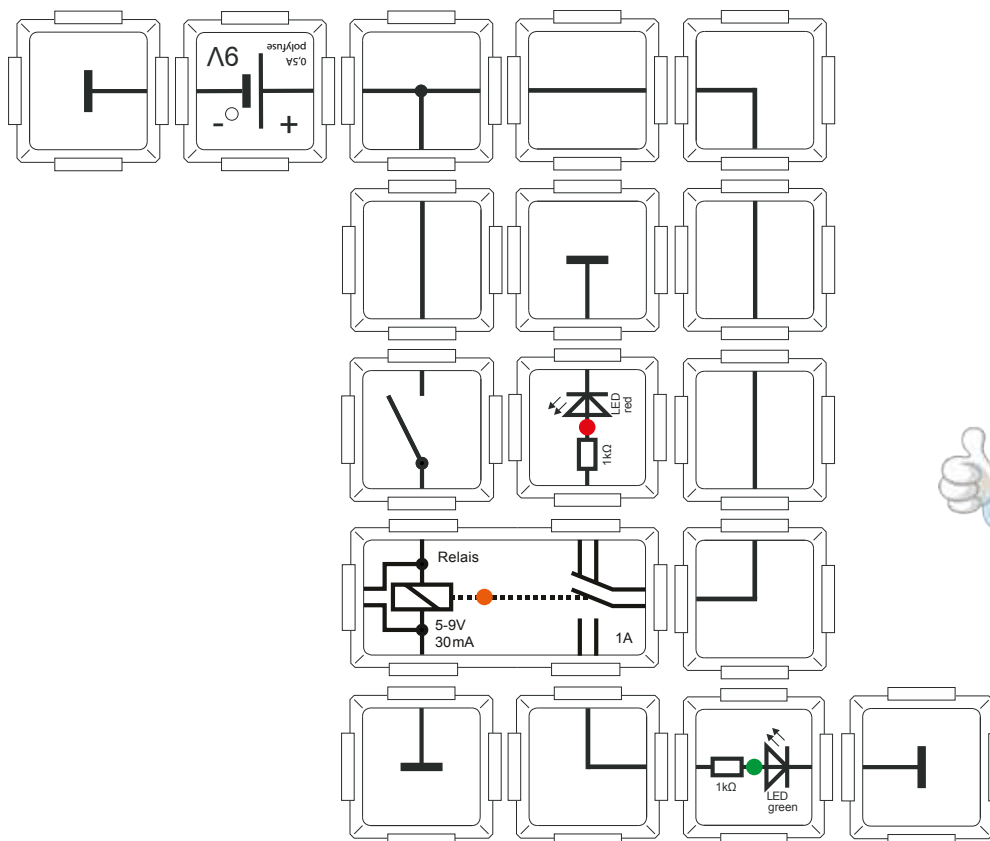


Abb. 88: Relais als Umschalter

5.14.3 Relais-Kaskade im Steuerstromkreis

Die Mindestspannung der Relais-Bricks ist so ausgelegt, dass es möglich ist, zwei Relais in Serie zu schalten. Die Innenwiderstände fungieren als Spannungsteiler, wodurch beide Relais einen identischen Spannungsabfall von 4,5V erfahren, da sie der Bauart nach gleich sind. Im Fall von drei Relais wird die Mindestspannung nicht mehr erreicht, der Stromfluss wäre zu gering, um den Anker elektromagnetisch zu betätigen. Die Relais bleiben inaktiv.

Unsere Beispielschaltung hat in der Praxis keine große Bedeutung, könnte jedoch prinzipiell dazu verwendet werden die Kontaktzahl zu verdoppeln, ohne dass die Ansteuerung gegenüber einem Relais verändert werden muss. Sofern wir die Relais zwecks einfacherer Kontaktierung mit den Leitungs-Bricks als 1-polige Umschalter betrachten haben wir in unserer Beispielschaltung nun 2 getrennte Umschalter. Wird der Taster gedrückt, ziehen beide Relais an, die orangenen Kontroll-LEDs leuchten. Die Mittel-Kontakte (COM_x) werden mit den Schließer-Kontakten (NO_x) verbunden.

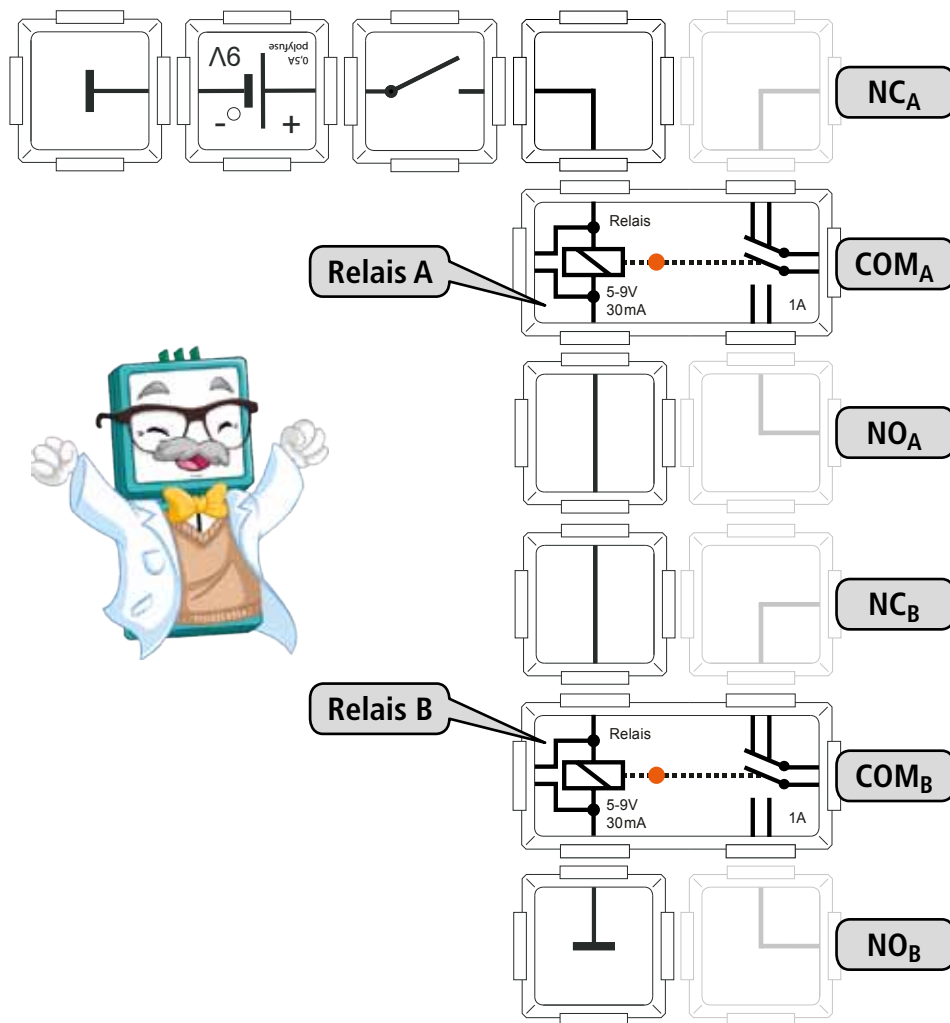


Abb. 89: Relais-Kaskade im Steuerstromkreis

5.14.4 Relais-Kaskade im Schaltstromkreis

In dieser Schaltung löst das erste Relais das zweite aus, sodass die gelbe LED leuchtet. Die gelbe LED symbolisiert unsere Last und wird daher durch den Netzadapter als eigenständiger (Arbeits-)Stromkreis versorgt. Die Schaltkaskade wird durch das Betätigen des Tasters ausgelöst.

Es soll hier nur das Prinzip gezeigt werden, wie es zur Steuerung von Starkstromanlagen oder in der Hochspannungstechnik für das Hinzuschalten von getrennten Stromkreisen verwendet wird. So können verschiedene Spannungsbereiche von Spulen, z. B. in einem Umschaltwerk, ohne Eingriff in den Stromkreis realisiert werden.

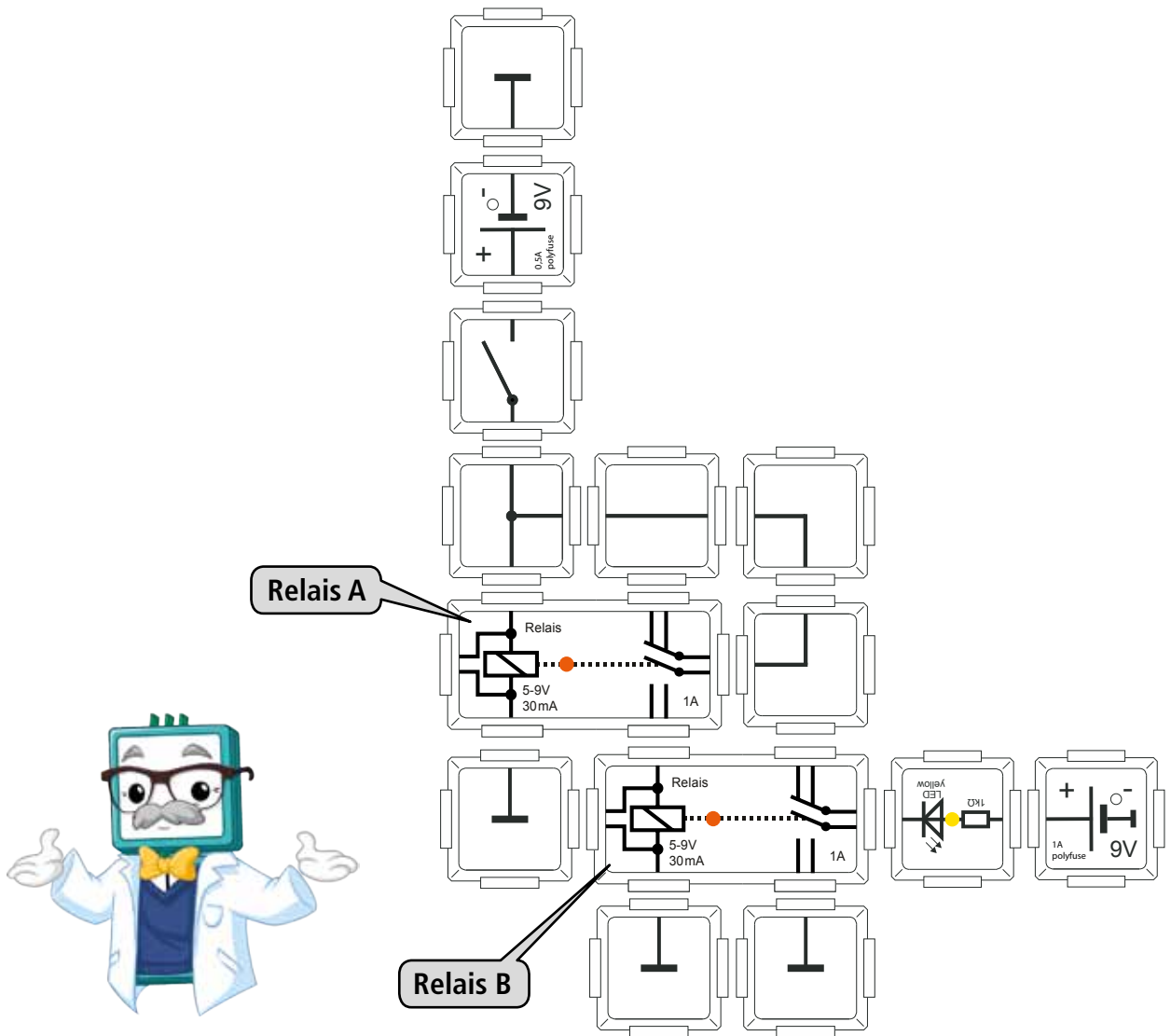


Abb. 90: Relais-Kaskade via Arbeitsstromkreis

5.14.5 Relais in Parallelschaltung

Eine Parallelschaltung von elektronischen Bauelementen haben wir schon kennengelernt. Jetzt bringen wir zwei Relais parallel in die Schaltung ein. Das ist durch die doppelte Kontaktierungsmöglichkeit an unserem Relais-Brick sehr einfach ohne weitere Leitungsbricks möglich. Beide Relais werden mit dem Taster gesteuert, wodurch sich die Anzahl der geschalteten Kontakte von drei auf sechs erhöht. Wir haben also die Anzahl der Kontakte verdoppelt, ohne dass wir in der Schaltung wesentliche Veränderungen vorgenommen haben. Die Spannung an beiden Relais-Wicklungen ist gleich und entspricht der Versorgungsspannung (bei gedrücktem Taster). Der Gesamtstrom durch beide Wicklungen hat sich verdoppelt. Auch das ist noch keine fertige Anwendung sondern nur eine Prinzipschaltung.

Sobald der Taster gedrückt wird, liegt am Steuerstromkreis beider Relais die Versorgungsspannung. Wie in der vorangegangenen Schaltung leuchten bei betätigtem Taster beide Kontroll-LEDs.

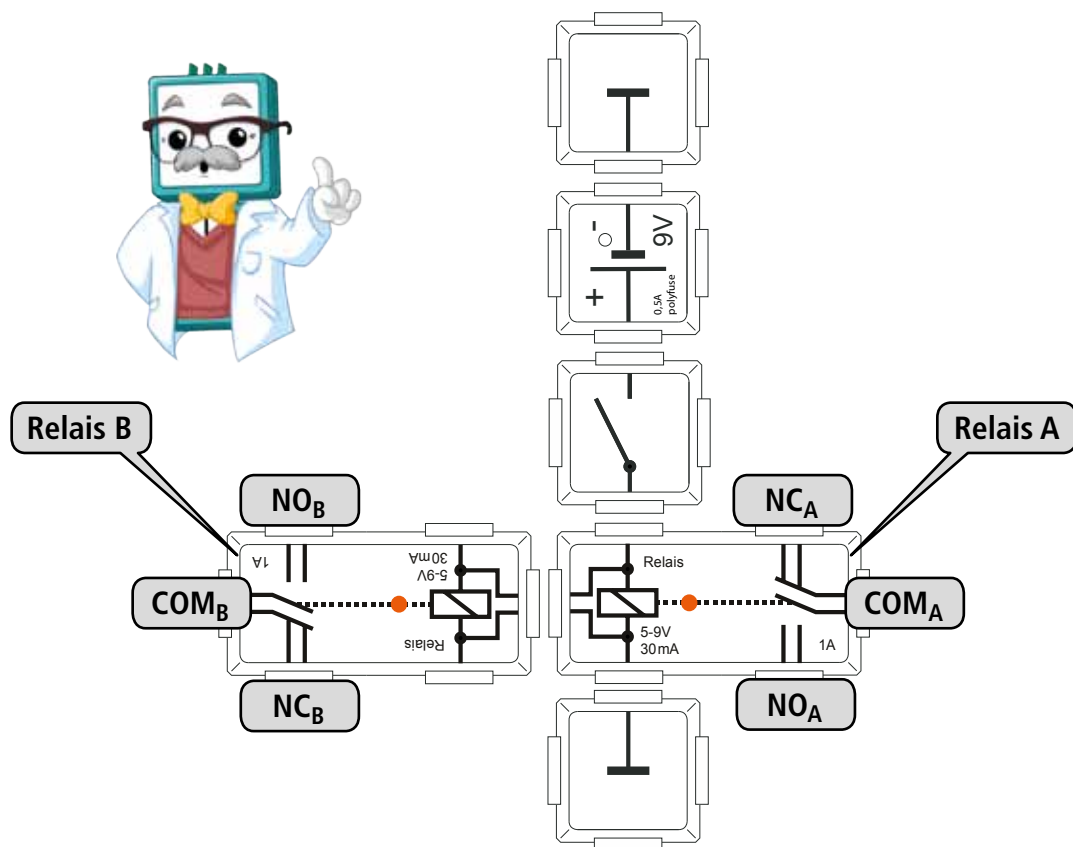


Abb. 91: Relais in Parallelschaltung

5.14.6 Relais-Selbthalteschaltung

Bei allen bisherigen Relais-Schaltungen bedeutet das Loslassen des Tasters, dass der Stromfluss durch die Wicklung unterbrochen wird, sodass alle Relais in den Grundzustand zurückfallen. Oft soll aber die einmalige Betätigung eines Taster einen Zustand herbeiführen (z. B. Motor einer Maschine einschalten) der auch nach dem Loslassen bleibt. Der Arbeiter muss also den Einschalttaster nicht permanent gedrückt lassen. Natürlich brauchen wir jetzt noch einen weiteren Schalter bzw. Taster (mit einem Öffner-Kontakt) damit das Relais wieder abschaltet. Wir zeigen hier aber nur eine Prinzip-Schaltung auf und kümmern uns erst einmal nur um eine Lösung für das Einschalten bleiben und noch nicht ums Ausschalten. Das kannst du hier dadurch bewerkstelligen, dass du die Stromversorgung kurz abtrennst.

Bei der folgenden Selbsthalteschaltung wird ein Kontakt des Relais verwendet um den Strom für die Relaiswicklung einzuschalten. Wird der Taster betätigt, bleibt das Relais angezogen, auch wenn dieser nach dem Loslassen wieder öffnet denn die Wicklung bekommt ja weiterhin Strom über den eigenen Relaiskontakt. Die Kontroll-LED leuchtet weiter.

Das Relais könnte natürlich noch weitere Kontakte für andere Zwecke haben. Z. B. Starkstromkontakte für einen Motor. Die Selbsthaltung von Relais ist in der Technik überall dort anzutreffen, wo ein Schaltimpuls (z. B. nicht nur von Tastern, sondern von Sensoren aller Art) nur kurzzeitig anliegt, der Zustand nach der kurzen Betätigung aber gespeichert bleiben soll. Beispielsweise könnte man auch eine komplette Aufzugssteuerung mit (vielen) Relais bauen.

Im Kapitel 5.6.13 hatten wir schon eine kompliziertere Schaltung, die des bistabilen Multivibrators – oder auch Flipflop genannt – kennengelernt. Diese macht ungefähr das Gleiche.

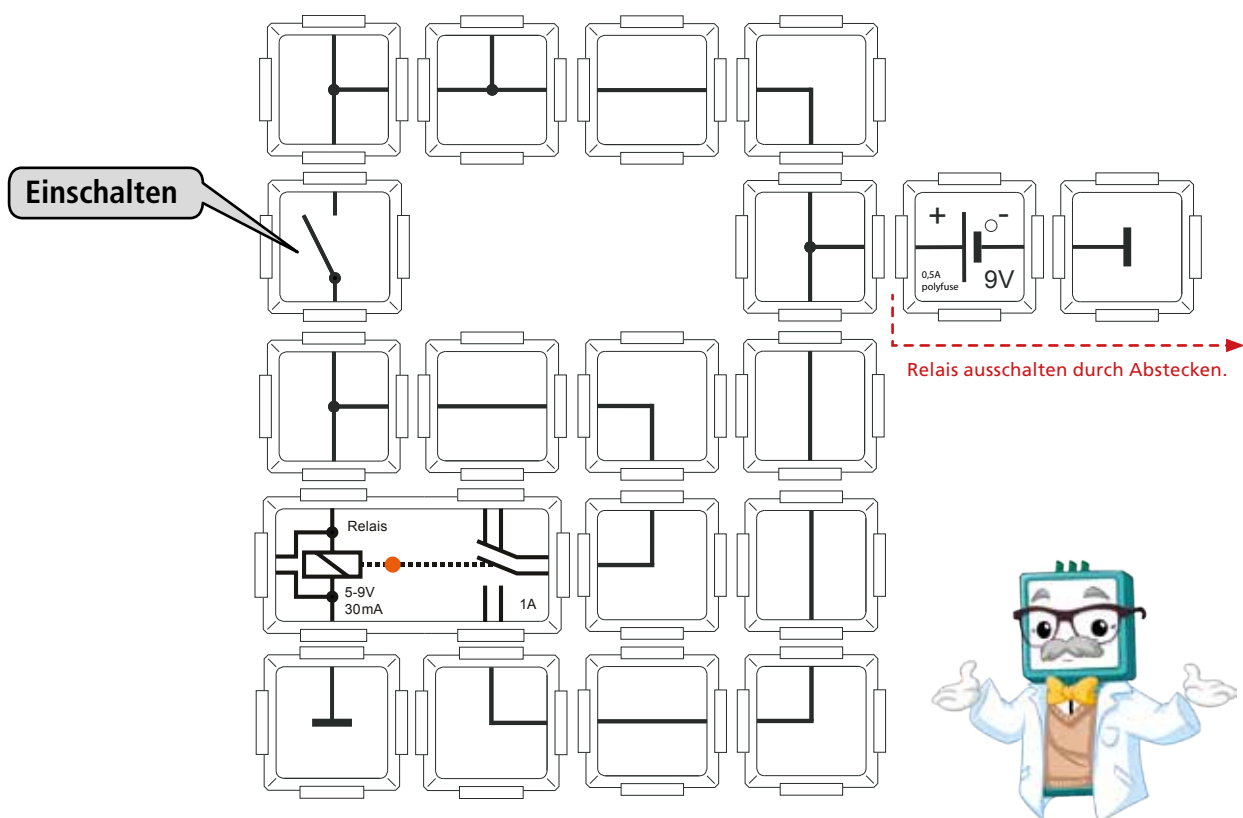


Abb. 92: Relais-Selbthalteschaltung

In Abb. 93 auf der nächsten Seite findest du noch eine etwas knifflige Variante der Selbsthalteschaltung mit unserem Umschalt-Relais erweitert um einen Unterbrecher-Kontakt.

Selbsthalteschaltung erweitert um Unterbrecher-Kontakt.

Prinzipiell genügt für eine Selbsthalteschaltung ein 2-poliges Relais, wie es im Advanced Set enthalten ist. Etwas knifflig wird es, die beiden Schaltkontakte mit den im Set enthaltenen Bricks vom Typ „Leitung Doppelt überkreuzt“ anzuschließen. Wir benötigen je einen Schließer-Kontakt für die Selbsthalteschaltung und einen für den Last-Stromkreis. Wird der Taster „Einschalten“ gedrückt, erhält die Relais-Wicklung direkt 9V und zieht an. In Folge dessen fließt nun der Steuerstrom über die Relais-Kontakte 1COM und 1NO und hält das Relais. Für den Last-Stromkreis verwenden wir hier realitätsnah den Netzteil-Brick als separate Versorgung für die rote LED. An diesem Stromkreis würde in der Praxis beispielsweise ein Antriebsmotor hängen.

Erst das Unterbrechen der Versorgungsspannung über den 3-poligen Steck-Brick (könnte in der Praxis auch ein NOT-AUS-Knopf sein), setzt die Selbsthaltung zurück und damit das Relais in seinen Ruhezustand.

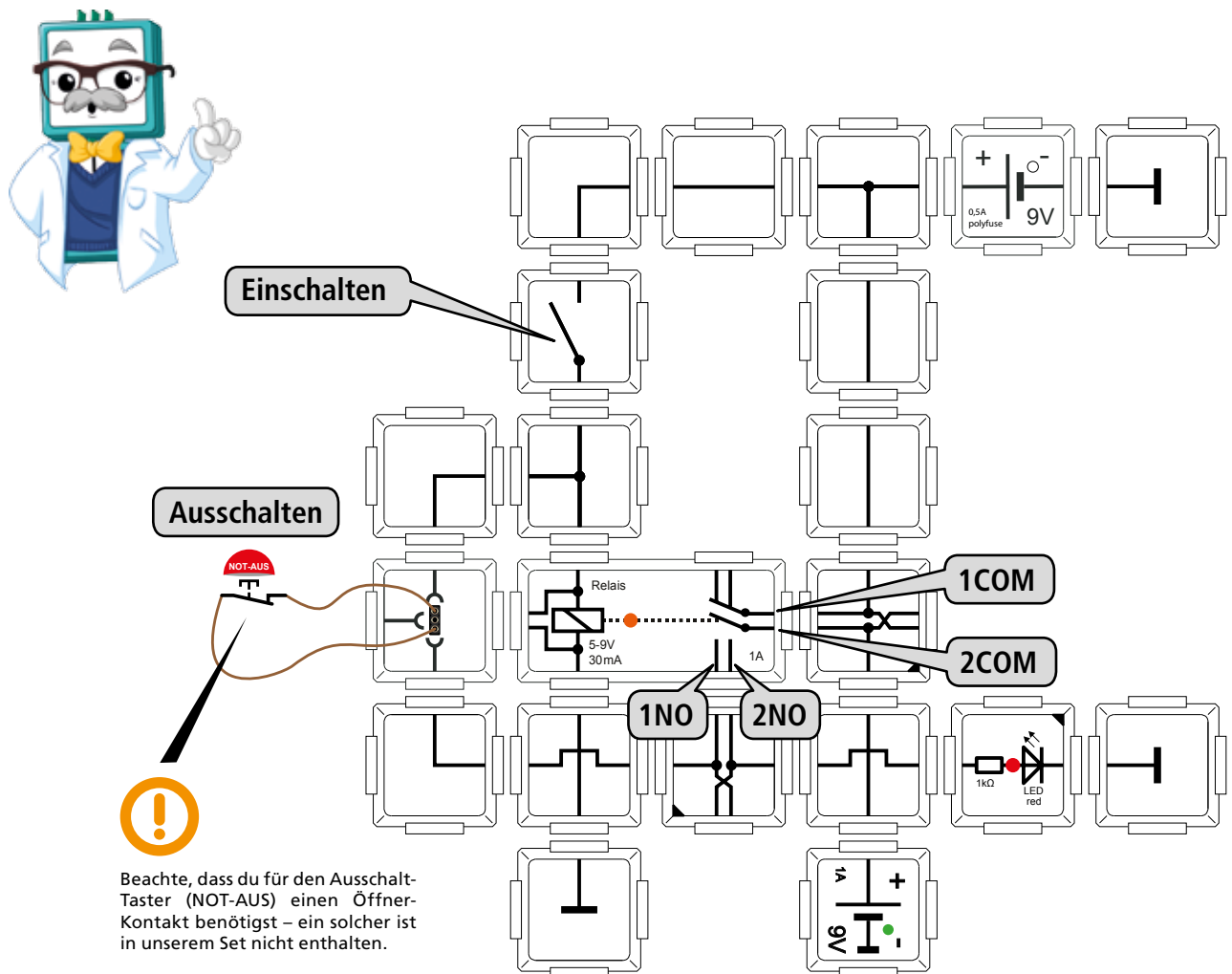


Abb. 93: Selbsthalteschaltung mit Unterbrecher

In der Praxis wird eine Selbsthalteschaltung verwendet um beispielsweise einen starken Elektromotor einer Maschine, über ein Schütz (spezielles Relais mit vielen Schaltkontakten für hohe Ströme) durch einen kurzen Tastendruck einzuschalten. Der Arbeiter muss den Einschalttaster nicht permanent gedrückt halten. Erst durch Drücken des Ausschalt-Tasters (könnte in der Praxis auch ein NOT-AUS-Knopf sein) wird der Steuerstromkreis wieder unterbrochen und das Relais fällt ab.

5.14.7 Selbsthalteschaltung als 1-Bit Speichereinheit

Jetzt erweitern wir die Schaltung aus Abb. 92 noch mit einem „Aus“-Taster. Beim Drücken des „Ein“-Tasters wird das Haupt-Relais (links) aktiviert (erkennbar an der Kontroll-LED) und bleibt nach dem Loslassen des Tasters solange angezogen, bis der „Aus“-Taster gedrückt wird. Über ein Hilfs-Relais (rechts) wird der Selbsthaltekreis unterbrochen, sobald der „Aus“-Taster gedrückt wird. Wenn wir einen Taster mit einem bei Betätigung öffnenden Kontakt im Set hätten, könnte man auf das zweite Relais verzichten, siehe auch Abb. 93 im vorigen Kapitel. Nach dem Drücken des „Ein“-Tasters leuchtet also die Kontroll-LED des linken Haupt-Relais, der Speicherzustand ist „1“. Kurzzeitiges Drücken des anderen Tasters löscht die Selbsthaltung und der Speicherzustand wechselt auf „0“. Im Kapitel 5.6.13 hatten wir dieses Verhalten bereits mit einer komplizierteren elektronischen (nicht wie hier elektromechanischen) Schaltung, einem bistabilen Multivibrators oder Flipflop realisiert. Man kann auch sagen, dass das Haupt-Relais (links) einen 1-Bit-Speicher darstellt. Tatsächlich gab es bei den allerersten Computern sehr erfolgreiche Modelle, die mit Relais aufgebaut waren (insbesondere von Konrad Zuse) und nicht mit integrierten Transistoren wie heute. Einer dieser ersten Computer hatte allein 1.600 Relais nur für den Speicher. Man kann sich schwer vorstellen wie groß diese Computer waren, im Vergleich zu heutigen Schreibtisch-Computern. Vergleicht man elektronische und elektromagnetische Bauelemente miteinander, stellt man schnell fest, dass sie sich bei gleicher Funktion in der Größe und Schaltgeschwindigkeit wesentlich unterscheiden.

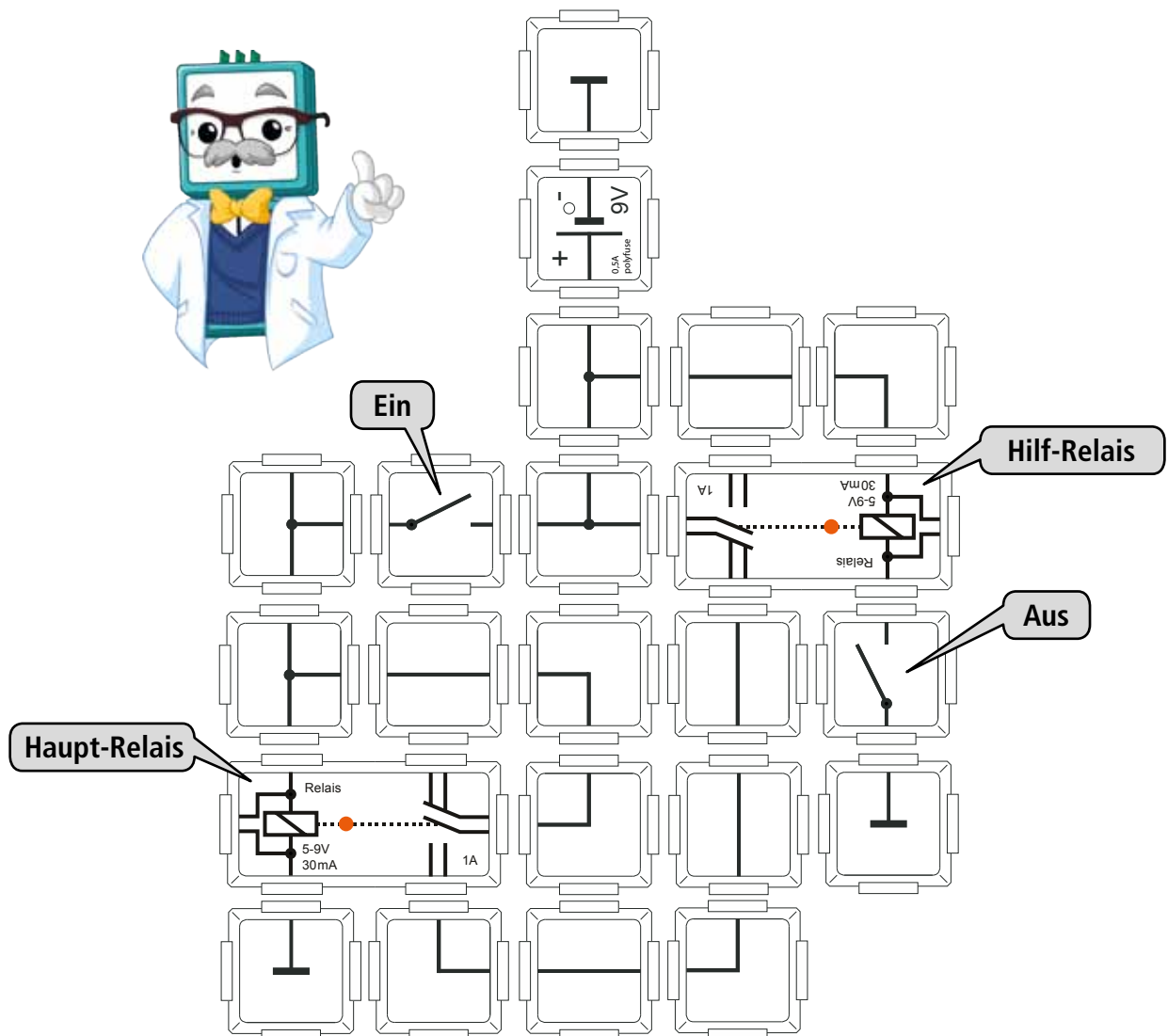


Abb. 94: Selbsthalteschaltung als 1-Bit-Speichereinheit

5.14.8 Relais mit Selbstunterbrecher – „Hausklingel“

Mit einem Relais kann man auch einen Oszillator bauen. Dieser Oszillator fällt in die Rubrik der Relaxations-Oszillatoren. Zur Erzeugung einer Schwingung wird dabei eine Verzögerung verwendet. Wir hatten dieses Prinzip schon im Kapitel 5.6.11 beim instabilen Multivibrator benutzt ohne es zu benennen. Dort haben wir die Auf- oder Entladezeit (das ist die Relaxation) eines RC-Gliedes benutzt. Jetzt benutzen wir die mechanische Trägheit eines Relais. Das Schaltungsprinzip das dabei zum Einsatz kommt, ist die sogenannte Selbstunterbrechung. Dieses Prinzip wurde schon vor langer Zeit bei elektromechanischen Hausklingeln genutzt. Dort wird über den Klingelkontakt eine Spannung an einen Elektromagneten angelegt. Der Anker des Elektromagneten schlägt eine Glocke und gleichzeitig wird durch einen Unterbrecher-Kontakt der Strom unterbrochen. In Folge dessen zieht eine Feder den Anker zurück und der Ablauf beginnt wieder von vorne. Man sagt, die Schaltung schwingt oder oszilliert.

Genau dieses Prinzip (ohne Glocke) können wir mit unserem Relais-Brick nachbauen. Ist der Taster betätigt, schaltet das Relais ein und unterbricht dadurch seinen Haltestrom woraufhin es wieder abfällt. Anziehen und Abfallen wechseln sich permanent ab. Die Frequenz ist durch die mechanische Trägheit begrenzt, die sich in der maximalen Schaltgeschwindigkeit des Relais niederschlägt. Der Vorgang wiederholt sich so lange, bis der Taster die Stromzufuhr unterbricht.

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

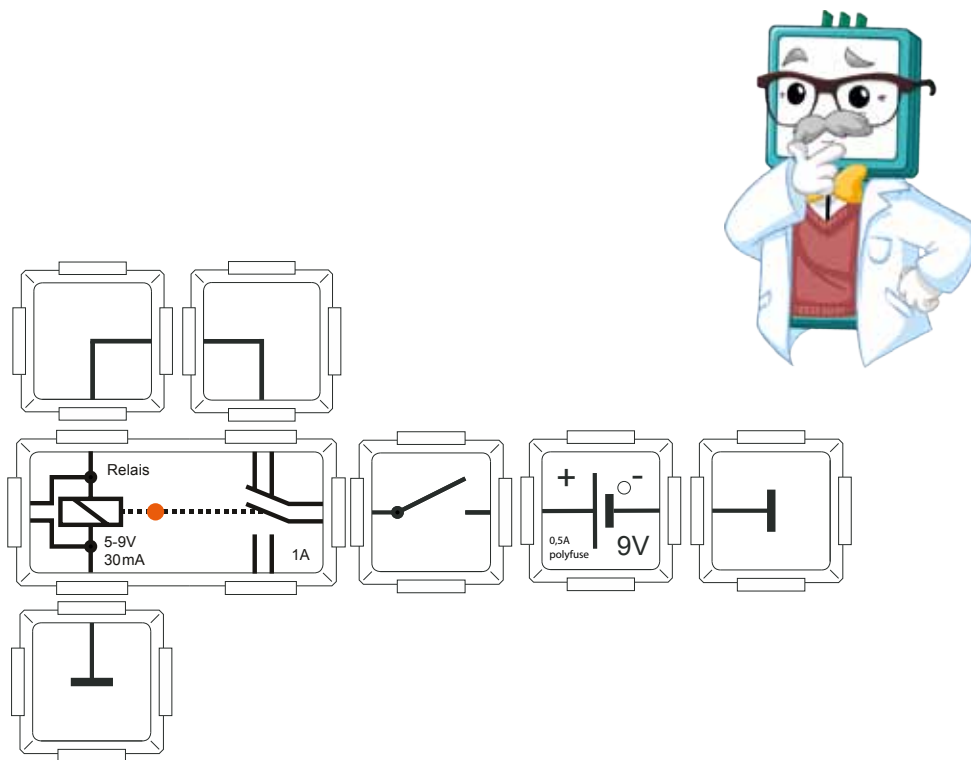


Abb. 95: Relais mit Selbstunterbrecher

5.14.9 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 Schaltkontakte 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. Dadurch wird die Verzögerungszeit im Vergleich zu Kap. 5.14.8 verdoppelt bzw. die Schaltfrequenz halbiert.

Zur Kontrolle der Schaltung ist ein Summen der Kontakte zu hören, sowie ein Blinken bzw. Flimmern der beiden LEDs zu sehen. Solange der Taster gedrückt wird, schalten die Relais mit maximaler Schaltfrequenz.

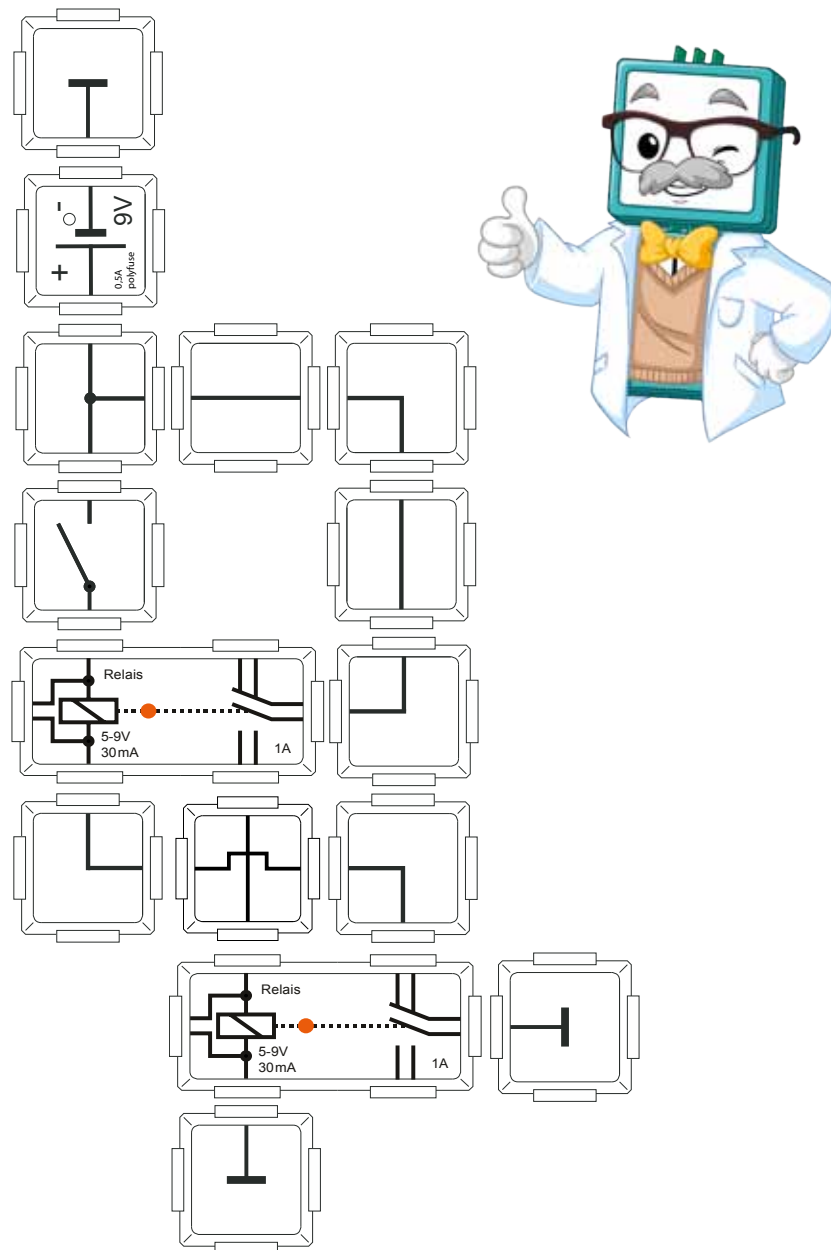


Abb. 96: Relais mit Selbstunterbrecher über zweites Relais

5.14.10 Relais-Selbsthaltung verzögert

Wenn wir hier parallel zur Relais-Wicklung einen Kondensator schalten, verlängert sich die Schaltzeit des Relais, da der Kondensator eine Weile braucht bis er über den Innenwiderstand (oder begrenzten Strom) der Spannungsquelle aufgeladen wird. Das Entladen passiert über den Wicklungswiderstand des Relais. Wir modifizieren die letzte Schaltung so, dass wir an jedem Relais einen Kondensator anschließen. Die Schaltfrequenz ist somit über die Wahl der Kapazität leicht einzustellen. Die Kondensatoren speichern die elektrische Energie kurzzeitig, auch wenn die Spannungsversorgung unterbrochen ist, sodass 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 erreicht ist. Die Schwingung läuft so lange bis der Taster wieder geöffnet wird.

Wie immer, ist auf die Polung der Elektrolytkondensatoren zu achten!

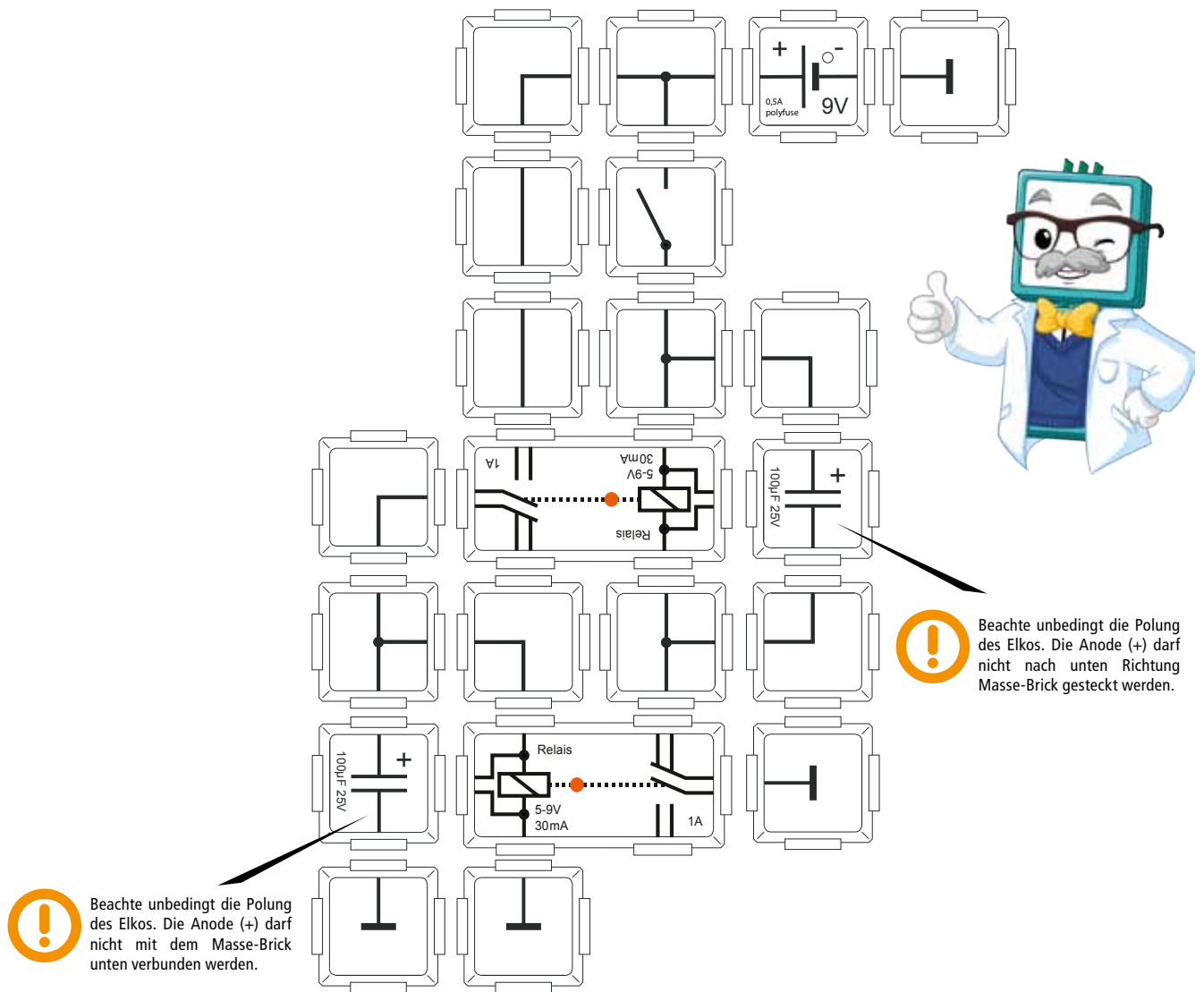


Abb. 97: Relais-Selbsthaltung verzögert

5.14.11 Relais als NICHT-Verknüpfung (Inverterschaltung)

In Schaltung 5.14.7 sind wir auf die Verwendung von Relais in frühen Computern eingegangen. Im ersten frei programmierbaren Rechenwerk von Konrad Zuse (1910 – 1995) wurden NICHT-Verknüpfungen so realisiert, wie wir es in dem folgenden Schaltkreis nachempfinden. Der Spannungs-High-Pegel ist am Ausgang immer dann vorhanden, wenn der Taster nicht gedrückt wird (entspricht logisch "1"). Das Eingangssignal "0" hat ein Ausgangssignal von NICHT "0" zur Folge, welches 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 Ausgangszustand an.

Noch ein Hinweis: In der Digitaltechnik werden die Großbuchstaben „L“ und „H“ zur Kennzeichnung der Logik-Pegel verwendet. Diese können je nach verwendeter Technik unterschiedlichen Spannungspegeln zugeordnet werden. Die gebräuchlichsten Definitionen für Spannungs- und Logik-Pegel sind:

- Standard TTL-Logik: "L" (0) entspricht Spannungspegel 0 bis 0,8V und "H" (1) entspricht Spannung > 2V. Für Werte dazwischen z. B. 1V, ist der Logik-Pegel undefiniert.
- CMOS-Logik: "L" (0) entspricht Spannungspegel 0 bis 0,7V und "H" (1) entspricht Spannung > 1,7V. Dazwischen ist der Logik-Pegel undefiniert.
- ECL-Logik: "L" (0) entspricht Spannungspegel von < -1,4V und "H" (1) entspricht Spannung > -1,2V. Dazwischen ist der Logik-Pegel undefiniert.

Wenn man dem "L" statt einer 1 eine 0 zuordnet (und umgekehrt dem "H" eine 0 statt einer 1) spricht man von negativer Logik, ansonsten von positiver Logik.

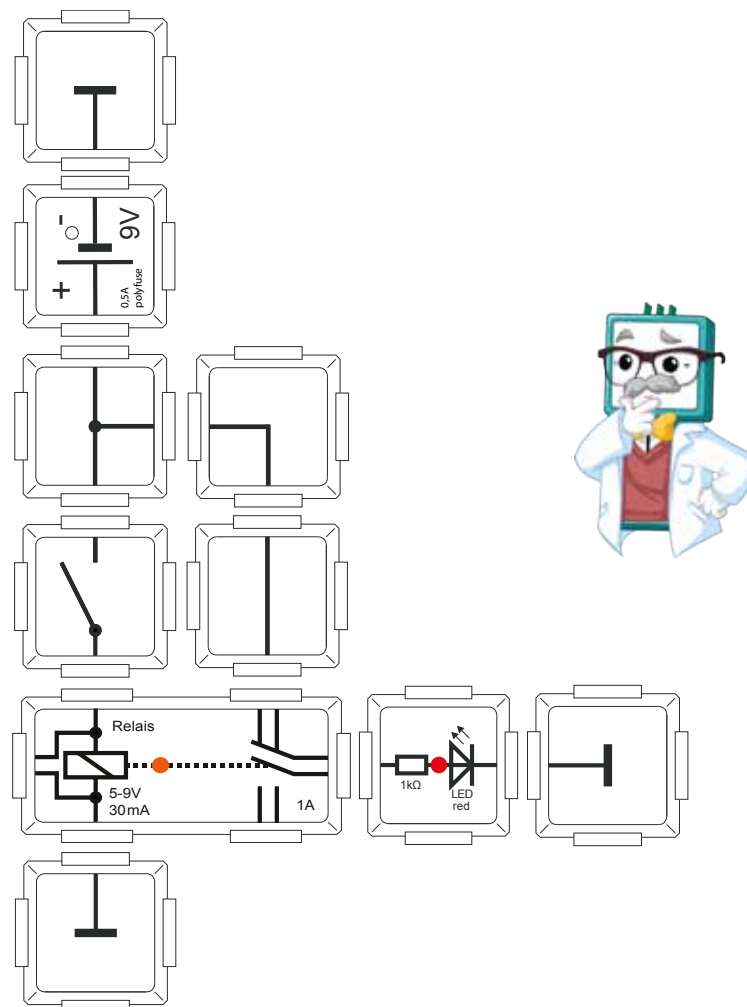


Abb. 98: Relais als Inverterschaltung (NICHT-Verknüpfung)

5.14.12 Relais als UND-Verknüpfung (AND)

Die UND-Verknüpfung kann mit einer Relaischaltung ebenso verwirklicht werden wie mit Transistoren (Kap. 5.10.5), Dioden (Kap. 5.10.2) oder Tastern (Kap. 5.2.1). Hier sind die Schaltskontakte der beiden Relais in Serie geschaltet, sodass 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 per Taster angesteuerten Relais – angezogen haben.

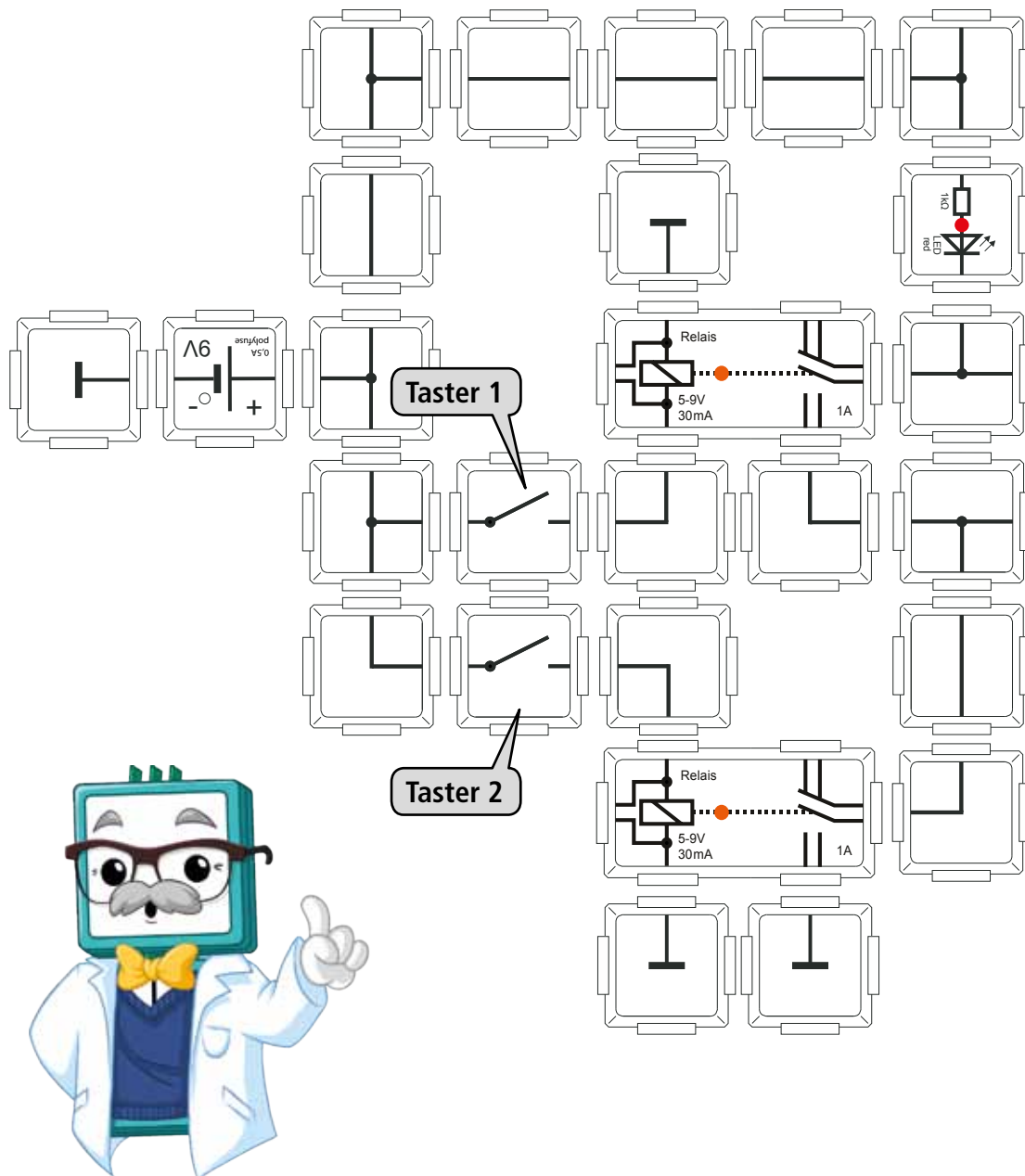


Abb. 99: Relais als UND-Verknüpfung

Die Wahrheitstabelle der UND-Verknüpfung:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (Aus)	0 (Aus)	0 (Aus)
0 (Aus)	1 (Ein)	0 (Aus)
1 (Ein)	0 (Aus)	0 (Aus)
1 (Ein)	1 (Ein)	1 (Ein)

5.14.13 Relais als invertierende UND-Verknüpfung (NAND)

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 Beschaltung der Schaltkontakte erfolgt hier als Öffner. Die Wahrheitstabelle sowie weitere allgemeine Informationen zum Thema NAND-Verknüpfung findest du in Kapitel 5.10.3 (NAND mit Transistoren).

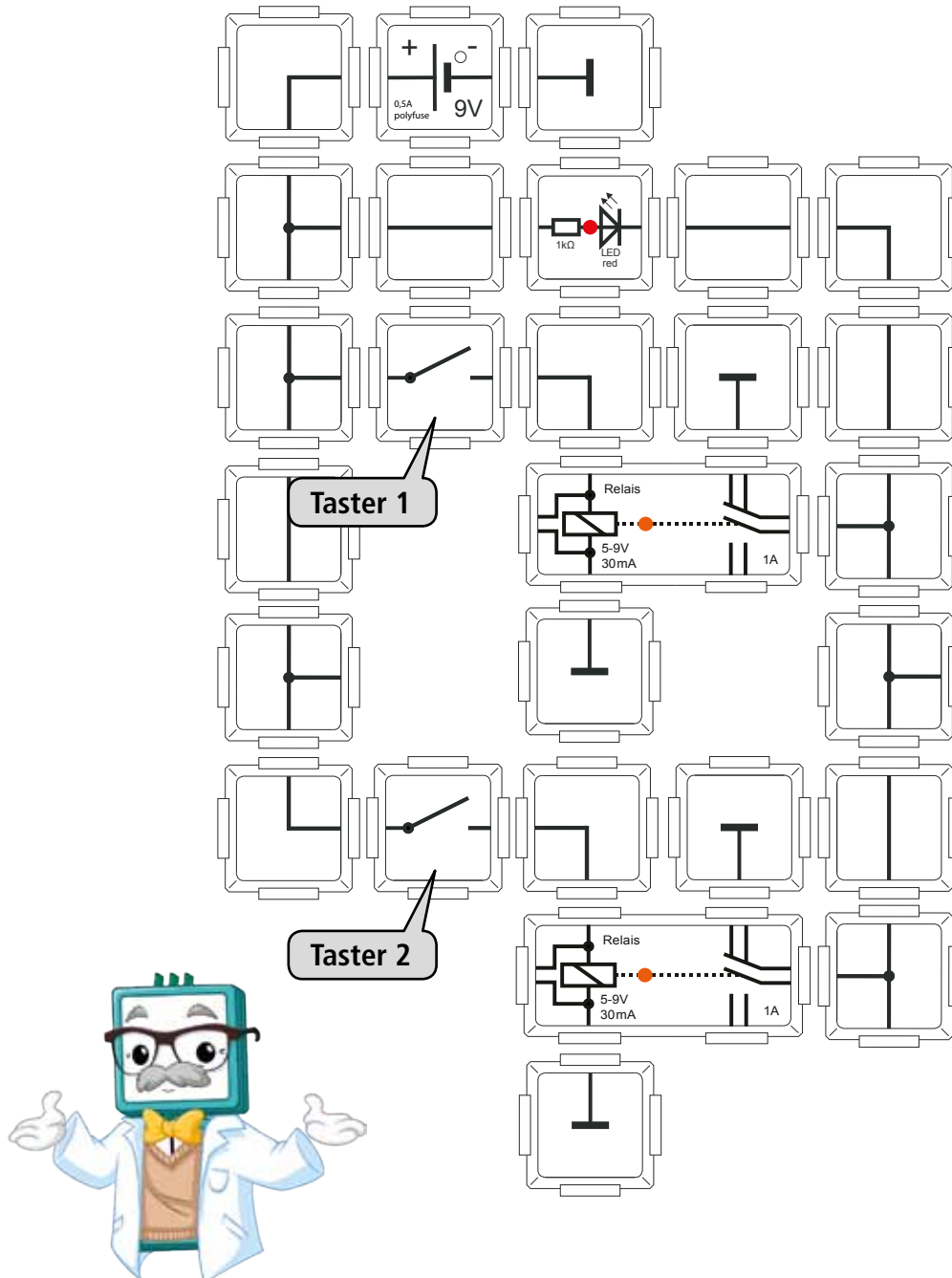


Abb. 100: Relais als invertierende UND-Verknüpfung (NAND)

Die Wahrheitstabelle der NAND-Verknüpfung:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED rot)
0 (Aus)	0 (Aus)	1 (Ein)
0 (Aus)	1 (Ein)	1 (Ein)
1 (Ein)	0 (Aus)	1 (Ein)
1 (Ein)	1 (Ein)	0 (Aus)

5.14.14 Relais als ODER-Verknüpfung (OR)

Wer die elementaren Prinzipien der Digitaltechnik verstanden hat, kann aus der vorherigen Schaltung leicht eine ODER-Verknüpfung entstehen lassen. Versuch 5.14.13 lässt sich leicht in eine ODER-Verknüpfung überführen. Hierzu könntest du die Funktion der beiden Relais-Schaltkontakte umkehren und diese als Schließer verwenden. Nur die Masse-Bricks werden dann an die gegenüberliegende Seite der Relais-Bricks gesteckt. Die rote LED leuchtet, sobald ein oder beide Relais geschlossen sind.

In Kapitel 5.2.2 und Kapitel 5.10.6 findest du weitere ODER-Realisierungen, die rein mit Taster bzw. mit Transistoren anstelle der Relais aufgebaut sind.

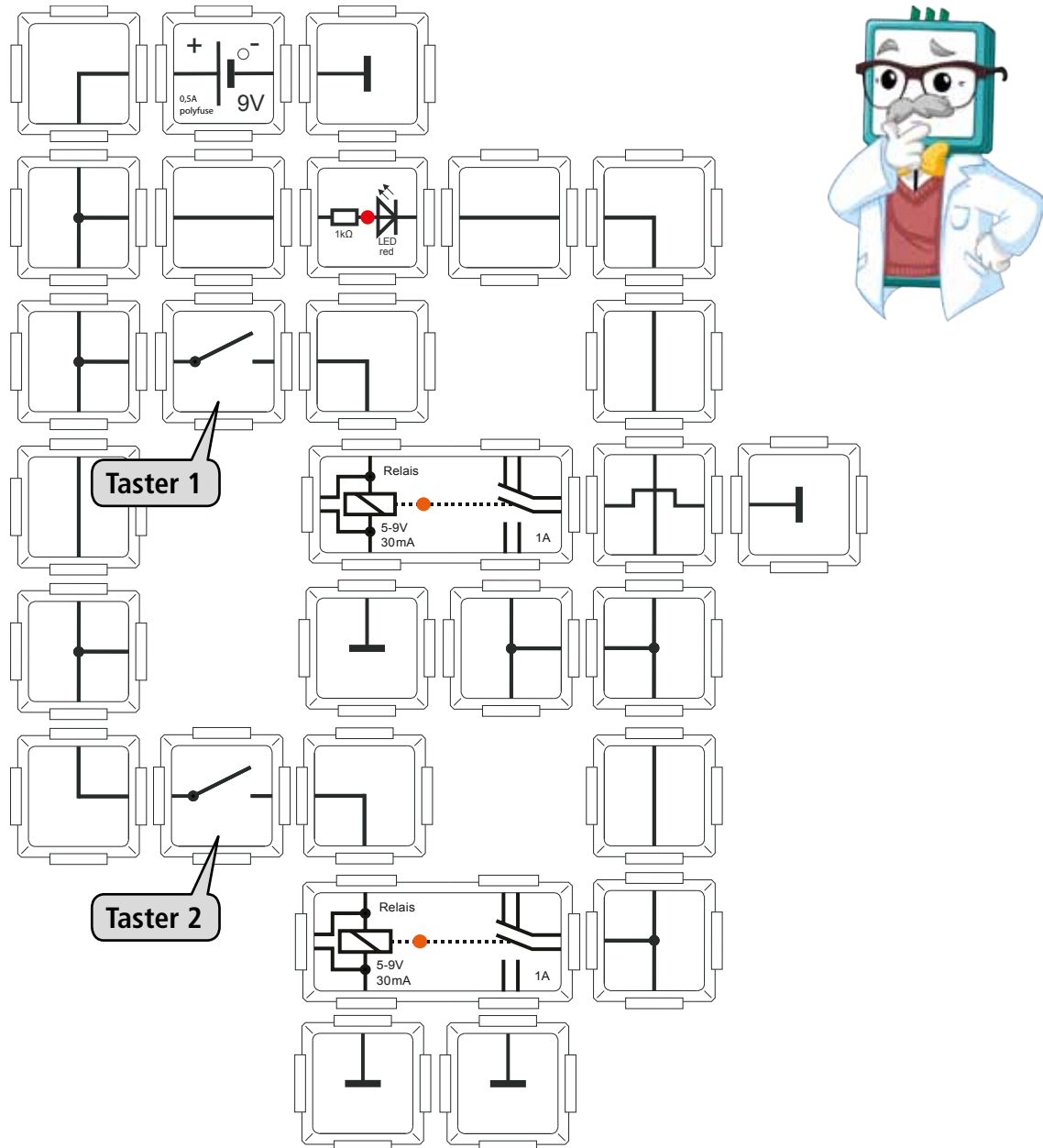


Abb. 101: Relais als ODER-Verknüpfung (OR)

Die Wahrheitstabelle der ODER-Verknüpfung:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED rot)
0 (Aus)	0 (Aus)	0 (Aus)
1 (Ein)	0 (Aus)	1 (Ein)
0 (Aus)	1 (Ein)	1 (Ein)
1 (Ein)	1 (Ein)	1 (Ein)

5.14.15 Relais als invertierende ODER-Verknüpfung (NOR)

Die Ähnlichkeit der NAND- und ODER-Verknüpfung bei deren technischer Realisation haben wir bereits kennengelernt. Jetzt negieren wir die Funktion aus Schaltung 5.14.14. Hierzu sind die Arbeitskontakte als Öffner in Serie in den Schaltkreis eingebracht, sodass 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. Kapitel 5.10.4 beschreibt, wie die alternative NOR-Realisierung auf Transistorebene aussieht.

In der Transistorlogik haben die NAND- und NOR-Schaltungen gewisse Vorteile gegenüber den AND- und OR-Schaltungen. Das macht aber nichts, denn auch, wenn man nur viele NAND- und NOR-Gatter zur Verfügung hätte, könnte man damit, gemäß der booleschen Algebra, jede andere Logik-Verknüpfung realisieren.

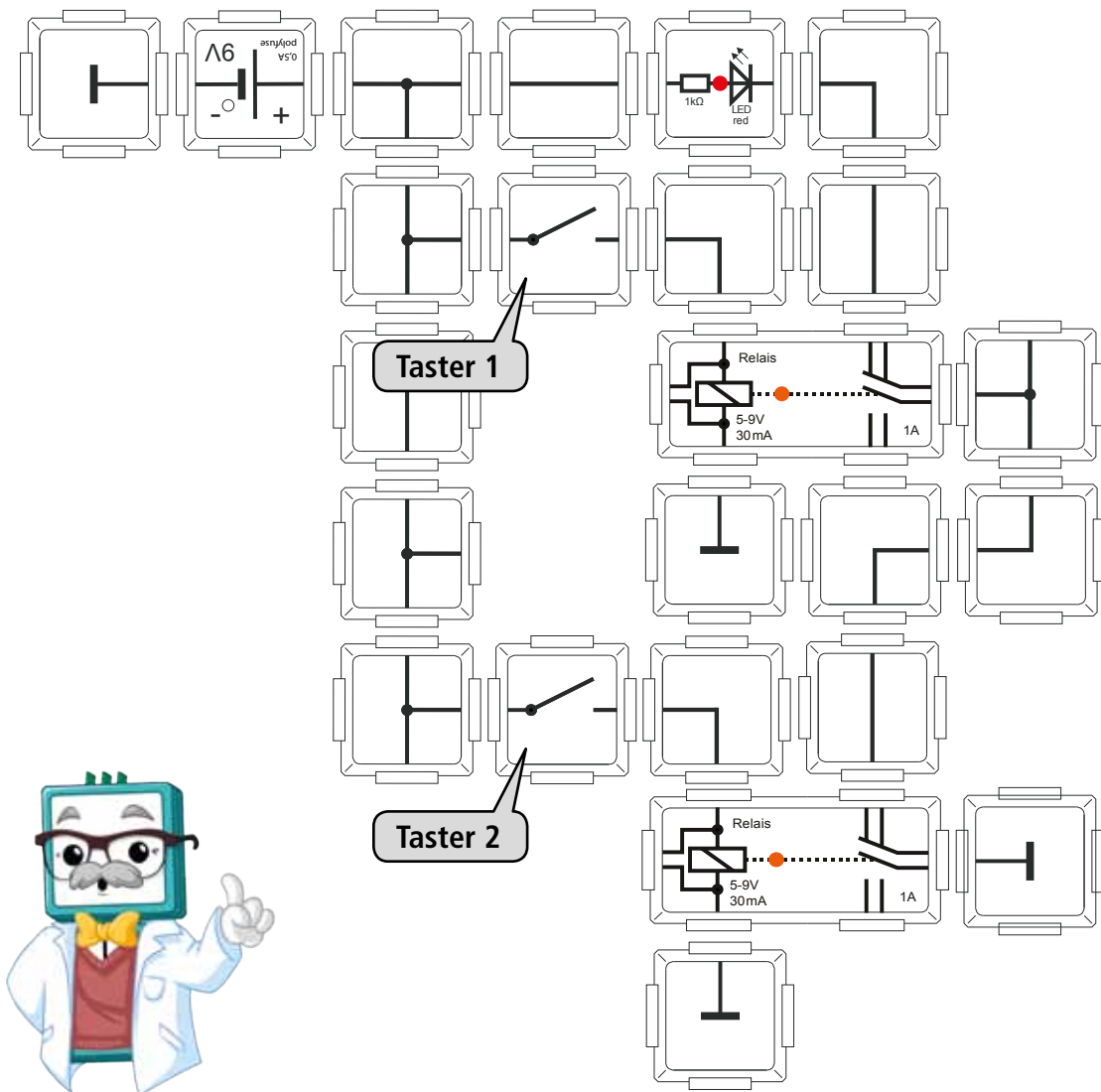


Abb. 102: Relais als invertierende ODER-Verknüpfung (NOR)

Die Wahrheitstabelle der NOR-Verknüpfung:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED)
0 (Aus)	0 (Aus)	1 (Ein)
1 (Ein)	0 (Aus)	0 (Aus)
0 (Aus)	1 (Ein)	0 (Aus)
1 (Ein)	1 (Ein)	0 (Aus)

5.14.16 Relais als Exklusiv-ODER-Verknüpfung (XOR)

Die Exklusiv-ODER-Verknüpfung (auch XOR genannt) 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 (Mittel-, Schließer- und Öffner-Kontakt) an den Arbeitskontakten belegt sind. Die rote LED leuchtet nur, wenn entweder der eine Taster oder andere Taster betätigt wird. Wird kein Taster betätigt oder beide gleichzeitig, erlischt die rote LED: Nur unterscheidbare Eingangssignale geben einen "High"-Pegel am Ausgang.

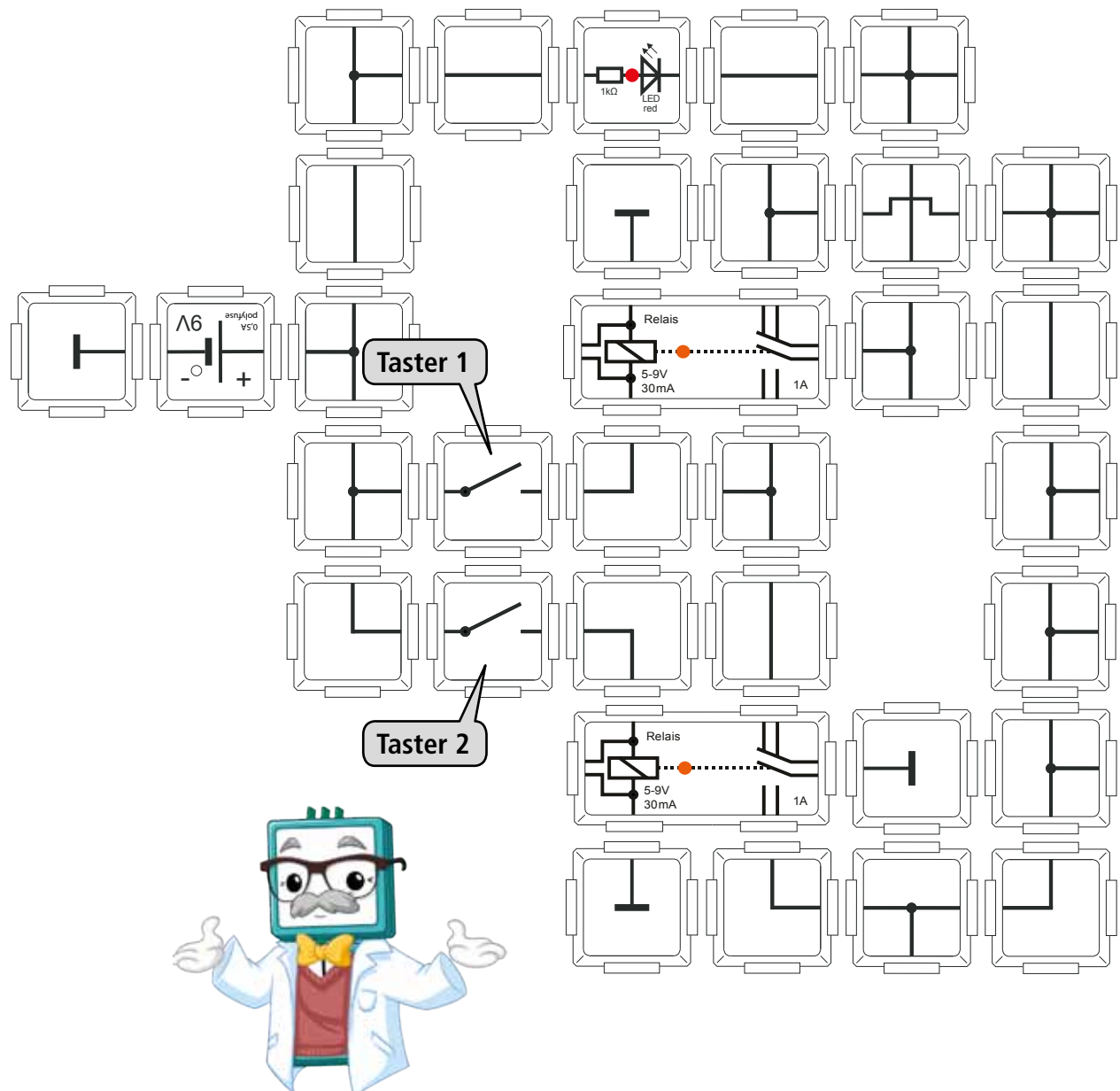


Abb. 103: Relais als Exklusiv-ODER-Verknüpfung (XOR)

Die Wahrheitstabelle der XOR-Verknüpfung:

Taster 1	Taster 2	Ausgang (LED rot)
0 (Aus)	0 (Aus)	1 (Ein)
1 (Ein)	0 (Aus)	0 (Aus)
0 (Aus)	1 (Ein)	0 (Aus)
1 (Ein)	1 (Ein)	0 (Aus)

Als weiterführende Denksportaufgabe kannst du überlegen, wie die Wahrheitstabelle für eine Exklusiv-NOR- bzw. Exklusiv-UND-Verknüpfung aussieht.

5.14.17 Der Reed-Relais-Brick

Der Name „Reed“ kommt vom englischen Wort für die tonerzeugende Schilf- oder Holz-Zunge von Holzblasinstrumenten. Die Bezeichnung „Relais“ kommt daher, weil Reed-Kontakte häufig von einem Elektromagneten angesteuert werden. In unserem sogenannten Reed-Relais-Brick ist lediglich ein Reed-Kontakt geschützt verbaut – ist jedoch für sich betrachtet, kein echtes Relais mit Steuer- und Schaltstromkreis. Vereinfacht ausgedrückt, wird ein Reed-Kontakt zum Reed-Relais, indem der Reed-Kontakt (Schaltkontakt) mit einer Spule zur Erzeugung eines Magnetfelds (Steuerkreis) umwickelt und in einem Bauteil vereint wird.

Wir betrachten hier nur den Reed-Kontakt selbst, der aus einem kleinen Glasröhrchen besteht, in dem sich – meist zwei – vormagnetisierte Kontaktzungen in Gasatmosphäre befinden. Mindestens eine Kontaktzunge (unser Brick hat nur einen Schließkontakt) ist beweglich. Durch ein Magnetfeld von außen, das der magnetischen Polarisierung im Inneren, entgegengesetzt gerichtet sein muss, kann der Kontakt betätigt werden.

Natürlich kann das Glas zerbrechen, aber ansonsten sind Reed-Kontakte besonders unempfindlich. Neben der einfachen und kleinen Bauweise ist ein weiterer Vorteil, dass die Kontakte hermetisch abgedichtet sind. Das mindert die Korrosion und fördert die Lebensdauer. Andere Kontakte, die der Luft und der Luftfeuchtigkeit ausgesetzt sind, kämpfen oft mit Korrosion. Auch der Verschleiß durch Abbrand der Kontakte beim Schalten hoher Leistungen ist bei Reed-Kontakten besonders gering.

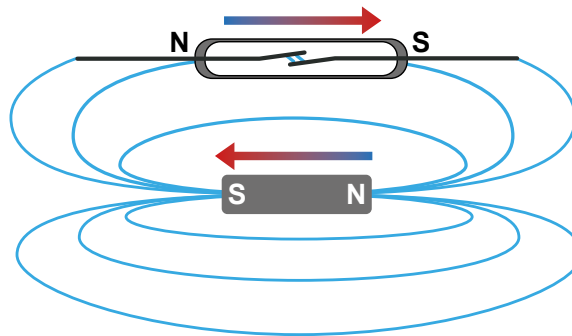


Abb. 104: Schematische Darstellung Reed-Kontakt

In handelsüblichen Notebooks werden beispielsweise Reed-Kontaktschalter als Näherungsschalter verbaut, um ein Abschalten des Bildschirms beim Zuklappen zu bewirken. Das Reed-Relais hat den großen Vorteil gegenüber mechanischen Sensoren, dass es annähernd prellfrei und nahezu verschleißfrei arbeitet.

Unser Versuch besteht aus einer einfachen Serienschaltung von Versorgungs-, Reed-Relais- und LED-Brick mit den abschließenden Masse-Bricks. Die Aktivierung des Reed-Kontakts erfolgt mit einem kleinen Stabmagneten. Dieser kann, in der richtigen magnetischen Polung in die Nähe des Reed-Relais-Bricks gebracht, den Kontakt schließen und die rote LED leuchten lassen.

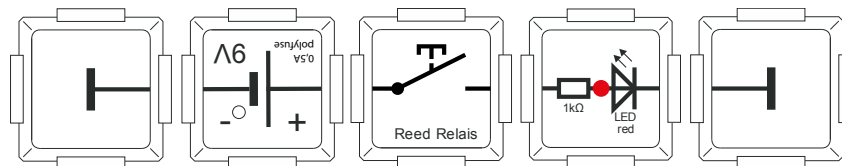


Abb. 105: Reed-Kontaktschaltung

5.15 Alarmschaltungen

5.15.1 Morse-Schaltung mit Buzzer

Ein Buzzer (Summer) ist ein akustischer Signalgeber mit geringer Bandbreite, der (normalerweise nach Anlegen der Betriebsspannung), anders als ein Lautsprecher, selbstständig einen angenehmen oder penetranten Summ- oder Pfeifton liefert. Da unser Steckernetzteil 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 um das Morsen zu lernen.

Das sog. Morse-Alphabet (auch Morse-Code genannt) wurde von dem Amerikaner Samuel Morse im frühen 19. Jahrhundert erfunden. Damit konnten vor Einführung des Telefons zur Nachrichtenübermittlung über Fernmeldekabel, Buchstaben und Zeichen, kodiert als rhythmische Abfolge von kurzen und langen Tönen und Pausen, übertragen werden. Auch zur ersten Kommunikation mit Schiffen mittels drahtloser Funktechnik wurde es verwendet. 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 kann aber nicht nur für Tonsignale, sondern auch für Lichtsignale verwendet werden. Man kann also auch mit einer Taschenlampe morsen. Schiffe kommunizieren in Notfällen mit einem Scheinwerfer. Heute noch ist der Morsecode bei Amateurfunkern sehr beliebt, weil mit geringem technischen Aufwand weltweite Funkverbindungen ohne Basis-Stationen und ohne Satelliten möglich sind (was auch bei Notfällen von Bedeutung ist). Über eine der SDR (Software Defined Radio)-Stationen unter <http://www.websdr.org> kann man per Internet im Kurzwellenbereich (KW = Kurzwelle) – auch wenn man kein eigenes Kurzwellen-Radio hat – mithören (z.B. University of Twente).

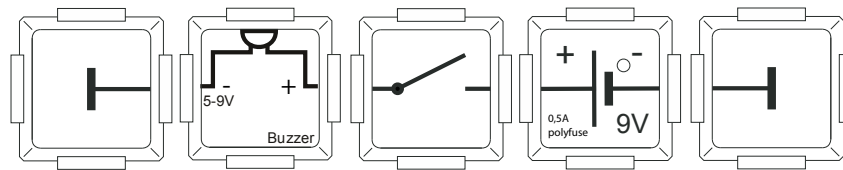


Abb. 106: Morse-Schaltung mit Buzzer

Das Morse-Alphabet

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	— — — — ·	@	·—·—·



5.15.2 Alarmanlage mit Relais

Wir wollen mittels einem Reed-Kontakt als Näherungs-Schalter, der an einer Türe angebracht ist, eine Alarmanlage bauen. An der Tür muss dazu natürlich z. B. ein Stabmagnet angebracht sein. Theoretisch könnten wir das mit einem Türkontakt lösen, der beim Öffnen der Türe schließt und eine laute Klingel, in unserem Fall den Summer-Brick, einschaltet. Dazu bräuchten wir allerdings einen Reed-Kontakt, der als Öffner arbeitet und außerdem könnte eine solche Anlage vom Einbrecher leicht außer Betrieb gesetzt werden. Er bräuchte nämlich nur die Kabel durchschneiden. Daher ist es besser die Schaltung so zu bauen, dass im Normalfall (also kein Alarm) Strom durch den Kontakt und seine Anschlusskabel fließt. Eine solche Anlage gibt dann einen Alarm, sobald der Kontakt geöffnet wird und auch wenn das Kabel durchgetrennt wird. Eine solche Alarmanlage zu manipulieren ist dann schon etwas schwieriger.

Dazu verwenden wir unsere NICHT-Verknüpfung vom Kapitel 5.14.11. Sie aktiviert über das Relais einen Signalgeber (hier unseren Buzzer), sobald der Türkontakt unterbrochen wird. In der untenstehenden Schaltung ist das Relais bei geschlossenem Reed-Kontakt angezogen. In der Praxis musst du an der Tür den Stabmagneten anbringen und am Türstock den Reed-Kontakt. Das System löst auch dann aus, wenn ein potentieller Einbrecher in der Hoffnung die Anlage zu sabotieren, die Leitung zum Reed-Kontakt durchtrennt.

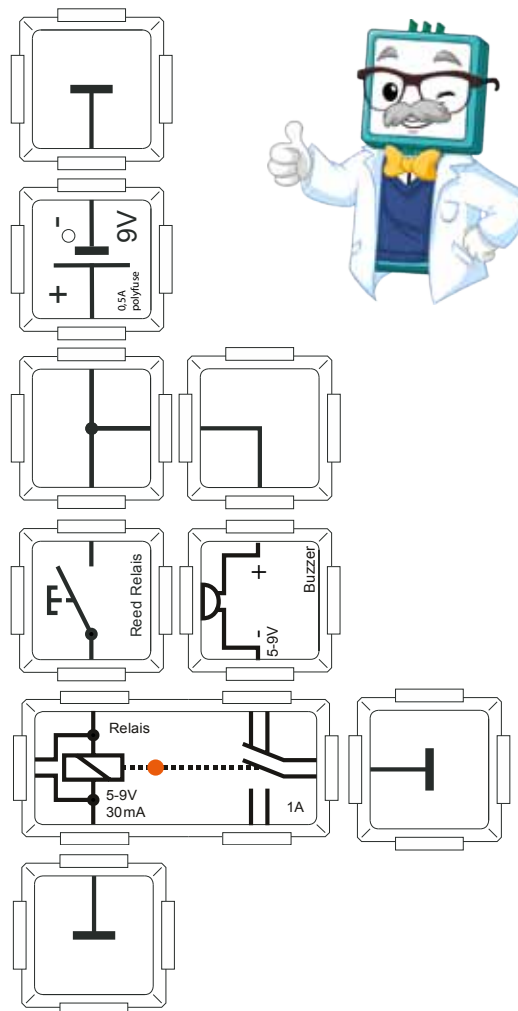


Abb. 107: Alarmanlage mit Relais

5.15.3 Alarmanlage mit Transistor

Wenn wir keine Alarmanlage brauchen, sondern nur eine ferngesteuerte Anzeige, um z.B. das korrekte Schließen einer Tür oder eines Fensters mittels LED anzuzeigen, können wir folgende Schaltung verwenden. Natürlich muss an Fenster oder Türe ein Magnet angebracht sein, der den Reed-Kontakt schaltet.

Diesmal verwenden wir anstatt Relais einen Transistor als elektronischen Schalter. Sobald der Reed-Kontakt geschlossen ist, leuchtet die rote LED. Das hätten wir natürlich auch ohne Transistor bauen können, aber diese Schaltung soll das Prinzip zeigen um später auch andere Sensoren, die weniger Strom vertragen als unser Reed-Kontakt, dort einbauen zu können.

Wird das Fenster geöffnet, erlischt der Signalgeber im Kontrollraum und zeigt die potentielle Gefahr an. Diese Schaltung könnte z.B. in der Produktion unter Reinraumbedingungen Anwendung finden. Dort darf auf keinen Fall Luft von draußen in die Produktionsräume gelangen, sondern nur aufwendig gereinigte, nahezu staubfreie Luft. Ansonsten könnten die feinen Strukturen in der Halbleiterfertigung zerstört werden.

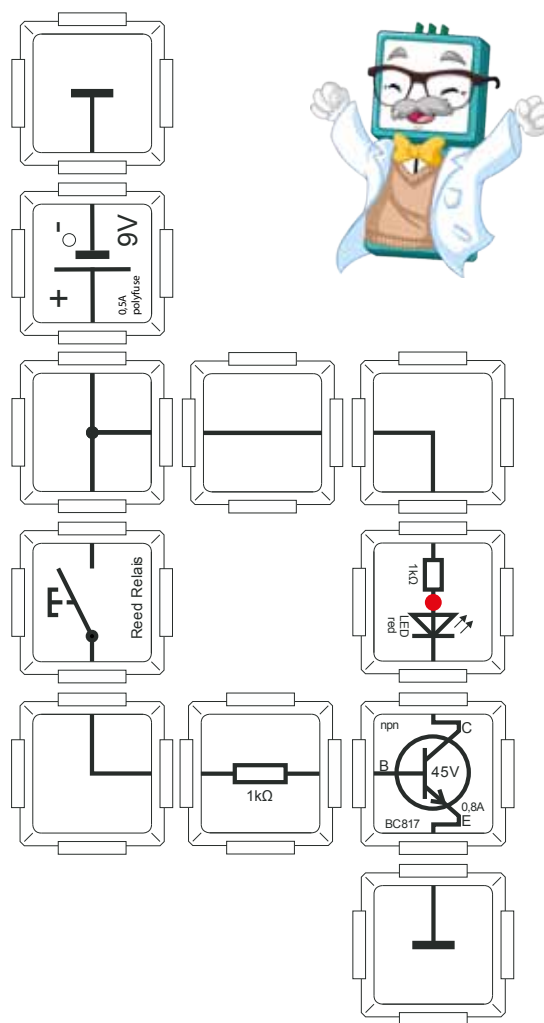


Abb. 108: Alarmanlage mit Transistor

5.15.4 Alarmanlage mit Transistor in invertierter Funktion

Im Vergleich zur vorherigen Alarmanlage (Kap. 5.15.3) ist an die Stelle des Reed-Kontaktes ein $10\text{k}\Omega$ -Widerstand gerückt. Dieser liefert im Ruhezustand der Schaltung einen Basisstrom. Der Transistor schaltet gegen Masse durch und die LED leuchtet. Der Reed-Kontakt hingegen, ist jetzt ebenfalls gegen Masse geschaltet. Ein Schließen zieht den Basiskontakt des Transistors auf Masse. Der Basisstrom geht auf Null. Der Transistor sperrt und die LED erlischt. Das hätte man einfacher bauen können. Es geht aber hier, wie bei der letzten Schaltung nur darum Schaltungsprinzipien zu lernen.

So kann z. B. das Überlaufen eines Tanks signalisiert werden. Sobald der Füllstand eine kritische Marke erreicht hat, wird über den an einem Schwimmer angebrachten Magneten der Reed-Kontakt geschlossen. Wenn wir jetzt die Schaltung noch so erweitern, dass zusammen mit dem Ausgehen der LED auch die Pumpe stoppt, die den Behälter befüllt, können wir das Überlaufen vermeiden. Wir haben eine Automatisierungsaufgabe gelöst.

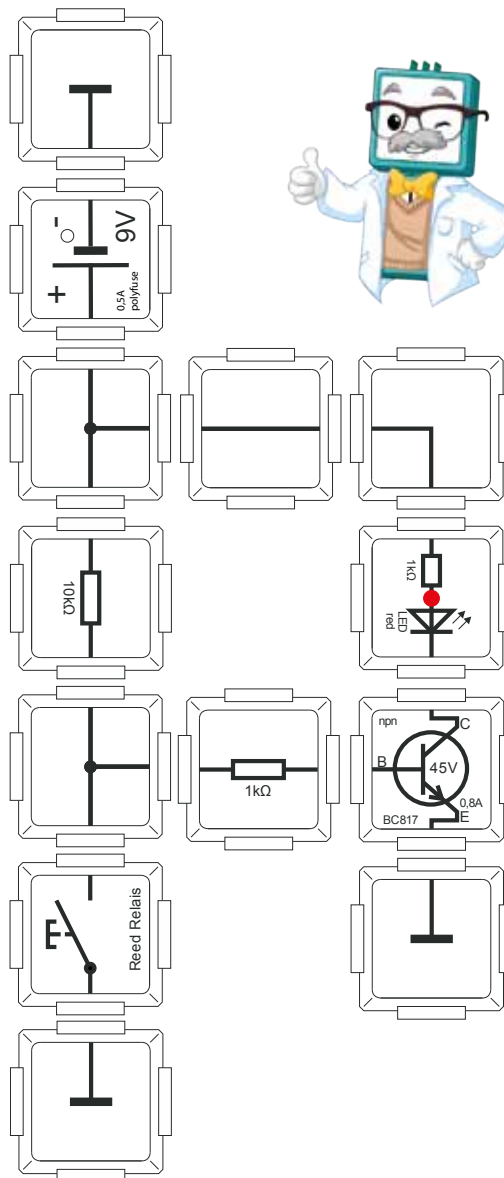


Abb. 109: Alarmanlage mit Transistor in invertierter Funktion

5.15.5 Lichtschranke als Sensor

Eine Lichtschranke besteht aus einer Lichtquelle die einen Lichtstrahl aussendet und einem Lichtsensor der den Lichtstrahl empfängt. Solche optischen Sensoren werden in der Automatisierungstechnik verwendet um Hindernisse zu erkennen. An Aufzügen verhindern sie etwa das Schließen der Türen solange der Türbereich nicht vollständig geräumt ist. Wir bauen hier eine Schaltung, in der das Leuchten einer LED anzeigt, dass kein Hindernis mehr im Weg ist.

Die vorliegende Schaltung verwendet die grüne LED als Anzeige. Wenn die Lichtintensität auf dem Phototransistor der Lichtschranke groß genug ist, leuchtet die grüne LED. Soll die LED erlöschen, reicht es aus ein optisches Hindernis, beispielsweise ein Blatt Papier, in die Lichtschranke zu schieben.

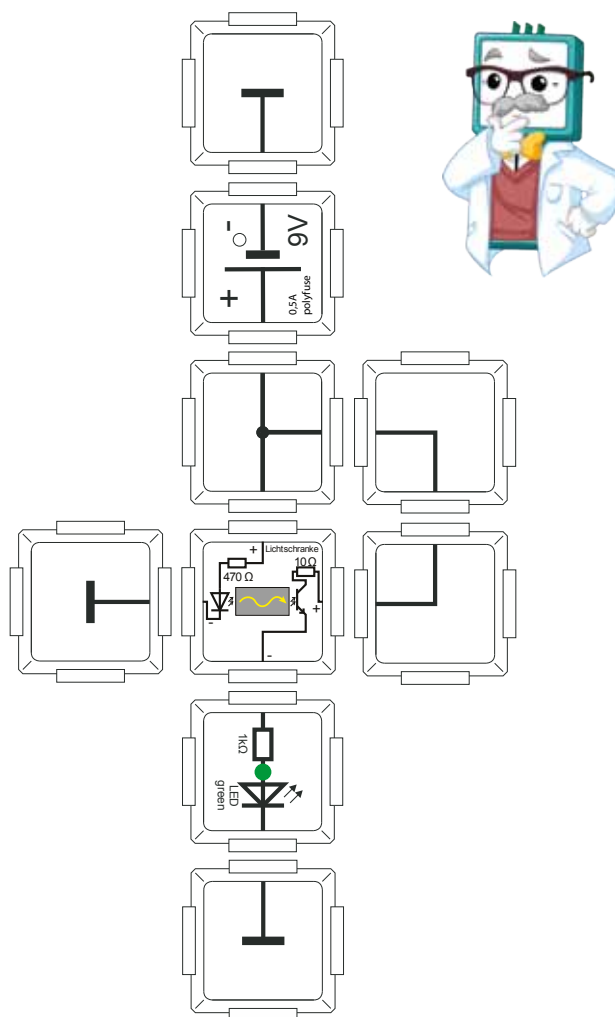


Abb. 110: Lichtschranke als Sensor

5.15.6 Optokoppler zur galvanischen Trennung

Optokoppler sind aufgebaut wie Lichtschranken, nur mit dem Unterschied, dass der Lichtstrahl gar nicht zugänglich ist und daher auch nicht durch ein Hindernis unterbrochen werden kann. Prinzipiell können wir unseren Lichtschranken-Brick aber auch als Optokoppler verwenden. Die Stromkreise der Lichtquelle und des Lichtsensors werden dazu komplett getrennt. Man nennt das galvanische Trennung. Es gibt kein gemeinsames Bezugspotential zwischen den beiden Stromkreisen. Ein Kurzschluss in einem Stromkreis verursacht daher auch keinen Kurzschluss im anderen Stromkreis. In der vorliegenden Schaltung sind daher zwei Spannungsquellen verbaut: Die Batterie-Versorgung für die Sende-LED und das Netzteil für den Stromkreis mit dem Phototransistor (Empfänger) und der grünen LED als Signalgeber. Die beiden Stromkreise sind nur optisch gekoppelt, d. h. das Signal, also die Information wird nur über das Licht von einem Stromkreis zum anderen übertragen. Unterbricht die LED im Sende-Stromkreis, erlischt auch die grüne LED im Empfänger-Stromkreis.

Einen weiteren Vorteil hat die galvanische Trennung bei unterschiedlichen Spannungsebenen. Schaltungen sind so besser an ihre Anwendung anpassbar. So kann etwa ein Stromkreis in der Niederspannungsebene arbeiten und der andere in der Hochspannungsebene.

Auch diese Schaltung zeigt nur das Prinzip und hat so noch keine sinnvolle Anwendung.

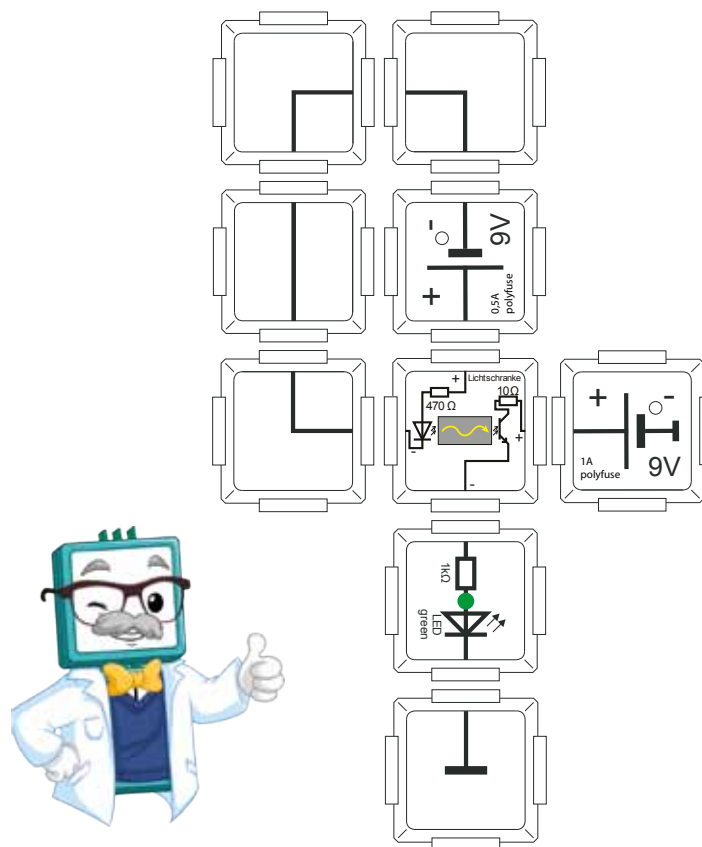



Abb. 111: Lichtschranke zur galvanischen Trennung

Hinweis:

Da in den Brick-Schaltungen die Masse grundsätzlich auf den äußeren Steckkontakten mitgeführt wird, werden die "Massen" verschiedener Spannungsquellen – wie in der obigen Schaltung – zwangsweise verbunden. D. h. wir haben in der Brick-Schaltung zwar zwei getrennte Stromkreise aber dennoch eine gemeinsame Masse  als Bezugspotential.

5.16 Thermoelemente

5.16.1 Kaltleiter (PTC) als Temperatursensor mit Verstärkung

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.

Wir wollen hier eine Schaltung bauen, in der ein LED leuchtet, sobald eine gewisse, einstellbare Temperatur überschritten wird. Der Versuchsaufbau verbindet den PTC- mit dem Potentiometer-Brick. Die Ausgangsspannung des Potis hängt also von der Einstellung am Regler und von der Temperatur ab. Beim PTC ist die Widerstandsänderung im Bereich der Zimmertemperatur relativ gering. Aber der nachfolgende MOSFET-Transistor hat genug Verstärkung um so dennoch eine einstellbare Schaltschwelle zu ermöglichen.

Der hier verwendete MOSFET (n-Kanal, normal sperrend) reagiert bei empfindlichen Spannungsänderungen und bringt die zwischen Drain-Kontakt und Versorgung platzierte rote LED bei steigender Temperatur zum Leuchten. Ein Verdrehen 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. Man kann aber messen, dass sie beim Einschalten in weniger als einer Sekunde ihren Widerstand erheblich vergrößern. Die Temperatur einer Glühlampe steigt dabei ausgehend von ca. 20°C sehr stark auf etwa 3500°C. Dies entspricht der Arbeitsweise eines Kaltleiters.

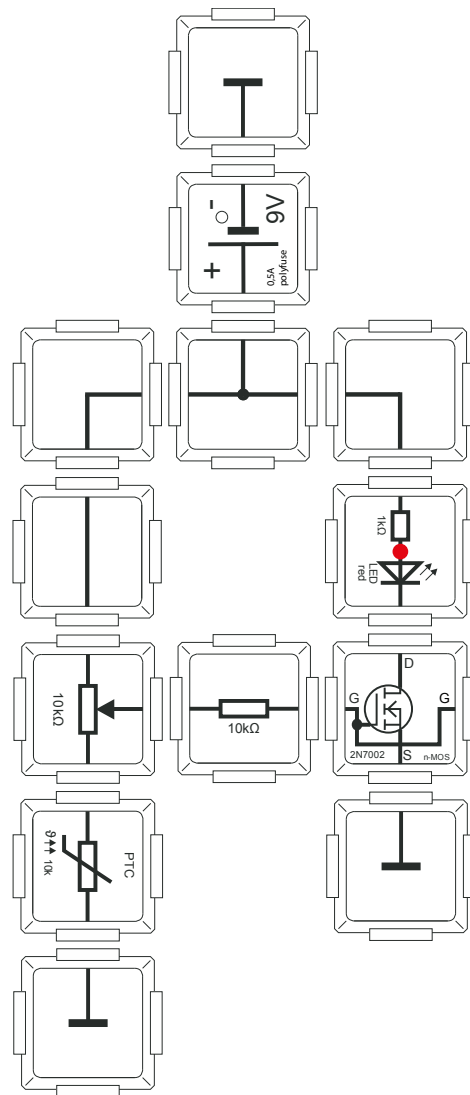


Abb. 112: Kaltleiter (PTC)

5.16.2 Heißeiter (NTC) als Temperatursensor ohne Verstärkung

Ein NTC ist ein temperaturabhängiger Widerstand (NTC: Negative Temperature Coefficient). Negativ meint in diesem Zusammenhang, dass sich Widerstand und Temperatur umgekehrt proportional 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 in Abhängigkeit von der Temperatur einstellen zu können. Blaue LEDs haben eine höhere Betriebsspannung als andere LEDs und NTCs sind bei Zimmertemperatur relativ hochohmig, daher ist die Schaltung ohne Verstärkung, etwa durch einen Transistor, realisierbar. Es reicht die Anzeige-LED am Mittelabgriff des Potentiometers anzuschließen. Ein Verdrehen des Potentiometers 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 daher 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 der Serienschaltung NTC und Potentiometer zu vertauschen.

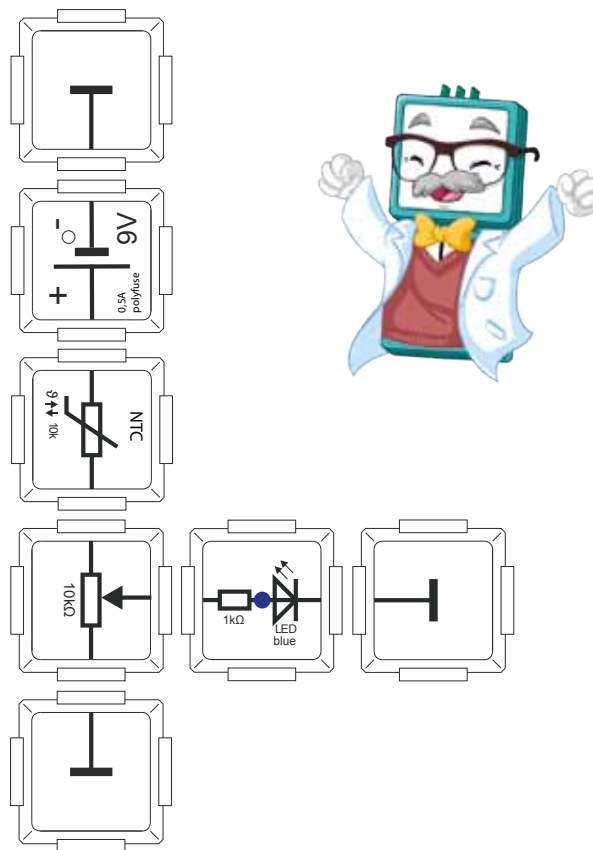


Abb. 113: Heißeiter (NTC)

Übrigens: Die Aufschrift auf dem NTC-Brick gibt den Widerstandwert bei 20°C an.

5.16.3 Heißeleiter (NTC) als Temperatursensor mit MOSFET-Verstärker

Im Vergleich zum Vorgängerversuch kommt in der aktuellen Schaltung ein MOSFET-Transistor vom Typ 2N7002 (n-Kanal, normal sperrend) zwischen LED und Potentiometer zum Einsatz.

Die Wirkungsweise ist mit der aus Versuch 5.16.2 identisch. Der Einsatz des Transistors macht den Schaltkreis lediglich etwas empfindlicher, wodurch die Schwellenspannung besser einstellbar ist. Je wärmer der NTC wird, desto geringer ist sein Widerstand und desto weniger Spannung fällt an ihm ab. Folglich steigt die Spannung am Gate des MOSFETs und die rote LED leuchtet bei Erreichen der Schaltschwelle.

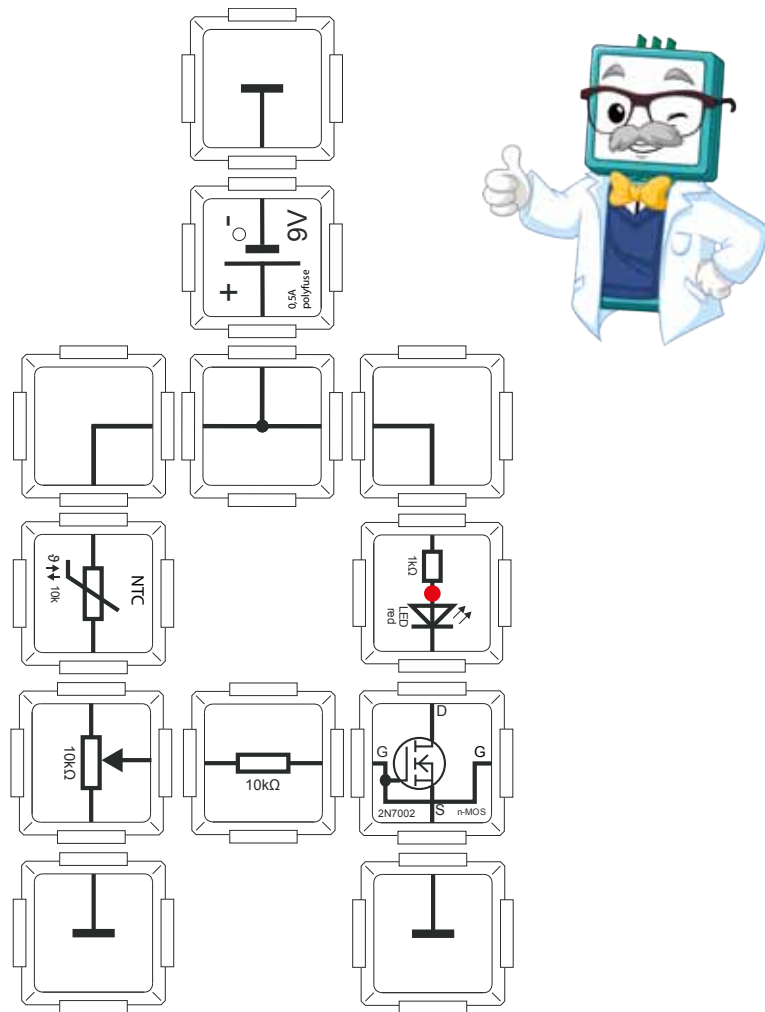


Abb. 114: NTC mit MOSFET

Übrigens: Die Aufschrift auf dem NTC-Brick gibt den Widerstandwert bei 20°C an.

5.16.4 Heißeiter (NTC) als Temperatursensor mit Bipolartransistor

Der folgende Aufbau gleicht weitgehend dem aus dem vorigen Kapitel. Lediglich der MOSFET-Brick wird durch den Brick mit dem Bipolartransistor BC817 ersetzt.

Die Wirkungsweise dieser Schaltung ist mit der aus Versuch 5.16.2 und 5.16.3 identisch. Je stärker die Temperatur des NTCs ansteigt, desto geringer ist sein Widerstand und desto weniger Spannung fällt an ihm ab. Die Spannung an der Basis des Transistors steigt und die rote LED leuchtet.

Da der Widerstandswert eines NTC bei Temperaturerhöhung abnimmt, kann man diese Bauelemente auch als Einschaltstrombegrenzung verwenden. Falls der Strom durch den NTC groß genug ist, reicht die Verlustleistung am NTC-Widerstand aus, um ihn merklich aufzuheizen. Durch den Heißeitereffekt sinkt der Widerstand. Es findet also eine Art langsame (weil thermisch träge) Stromregelung statt. Es gibt auch große NTC-Elemente für höhere Ströme, die sich langsam aufheizen. Daher kann man solche NTCs zur Realisierung eines sogenannten Soft-Starts (sanftes Anlaufen) von Geräten verwenden. Die Temperatur ist zu Beginn niedrig, sodass der Widerstand relativ hoch ist und der Stromfluss dadurch begrenzt wird. Erst nach einer gewissen Heizzeit wird die normale Temperatur des NTCs und damit der normale Stromfluss erreicht.

So kann man etwa die Heizung von Elektronenröhren langsam starten um ihre Lebensdauer zu erhöhen oder den Einschaltstrom von Elektromotoren begrenzen um zu Verhindern, dass der Sicherungsautomat aufgrund des erhöhten Einschaltstroms von induktiven Verbrauchern (wie z. B. Elektromotoren) unnötig auslöst.

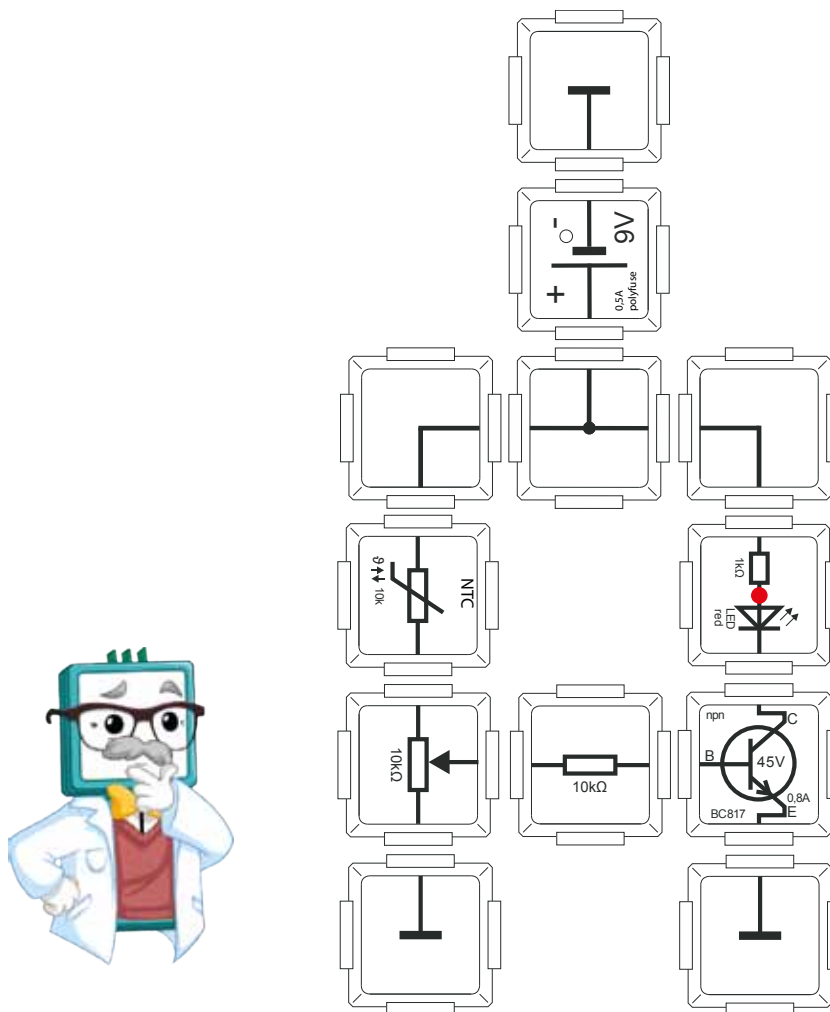


Abb. 115: NTC mit Bipolartransistor

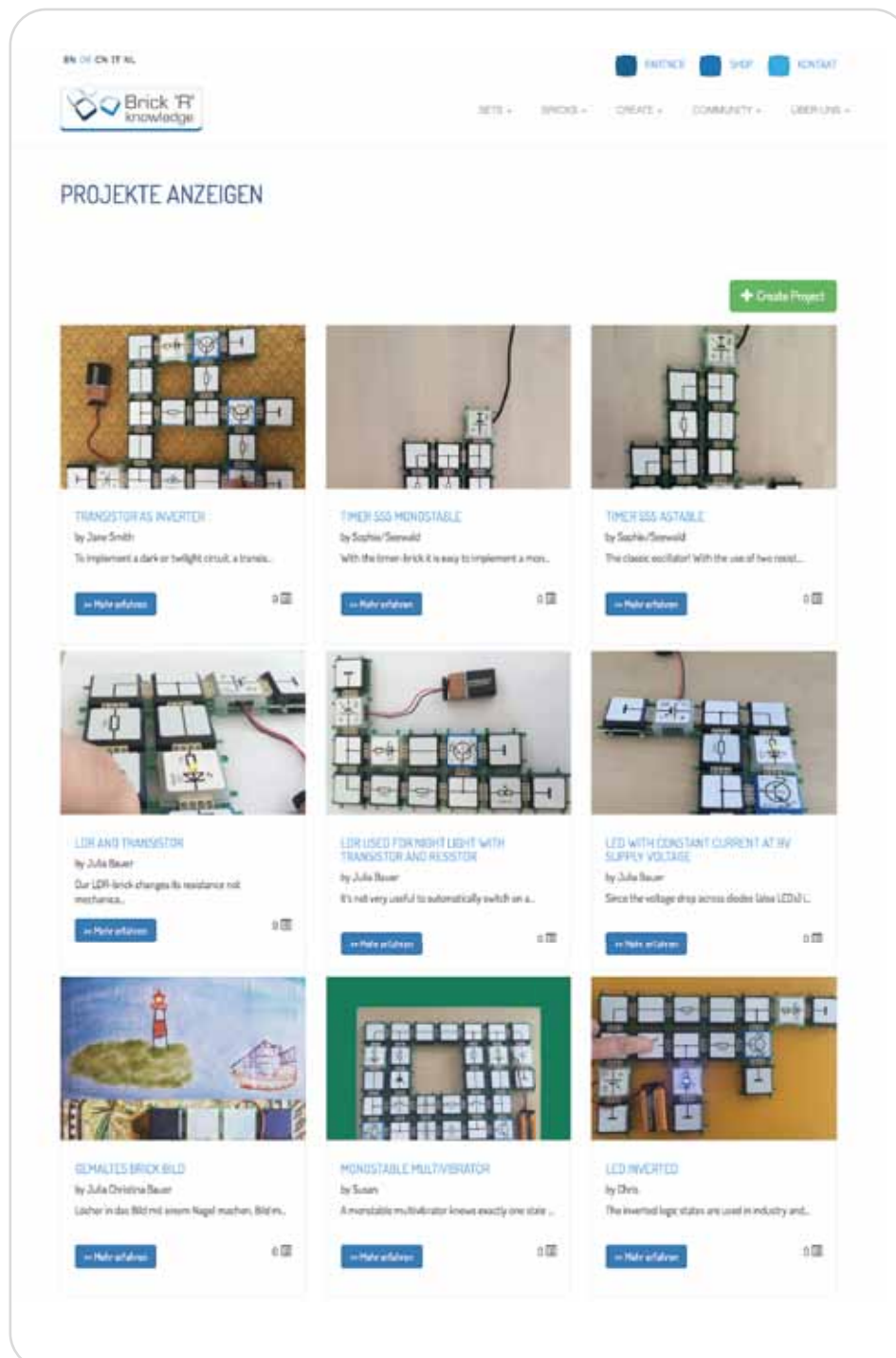
Übrigens: Die Aufschrift auf dem NTC-Brick gibt den Widerstandswert bei 20°C an.

6. Brick Community

Das Brick-Universum dehnt sich aus: Ob auf Messen, auf unserer Website, auf YouTube oder in den sozialen Medien, überall findest du weitere Anregungen, Experimente und neue Bricks, mit denen du deiner Kreativität freien Lauf lassen kannst!

Mehr Projekte

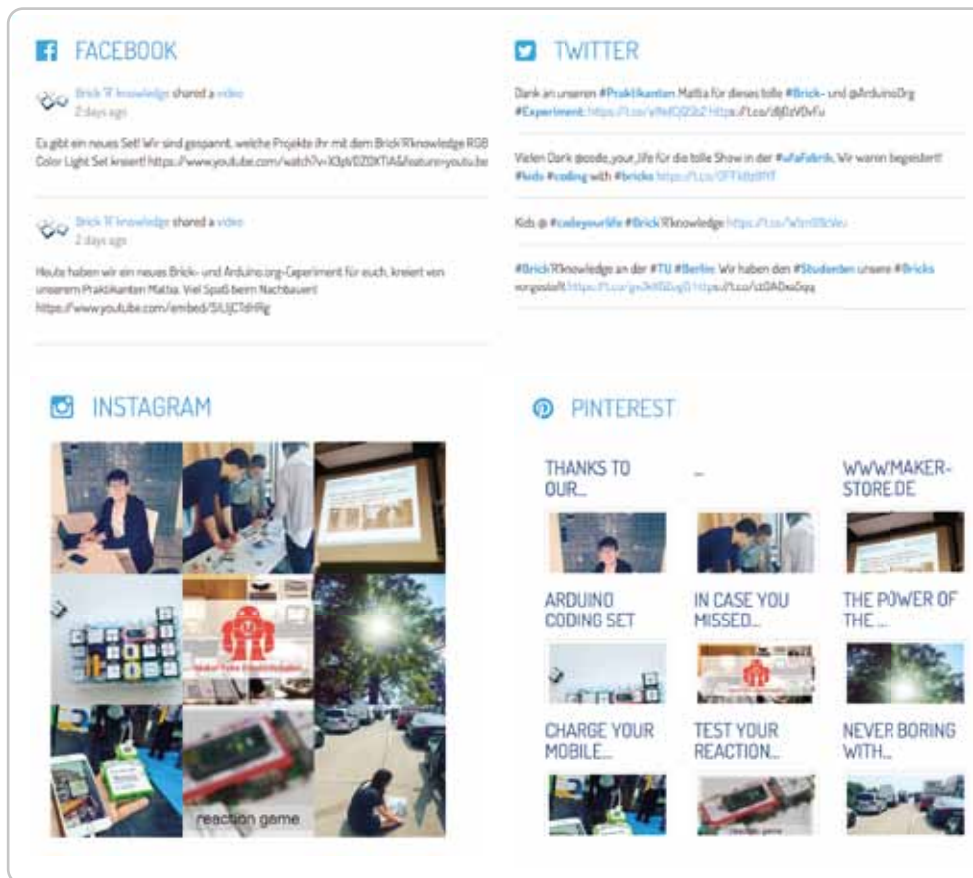
Im Reiter „Create“ kannst du Projekte und Schaltungen von anderen Community Mitgliedern ausprobieren, nachbauen und verbessern. Natürlich kannst du der Welt auch deine eigenen Experimente zeigen.





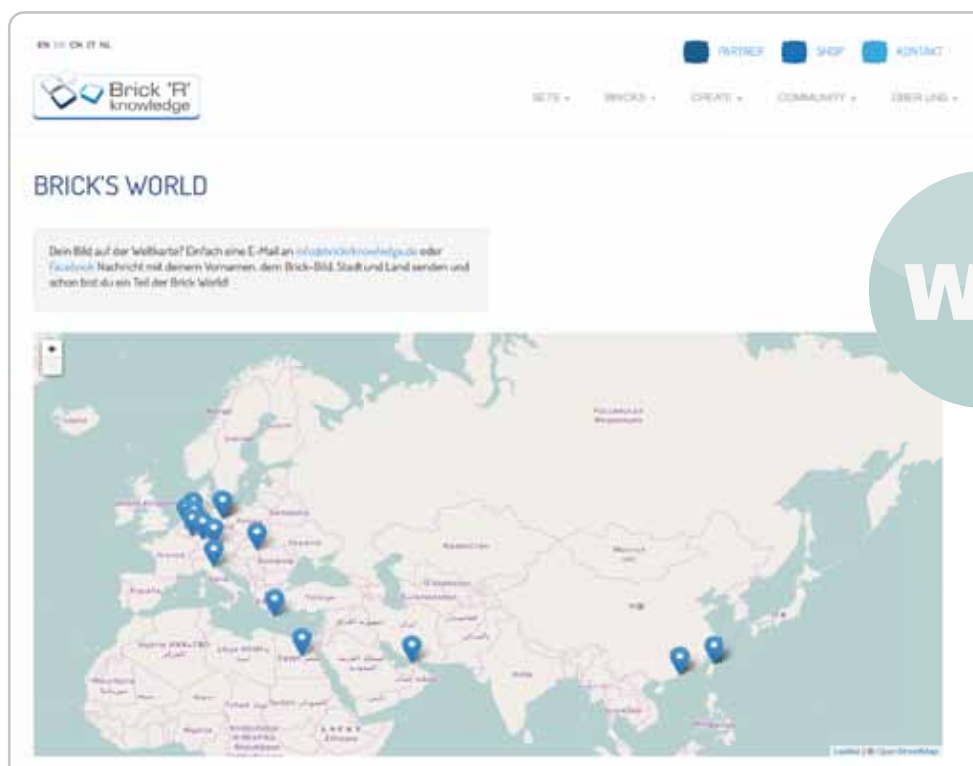
Social Media

Im Reiter „Community“ findest du unsere Social-Media-Präsenzen und bleibst so immer up-to-date!

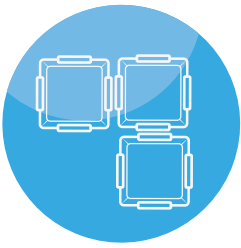


Weltweit

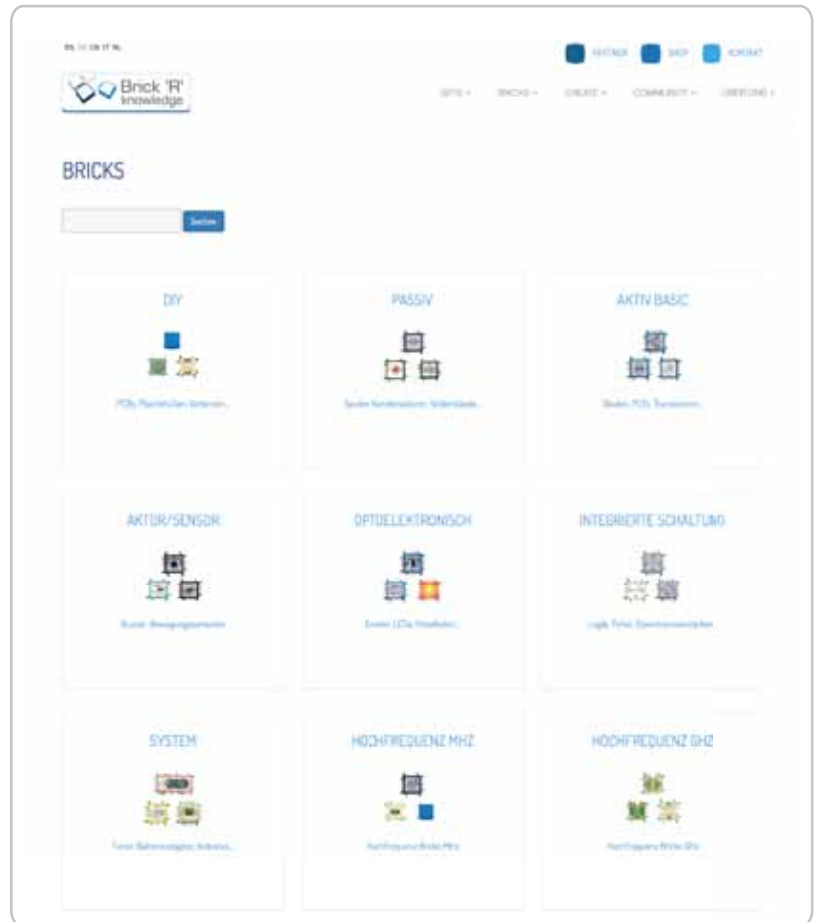
Ebenfalls im Reiter „Community“ kannst du sehen, wo es überall schon Brick-Mitglieder gibt, wo wir gerade sind oder mit welchem Wahrzeichen die Bricks schon fotografiert wurden. Hier kannst du uns auch dein Brick-Bild zusenden und du wirst es bald auf der Weltkarte finden!



Noch mehr Bricks!



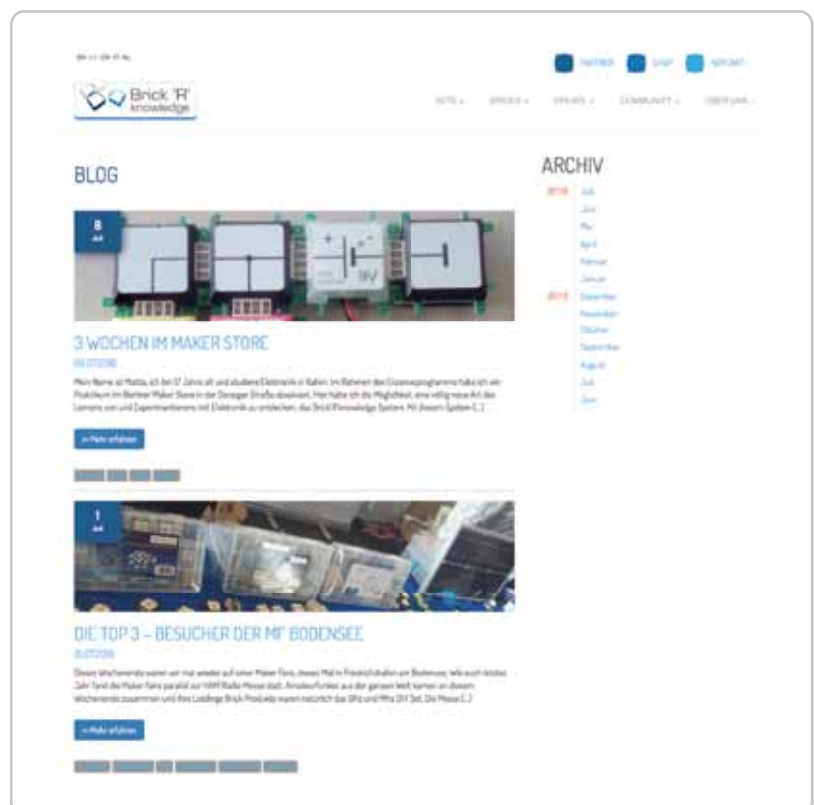
Im Reiter „Bricks“ findest du alle verfügbaren Bausteine zum Erweitern deiner Schaltungen und Experimente.



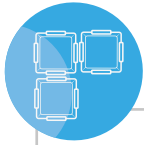
Der Brick Blog



Jede Woche gibt es unter „Community“ einen neuen Blog-Post. Du findest hier Messeberichte, neue Experimente, witzige Geschichten und Informationen über neue Sets und Bricks.



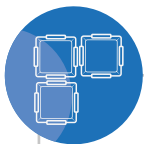
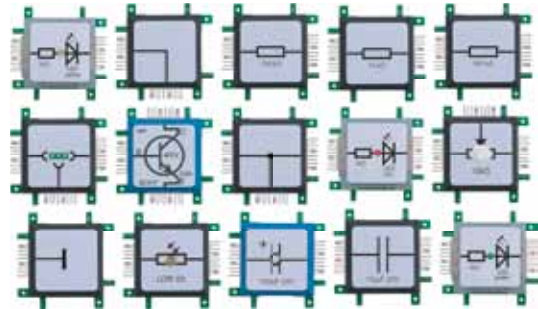
7. Brick Sets im Überblick



Basic Set enthält 19 Bricks

ALL-BRICK-0374

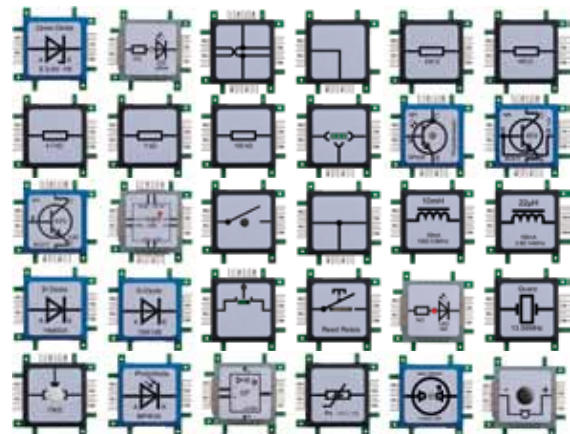
Das Basic Set bietet mit den 19 enthaltenen Bricks einen schnellen Einstieg in die Brick'R' knowledge Welt und ermöglicht bereits eine Vielzahl von Experimenten. Mit der Basic-Variante können schon junge Entwickler eigene Schaltungen bauen und so ihre ersten physikalischen und technischen Experimente durchführen.



Advanced Set enthält 111 Bricks

ALL-BRICK-0223

Mit 111 Teilen bietet das Advanced Set alles, was zur Veranschaulichung komplexer elektronischer Schaltungen benötigt wird. Unter den über 100 Beispielschaltungen finden sich auch zahlreiche Anwendungen, die wir aus dem Alltag kennen. Das Set wurde so zusammengestellt, dass es auch von Ingenieurbüros zur kostengünstigen Visualisierung im Rahmen von Rapid-Prototyping genutzt werden kann.



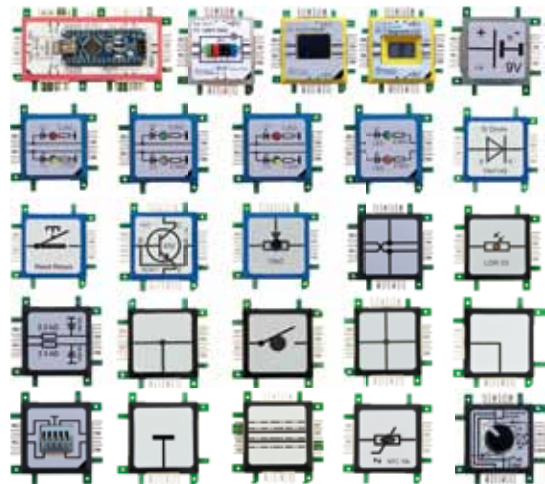


Arduino Coding Set

enthält 44 Bricks

ALL-BRICK-0414

Das Brick'R'knowledge Arduino Coding Set erweitert die Experimente hin zur Digitalelektronik mit der Einführung in die Microcontroller-Programmierung am Beispiel des Arduino Nanos. Neben Bricks für analoge Schaltungen enthält das Set auch Bricks für digitale Anwendungen wie eine 7-Segmentanzeige, ein OLED-Display, einen D/A-Wandler, einen I²C-Brick zur Pin-Erweiterung des Arduino Nanos, einen Arduino Nano Adapter-Brick und natürlich auch den Arduino Nano. Neben der Beschreibung der Experimente werden auch alle Programmierbeispiele zur Verfügung gestellt, um in die Welt der Arduino-Programmierung einsteigen zu können.

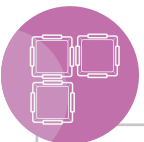
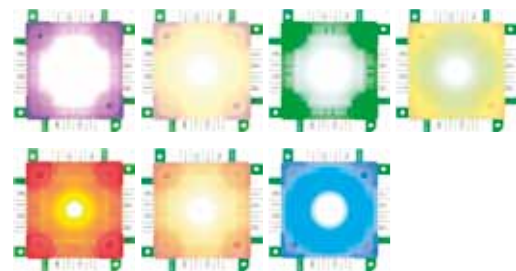


7 Color Light Set

enthält 28 Bricks

ALL-BRICK-0398

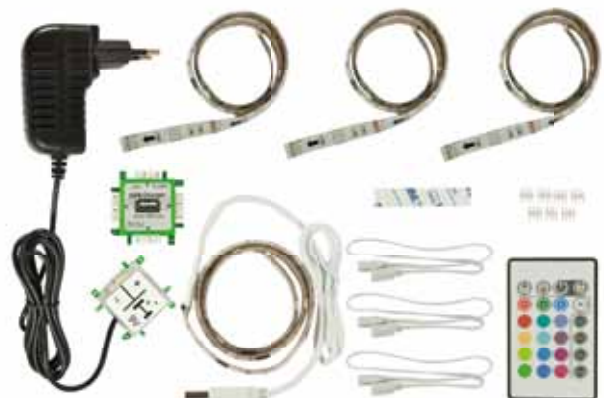
Mit den insgesamt 28 LED-Leucht-Bricks in 7 unterschiedlichen Farben lassen sich beeindruckende Lichtakzente in horizontaler und vertikaler Architektur setzen. Die 1 Watt LEDs in den Farben rot, gelb, blau, orange, violett, grün und warmweiß eignen sich perfekt für individuelle Licht-Figuren oder als mobile Beleuchtungslösung.

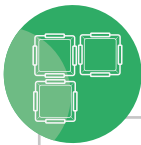


RGB Color Light Set

ALL-BRICK-0619

Erschaffe deine eigene Licht-Show! Das RGB Color Light Set enthält vier flexible LED-Streifen mit insgesamt 36 LEDs, die mit einer Infrarot-Fernbedienung angesteuert werden können. Die LED-Streifen können so geklebt, zugeschnitten und verbunden werden, wie du es wünschst. Die Infrarot-Fernbedienung hat 16 verschiedene Farbknöpfe und 4 Licht-Programme.



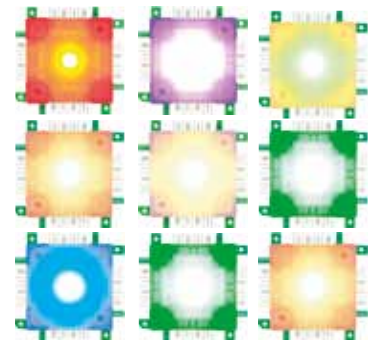


Programmable LED Set

enthält 49 Bricks

ALL-BRICK-0483

Das Set beinhaltet 49 ansteuerbare RGB-LED-Bricks mit zwei oder drei Anschlüssen, sowie einen Anschlussbrick für die Arduino-Steuerung und die Stromversorgung, einen Arduino Adapter-Brick und einen Arduino Nano. Das Set ermöglicht es, eigene LED-Animationen als Farb- oder auch bewegte Bildanimationen zu erstellen und sich spielerisch mit Microcontroller-Programmierung zu befassen. Innovative Lichtinstallationen und individuell leuchtende, blinkende und pulsierende Bilder in unterschiedlichen Farb- und Helligkeitsstufen sind durch das Programmable LED Set wunderbar umsetzbar.

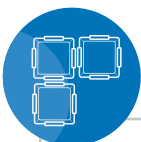
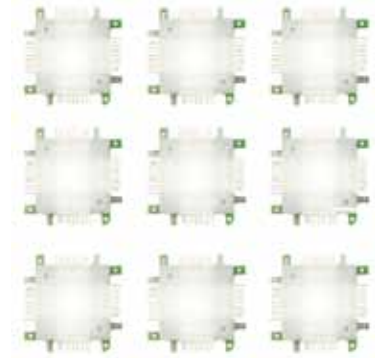


Highpower LED Set

enthält 50 Bricks

ALL-BRICK-0399

Das strahlende High Power LED Set enthält fünfzig 1 Watt High-Power-Bricks und dazu noch ein 12 Volt, 8 Ampere Netzteil. Die Bricks lassen sich ganz einfach zu individuellen Lösungen zusammenstecken. Zum Beispiel lassen sich aus den Bricks verschiedene Tischlampen bauen, die dann erweiterbar sind. Durch die starke Leuchtkraft bietet dieses ein stilvolles Ambiente und eignet sich perfekt als Nachtlcht. Das High Power LED Set ermöglicht es, sich spielerisch mit Lichtdesign auseinander zu setzen.

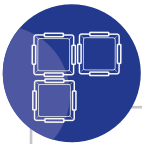


DIY Set

ALL-BRICK-0397

Das „Do-it-yourself“ Set ermöglicht es Tüftlern und Entwicklern, ihre eigenen Bricks in Ergänzung zu den bereits vorhandenen zu bauen. Die hier enthaltenen Komponenten bieten einen tiefen Einblick in Aufbau und Architektur der elektronischen Bauelemente. Mit Lötkolben und Lötzinn können die Tüftler die Standard-Bricks nachbauen oder eigene Bricks für individuelle Spezialanwendungen herstellen und somit sogar eigene Sets entwickeln.

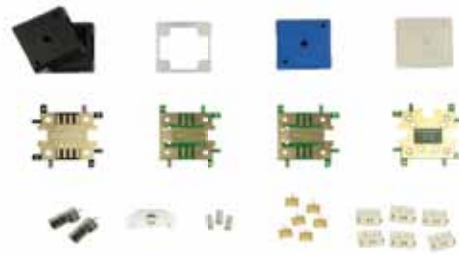




MHz DIY Set

ALL-BRICK-0457

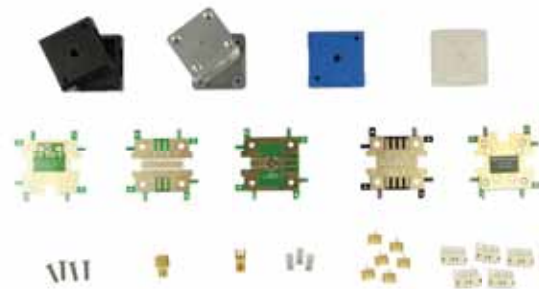
Mit dem MHz DIY Set lassen sich eigene Bausteine für Experimente und Schaltungen im MHz-Bereich realisieren. Das Set enthält drei verschiedene Raster- und Experimentierplatinen, sowie BNC-Buchsen, P-SMP-Stecker und die dazu passenden Verbinder. Außerdem enthält das Set eine Lötlehre für die SMD-Stecker und hermaphrodite Steckverbinder, um Eigenentwicklungen an das Brick-System anzupassen.



GHz DIY Set

ALL-BRICK-0458

Das GHz DIY Set bietet spannende Möglichkeiten zur Entwicklung im Hochfrequenzbereich bis hin zu Gigahertz-Frequenzen. Neben vier verschiedenen Platinen kann das GHz DIY Set auch mit verschiedensten Komponenten, wie liegenden und stehenden SMA- und P-SMP-Koaxialverbindern und den zum Brick-System gehörenden Steckverbindern dienen. So eignet sich das Set besonders für Messtechnik-Fans und Funkamateure.



Solar Set

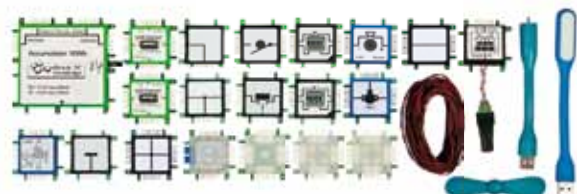
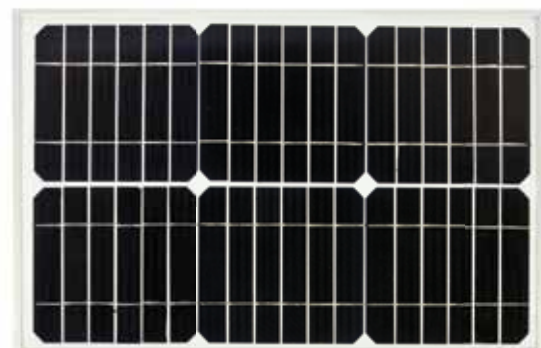
enthält 20 Bricks

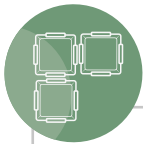
ALL-BRICK-0484

Das Solar Set von Brick'R'knowledge garantiert Experimentierspaß für die ganze Familie und bringt Kindern erneuerbare Energien auf spielerische Art und Weise näher.

- Wie funktioniert eine Solarzelle?
- Wie speichert ein Akku Strom?
- Wie baut man ein Nachtlicht mit Bewegungsmelder?

Auf diese und weitere Fragen gibt das Solar Set Antworten. Mit diesem Set bist du offizielles Mitglied der Maker-Bewegung.



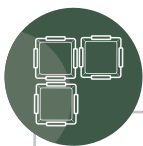


Measurement Set One

enthält 4 Bricks

ALL-BRICK-0637

Das Set ermöglicht es, mit Standardmessgeräten in Brick'R'knowledge Schaltungen Spannung, Stromstärke und andere Messgrößen einfach zu ermitteln. Das Messadapter-Set besteht aus folgenden Bricks: einem Messadapter mit 3 x 2 mm Buchse, einem Messadapter mit 4 mm Closed End GND in schwarz mit zusätzlicher Kabelklemme, einem Messadapter mit 4 mm Endpoint in gelb und einem Messadapter mit 4 mm Inline in rot.



Measurement Set Two

enthält 6 Bricks

ALL-BRICK-0638

Das Set ermöglicht es, mit Standardmessgeräten in Brick'R'knowledge Schaltungen Spannung, Stromstärke und andere Messgrößen einfach zu ermitteln. Das Messadapter-Set besteht aus folgenden Bricks: zwei Messadapter mit 4 mm Closed End GND in schwarz, zwei Messadapter mit 4 mm Inline in rot und zwei Messadapter mit 4 mm Open End GND in schwarz.

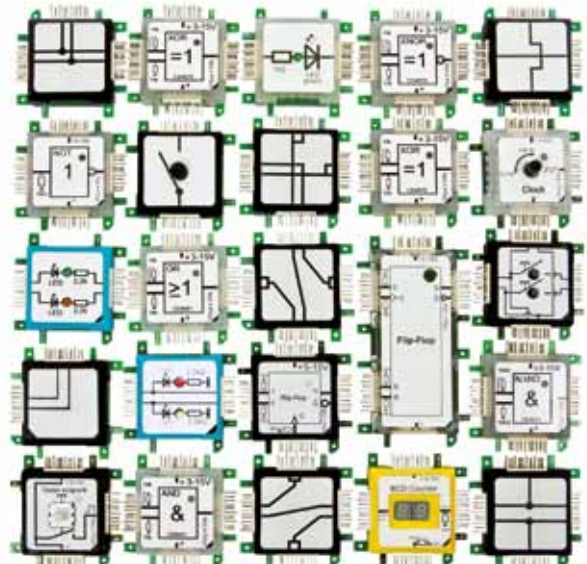


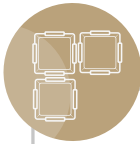
Logic Set

enthält 93 Bricks

ALL-BRICK-0630

Das Logic Set eignet sich ideal für den schnellen Einstieg in die digitale Schaltungstechnik. Anhand des Begleit-Hefts mit didaktisch aufeinander aufbauenden Schaltungsbeispielen können sich Lernende die wichtigsten Digital-schaltungen wie Addierer, Schieberegister und Zähler schnell erarbeiten. Aber auch Lehrende erhalten mit dem umfassend ausgestatteten Set eine praxisorientierte Basis für den täglichen Lehrbetrieb. Das Zusammenstecken und Experimentieren mit den Bricks macht Spaß und animiert zu eigenen Schaltungsvarianten. Der Lieferumfang des Logic Sets reicht von einfachen Logik-Bricks (AND, OR, NAND, NOR, XOR, XNOR, NOT) über verschiedene Flipflop-Bricks (D-, RS- und JK-Typ), weiter über einen Taktgeber-Brick (alternativ ein entprellter Taster für Einzelimpulse) bis hin zu einem BCD-Counter-Brick mit integrierter 7-Segment-Anzeige. Eine umfassende Auswahl an LED-, Taster- und Leitungs-Bricks runden das Set ab.





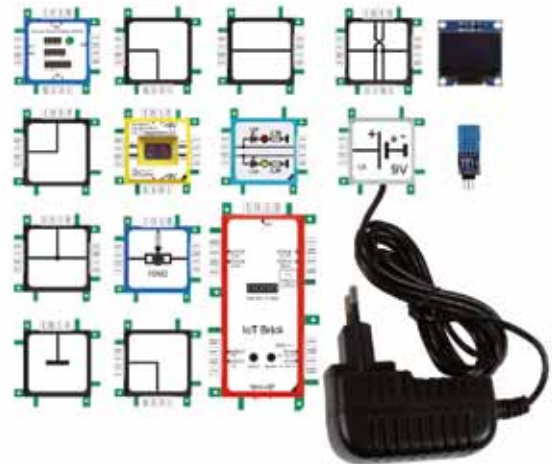
Internet of Things Set

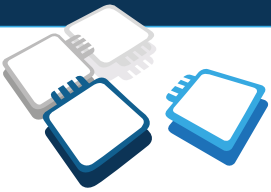
enthält 13 Bricks

ALL-BRICK-0646

Mit dem Internet of Things Set ist es nun möglich, die Bricks via Internet zu kontrollieren. Mit dem zentralen IoT-Brick werden Sie beispielsweise lernen, Ihre erste Website zu bauen und I/O Pins mit Ihrem Smartphone zu steuern. Außerdem enthält das Set einen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor, dessen Werte Sie auf einem Display darstellen können: Der erste Schritt zur eigenen Home Automation!

Sie können auch Daten, wie zum Beispiel den Dollar-Kurs aus dem Internet abfragen und sich anzeigen lassen. Um die 7-Segmentanzeige anzusteuern, wird der sogenannte I²C-Bus genutzt, den Sie auch kennenlernen. Das Internet der Dinge wartet darauf, von Ihnen entdeckt zu werden!





Brick 'R' knowledge



ALLNET® GmbH Computersysteme

Maistrasse 2
D-82110 Germering
www.brickrknowledge.com

Telefon: +49 (0)89 894 222 921

Fax: +49 (0)89 894 222 33

info@brickrknowledge.com



Maker Store & Maker Space

Danziger Straße 22
D-10435 Berlin
www.maker-store.de

Telefon: +49 (0)30 473 756 80

service@allknow.de

