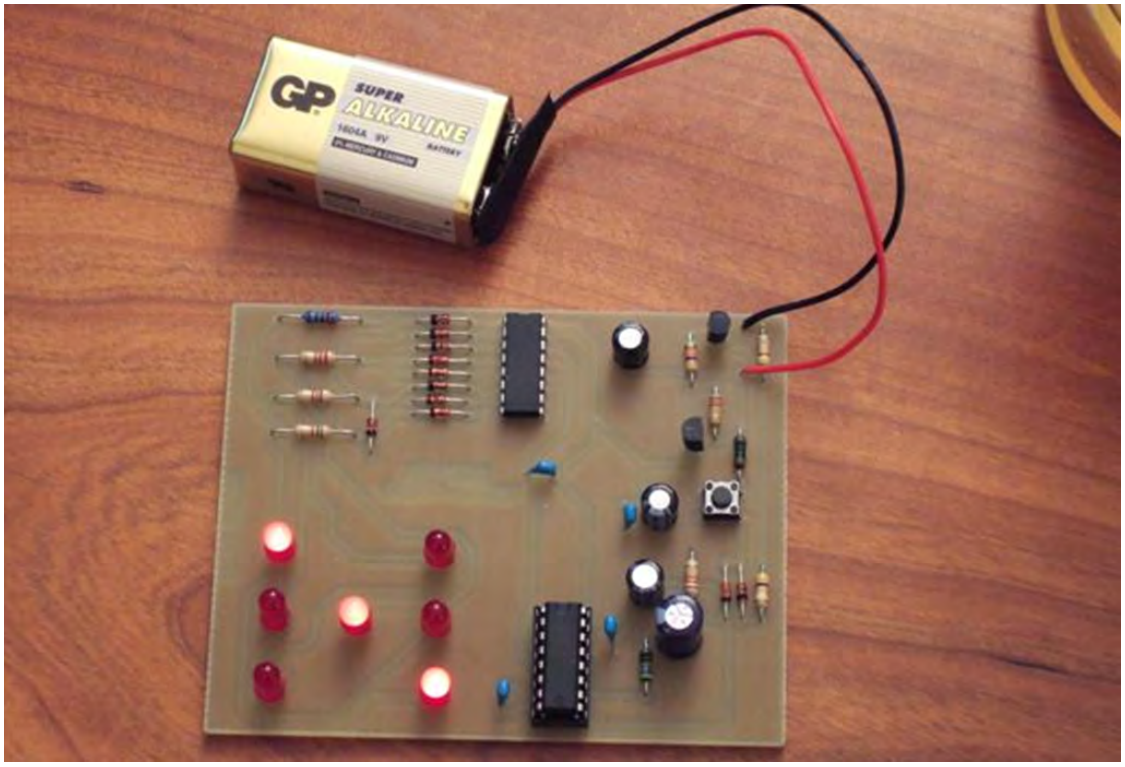
# Projekt:
# Elektronischer Würfel

## Eine Schaltung mit Zufallsgenerator




das Elektrotechnik- und Informatik-Labor der Fakultät IV
http://www.dein-labor.tu-berlin.de

# Handout zum Projekt:

# Elektronischer Würfel

Eine Schaltung mit Zufallsgenerator

## Inhaltsverzeichnis


**1 Einleitung** **1**

**2 Aufgabenstellung** **2**

**3 Elektrotechnik: Grundlagen** **2**
- 3.1 Strom . . . 2
- 3.2 Spannung . . . 3
- 3.3 Widerstand . . . 3
- 3.4 Kondensator . . . 6
- 3.5 Diode . . . 6
- 3.6 Transistor . . . 7
  - 3.6.1 NPN . . . 8
  - 3.6.2 PNP . . . 9
  - 3.6.3 Zusammenhang . . . 9

**4 Unsere Schaltung "Elektronischer Würfel"** **10**
- 4.1 Einschalter . . . 10
- 4.2 Taktgenerator . . . 11
- 4.3 Zähler . . . 12
- 4.4 Stromlaufplan, Layout und Bestückungsplan . . . 14

**5 Würfelspiele** **18**


## 1 Einleitung

Liebe Schülerinnen und Schüler,

Wir freuen uns, dass ihr an unserem Projekt *Elektronischer Würfel* teilnehmt.
Wir sind immer dabei, für euch tolle Projekte zu entwickeln, die ihr auch zu Hause nachbauen könnt. Wenn ihr mal eine Idee für ein neues Projekt habt, dann schreibt uns doch einfach mal eine Mail (info@dein-labor.tu-berlin.de).
Ihr findet andere Projekte auf unserer Website: http://www.dein-labor.tu-berlin.de/

dEIn-Labor-Team wünscht viel Spaß beim Bauen und Würfeln!

## 2 Aufgabenstellung

Das Ziel unseres Projektes ist der Aufbau einer Schaltung, die beim Betätigen eines Tasters durch einen Zufallsgenerator die Zahlen 1 bis 6 ausgibt. Die Zahlen werden wie auf einem Würfel allerdings nicht durch Farbpunkte, sondern durch Leuchtdioden angezeigt. Aber wie machen wir das?

Wir brauchen einen Zähler, der immer von 1 bis 6 zählt und dann wieder bei 1 beginnt, im Kreis sozusagen. Das Schütteln des Würfelbechers entspricht dann bei unserem Elektronischen Würfel der Zeit, die man einen bestimmten Taster gedrückt hält. Beim Loslassen steht unser Zähler dann zufällig auf einer Zahl zwischen 1 und 6. Als Würfelaugen verwenden wir Leuchtdioden (Licht emittierende Dioden, LEDs). LEDs sind so etwas ähnliches wie Lämpchen, nur mit dem Unterschied, dass sie in der Regel viel weniger Strom und Spannung benötigen. Im Elektronischen Würfel sind die LEDs angeordnet wie die Punkte auf der Würfeloberfläche. Um alle möglichen Zahlen von 1 bis 6 in Punkten darzustellen, brauchen wir das Muster einer “Sechs”, aber auch eine LED in der Mitte für die “Drei” und die “Fünf”. Mit sieben LEDs können wir dann jede mögliche Punktekombination simulieren. Auf dem Titelbild dieses Handouts haben wir zum Beispiel gerade eine “Drei” gewürfelt.
Damit ihr nun versteht, wie das Ganze realisiert wird, werden wir als erstes ein paar elektrotechnische Grundlagen und Bauelemente erklären.

## 3 Elektrotechnik: Grundlagen

Die Elektrotechnik findet man an jeder Straßenecke. Überall blinkt es, große Leuchttafeln erzählen uns, was wir als nächstes kaufen sollen und zu Hause flimmern im Fernseher die neuesten Nachrichten vor sich hin. Aber auch in der Natur finden wir die Elektrotechnik: wenn die grauen, dunklen Wolken am Himmel ihre Blitze zucken lassen.

Richtig, ein Blitz ist reine Elektrizität. Die Elektrotechnik hat sich zur Aufgabe gemacht, die Elektrizität näher zu erforschen und dessen Auswirkungen zum Wohle der Menschheit einzusetzen. Wir lassen damit Lampen leuchten, Motoren drehen oder Musik erklingen.

> **WICHTIG**
> Die Elektrotechnik beschäftigt sich mit der Änderung von Strom und Spannung.

Aber was ist Strom und was ist Spannung?

### 3.1 Strom

Wenn man von einer „Strömung im Fluss” spricht, weiß jeder, was damit gemeint ist. Wenn ein Fluss schnell fließt, dann hat er eine hohe Strömung. Das gleiche gibt es in der Elektrotechnik. Statt Wasser haben wir ganz kleine Teilchen, die sich in einem Draht bewegen. Wir nennen diese Teilchen Ladungsträger.

**WICHTIG**
Wenn sich in der Elektrotechnik Ladungsträger bewegen, spricht man von einem Strom.
Formelzeichen: $I$ für die Stromstärke Einheit: $A$ zum Andenken an den Physiker *André Marie Ampère*, gesprochen „Amper"

## 3.2 Spannung

Wie fließt ein Fluss? Natürlich nur bergab, denn an dem Wasser zieht eine Kraft. Die Kraft ist die Anziehungskraft der Erde. Alles will nach unten, ein Apfel, den ich fallen lasse oder das Wasser, welches bergab fließt. In der Elektrotechnik gibt es ebenfalls so eine Kraft, diese nennen wir Spannung. Und wenn wir eine Spannung anlegen, dann bewegen sich Ladungsträger, also fließt ein Strom.

**WICHTIG**
Eine Spannung ist eine Kraft, die Ladungsträger in Bewegung setzt.
Formelzeichen: $U$
Einheit: $V$ zum Andenken an den Physiker *Alessandro Volta*, gesprochen „Volt".

In der Elektrotechnik gibt es Schaltungssymbole, damit jeder elektrotechnisch Begeisterte auf der Welt weiß, was man in einer Schaltung meint. Hier das Symbol für eine Spannungsquelle:

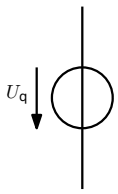



Abbildung 3.1 Schaltungssymbol für Spannungsquelle

Wir haben Spannung und Strom kennengelernt. Jetzt brauchen wir noch die Werkzeuge, die es uns ermöglichen Strom und Spannung zu ändern.

## 3.3 Widerstand

Widerstand ist, wenn man sich gegen etwas wehrt! Das Bauelement *Widerstand* macht dies auch, es "wehrt sich"gegen den Stromfluss. Um es sich bildlich vorzustellen, nehmen wir einen Wasserschlauch. Das Wasser ist wieder unsere Wolke aus Ladungsträgern und die Pumpe erzeugt eine Kraft, wie die Anziehungskraft, welche an dem Fluss zieht, also eine Spannung. Das Wasser sprudelt ungehindert aus dem Schlauch. Jetzt stellen wir uns vor, wir stellen uns auf den Schlauch!

Das Wasser hört sofort auf zu fließen. Nehmen wir den Fuß langsam runter, läuft das Wasser erst langsam und dann immer schneller! Der Fuß stellt ein Widerstand für das Wasser dar.

**WICHTIG**
Je höher der Widerstand ist, desto mehr Spannung brauchen wir, um einen bestimmten Strom hindurch fließen zu lassen.
Formelzeichen: $R$
Einheit: Ω, gesprochen „Ohm"(zum Andenken an den Physiker *Georg Simon Ohm*)

Zwischen Strom, Spannung und Widerstand gibt es einen Zusammenhang: das *Ohm'sche Gesetz*, das besagt, dass sich Strom und Spannung immer in einem Verhältnis ändern. Dieses Verhältnis ist der Widerstand R.

$$\boxed{R = \frac{U}{I}}$$

Abbildung 2: Widerstand: Bauelement (links) und Schaltungssymbol (rechts)

Nun können wir mehr oder weniger Ladungsträger durch einen Widerstand fließen lassen, also mehr oder weniger Strom. Schauen wir uns dazu das folgende Beispiel an:

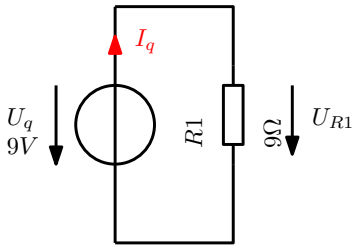



Abbildung 3.3 Strom durch R1

Wir suchen den Strom $I_q$ in unserer Schaltung. Dazu brauchen wir die Spannung an dem Widerstand $R1$! Dazu muss man wissen, dass alle Spannungen in einer Schaltung zusammengerechnet Null ergeben müssen. Mit dieser Bedingung kommen wir auf die Spannung $U_{R1}$. Wir rechnen $0 = U_q - U_{R1}$. Warum $-U_{R1}$? Wir starten in Richtung des Pfeiles $U_q$. Alle Pfeile, die in die gleiche Richtung laufen, werden addiert und alle, die entgegen laufen, werden subtrahiert. $U_{R1}$ läuft entgegen und wird daher subtrahiert. Stellen wir die Gleichung um, so werden wir sehen, dass $U_{R1} = U_q$ ist. Unter $U_q$ steht $9V$, und da die Spannung über $R1$ die gleiche ist, liegt an dem Widerstand die Spannung von $9V$ an. Jetzt können wir die Stromstärke ausrechnen:

$$I_q = \frac{U_q}{R1} = \frac{9V}{9\Omega} = 1A$$

Um den Wert eines Widerstands abzulesen, muss man die Farben der aufgedruckten Ringe (siehe Abbildung 4) interpretieren. Es gibt meistens vier oder fünf Ringe. Bei vier Ringen entsprechen die ersten beiden Ziffern dem Zahlenwert, der dritte steht für einen Multiplikator, mit dem der Zahlenwert multipliziert wird. Bei 5 Ringen ist es ähnlich, nur stehen hier die ersten drei Ziffern für den Zahlenwert, und der vierte Ring steht für den Multiplikator. Der in Abbildung 2 gezeigte Widerstand hat vier Ringe mit den Farben Braun-Schwarz-Rot-Gold. Weil Gold und Silber nicht an erster Stelle stehen dürfen, wissen wir, dass Braun der erste, und Schwarz der zweite Ring ist. Der Tabelle können wir nun entnehmen, dass sie den Zahlenwert 10 darstellen, der Multiplikator (Rot) ist 100Ω. Der Widerstandswert ist also: $10 * 100\Omega = 1000\Omega = 1k\Omega$.

Der letzte Ring (Gold) sagt etwas darüber aus, wie zuverlässig diese Angabe ist, denn bei der Produktion gibt es immer gewisse Abweichungen vom Sollwert. In diesem Fall ist es Gold, somit ist die Abweichung garantiert kleiner als 5% des Widerstandswertes, also $+/-50\Omega$.

| Farbe | | 1. + 2. (+ 3.) Ring | 3 (4.) Ring (Multiplikator) | 4. (5.) Ring (Toleranz) |
|---|---|---|---|---|
| | Gold. | - | 0,1Ω | 5% |
| | Silber | - | 0.01Ω | 10% |
| | Schwarz | 0 | 1Ω | - |
| | Braun | 1 | 10Ω | 1% |
| | Rot | 2 | 100Ω | 2% |
| | Orange | 3 | 1kΩ | - |
| | Gelb | 4 | 10kΩ | - |
| | Grün | 5 | 100kΩ | 0.5% |
| | Blau | 6 | 1MΩ | 0.25% |
| | Violett | 7 | 10MΩ | 0.1% |
| | Grau | 8 | - | - |
| | Weiß | 9 | - | - |

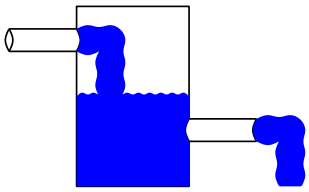
Abbildung 4: Farbcode von Widerständen

**Extrem wichtig !!!** Elektroniker sind faul. Sie haben sich angewöhnt, bei sehr großen Zahlen nicht immer alle Stellen auszuschreiben, sondern sie mit Buchstaben abzukürzen. Dabei gibt es für jeweils einen Faktor von tausend einen anderen Buchstaben. Statt 120000Ω würde man einfach 120*k*Ω schreiben, wobei *k* für *kilo* steht und "*tausend mal so viel*" bedeutet, so wie bei *1 kg (Kilogramm) = 1000 g*. Es ist in einer Schaltung natürlich nicht egal, ob der Widerstand (oder ein beliebiges anderes Bauelement) plötzlich um den Faktor 1000 größer oder kleiner ist! Ein vergessenes oder überlesenes *k* oder *M* ist häufig der Grund dafür, warum die aufgebaute Schaltung nicht das tut, was sie tun soll.

| Potenz | Faktor | Abkürzung |
|---|---|---|
| $10^6$ | 1000000 | M (*Mega*) |
| $10^3$ | 1000 | k (*Kilo*) |
| $10^0$ | 1 | - |
| $10^{-3}$ | 0.001 | m (*Milli*) |
| $10^{-6}$ | 0.000001 | U (*Mikro*) |
| $10^{-9}$ | 0.000000001 | n (*Nano*) |

## 3.4 Kondensator

Der Kondensator gehört zu den passiven Bauelementen. Er ist ein elektrisches Bauelement zur Speicherung elektrischer Ladung. Ein Kondensator besteht aus zwei leitenden, voneinander isolierten Flächen, beispielsweise Metallplatten oder -folien. Die Kapazität eines Kondensators ist ein Maß für die Ladung, die er bei einer bestimmten angelegten Spannung speichern kann.



Vorstellen kann man sich die Kondensatoren als großes Wasserbecken. Auf der einen Seite fließt Wasser hinein und auf der anderen Seite fließt das Wasser heraus, beispielsweise in das städtische Wassernetz. Wenn nun mehr Wasser als gewöhnlich gebraucht wird, so kann man aus dem Wasserbecken kurzzeitig mehr Wasser entnehmen, ohne dass das Becken gleich austrocknet.

Das gleiche ist in unserer Schaltung der Fall. Wenn die Batterien nicht genügend Ladungsträger liefern können, geben die Kondensatoren ihre gespeicherte Ladung ab.

**WICHTIG**
Ein Kondensator speichert Ladungsträger.
Formelzeichen: $C$
Einheit: $F$ zum Andenken an den Physiker *Michael Faraday*, gesprochen „Farad"

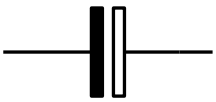
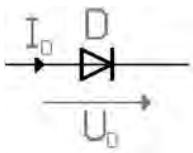


Abbildung 5: Kondensator: Bauelemente (links) und Schaltungssymbol (rechts)

## 3.5 Diode

Dioden sind vergleichbar mit einem Ventil. Sie lassen den Strom nur in eine bestimmte Richtung durch (genannt Durchlassrichtung), in die andere Richtung sperren sie. Es verschiedene Typen von Dioden. Eine spezielle Diode ist die Leuchtdiode (Kurzform LED für *Licht emittierende Diode*). Wird durch eine Leuchtdiode ein Strom geschickt, strahlt diese Licht ab.




Bei allen Dioden wird auch in Durchlassrichtung Strom erst dann fließen, wenn mindestens eine bestimmte Spannung anliegt. Bei den meisten (nicht leuchtenden) Dioden sind das ungefähr 0,7 Volt. Es gibt noch etwas, auf das man achten muss: Weil Dioden von sich aus den Strom nicht begrenzen, darf man sie niemals ohne Widerstand (genannt Vorwiderstand) an eine

Spannungsquelle anschließen, damit der Durchlassstrom, der ungefähr 20mA beträgt, nicht überschritten wird. Sonst fließt ein nahezu unbegrenzt hoher Strom, der sehr schnell zur Zerstörung des Bauelementes führen würde. Der Vorwiderstand berechnet sich nach der Formel:

$$R_{Vor} = \frac{U_B - U_D}{I_D}$$

$R_{Vor}$: gesuchter Vorwiderstand,
$U_B$: vorhandene Betriebsspannung,
$U_D$: Durchlassspannung der Diode (aus Datenblatt),
$I_D$: Durchlassstrom der Diode (aus Datenblatt)

Zusätzlich muss auf die Polarität der Dioden geachtet werden. Die Anschlussdrähte sind bei LEDs unterschiedlich lang. Der kurze Anschlussdraht kennzeichnet die *Kathode* (Kathode = Kurz). Die Kathode ist der negative Anschluss der Diode. Der andere Anschluss heißt *Anode*.

## 3.6 Transistor

Unseren Widerstand kann man nicht steuern. Wenn wir einen Widerstand fest einbauen, fließt ein bestimmter Strom. Es gibt aber in der Elektrotechnik auch *aktive* Bauelemente wie den Transistor. Aktiv deshalb, weil wir die Änderung von Strom und Spannung bei solchen Bauelementen selber steuern können. Dies können wir bei einem Widerstand nicht, daher ist er *passiv*.

Ein Transistor ist kein großes Geheimnis. Wenn wir uns wieder das Wassermodell zu Hilfe nehmen, ist die Wirkungsweise recht einfach! Dazu schauen wir uns das folgende Bild an:

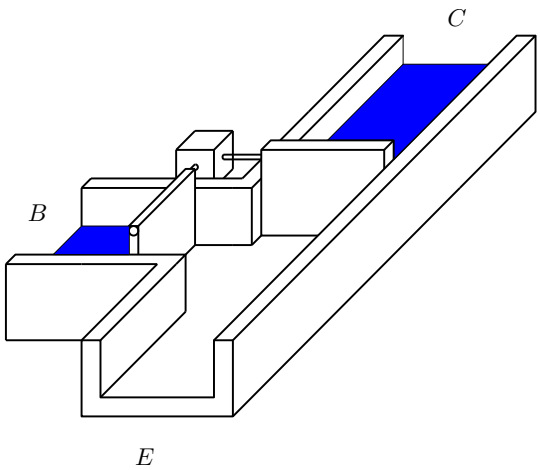



Abbildung 3.6 Transistor: Wassermodell, Schleusen geschlossen

In diesem Bild sind zwei Schleusen zu sehen: eine kleine Schleuse, die mit einer großen Schleuse verbunden ist. Die Enden der Rohre haben die Bezeichnung *B* für Basis, *C* für Kollektor und *E* für Emitter. Die Schleusen haben zwei Besonderheiten. Die kleine öffnet erst, wenn eine gewisse Kraft (Spannung) an ihr drückt und erst dann kann dort Wasser (Strom) durch die Schleuse fließen. Die große Schleuse öffnet nie selber, sondern kann nur durch die kleine geöffnet werden. Jetzt werden wir Spannung an die kleine Schleuse legen und ein ein kleiner Strom kann in die Basis fließen.

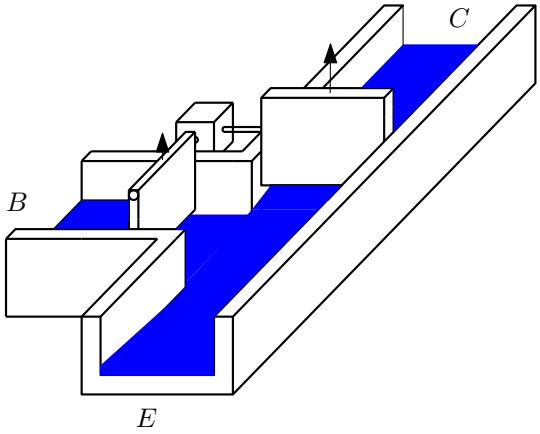
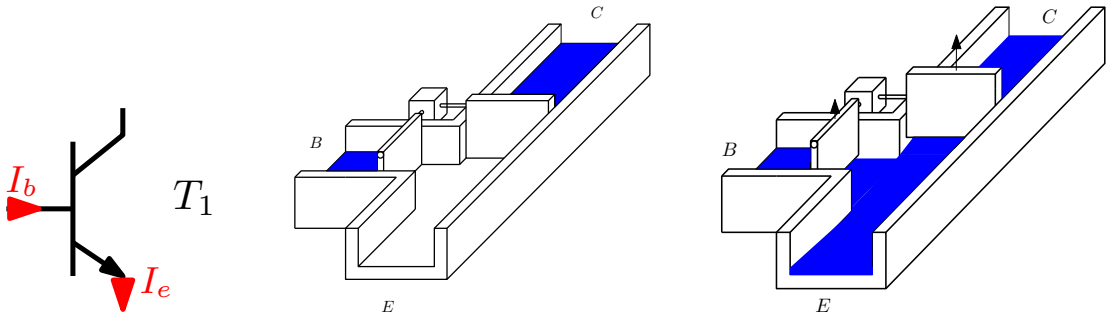



Abbildung 3.7 Transistor: Wassermodell, Schleusen offen

Da unsere kleine Schleuse mit der großen verbunden ist, sehen wir, dass sich die große Schleuse auch öffnet. Aber ihr Spalt ist viel größer und daher kann mehr Wasser durch diese Schleuse fließen. Was haben wir hier gemacht? Wir haben einen kleinen Strom in einen großen Strom „verwandelt". Wir haben den Strom verstärkt! Jetzt werden wir uns die beiden Arten von Transistoren anschauen, die wir in unser späteren Schaltung benötigen.

### 3.6.1 NPN

Im Folgenden sehen wir links das Symbol eines NPN - Transistors.



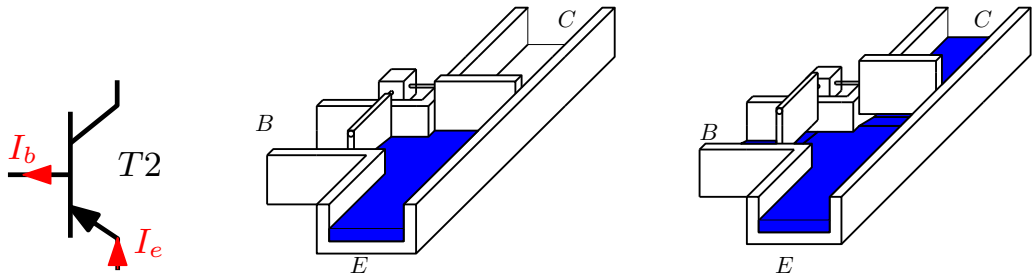

(a) NPN Symbol (b) NPN Wassermodell, geschlossen (c) NPN Wassermodell, offen

Abbildung 8: NPN-Transitor

Die Strompfeile zeigen uns die Stromrichtung an. Der Strom $I_e$ steht für den Emitterstrom und $I_b$ für den Basisstrom. Zum besseren Verständnis ist das Wassermodell daneben dargestellt. Bei diesem Transistortyp steuert eine kleine positive Spannung zwischen Basis (B) und Emitter (E) den Stromfluss zwischen Kollektor (C) und Emitter. Im Wassermodell drückt also ein relativ kleiner Druck zwischen Basis und Emitter die große Schleuse zwischen Kollektor und Emitter auf. Hierbei muss der Druck an der Basis ein bisschen größer als der Druck an der Emitterseite sein – dann nennt man den Druck/die Spannung zwischen Basis und Emitter positiv.

### 3.6.2 PNP

Beim PNP Transistor sehen die Bilder etwas anders aus.




(a) PNP Symbol (b) PNP Wassermodell, geschlossen (c) PNP Wassermodell, offen

Abbildung 9: PNP-Transitor

Bei ihm kommt der Strom vom Emitter. Bei diesem Transistortyp öffnet sich die große Schleuse zwischen Emitter und Kollektor, wenn das Wasser vom Emitter die kleine Schleuse an der Basis aufdrücken kann. Das geht aber nur, wenn auf der Basisseite ein kleinerer Druck herrscht und ein wenig Wasser über die Basis abfließen kann. Dann nennt man das Druckgefälle/die Spannung zwischen Basis und Emitter negativ.

### 3.6.3 Zusammenhang

Es fließt wenig Strom im Basis-Kanal aber ein großer Strom im Kanal Kollektor - Emitter. Dies nennen wir in der Elektrotechnik *Gleichstromverstärkung*. Mit welchem Faktor wir den Basisstrom verstärken, hängt von dem jeweiligen Transistor ab. Der Hersteller gibt uns den Wert namens $\beta$ jedoch vor.

**WICHTIG**
$I_e$ = Emitterstrom
$I_b$ = Basisstrom
Die Gleichstromverstärkung eines Transistors berechnet sich so: $I_e = \beta \cdot I_b$

**ZUSATZINFO**
Um die beiden Arten von Transistoren auseinander zu halten, gibt es einen Merksatz:

*Bei PNP tut der Pfeil der Basis weh!*

# 4 Unsere Schaltung “Elektronischer Würfel”

Kommen wir nun zur Funktionsweise der Schaltung. Schließlich wollt ihr ja wissen, wie euer „Würfel“ funktioniert, wenn ihr ihn fertig und richtig zusammengelötet habt. In diesem Kapitel werden wir Stromlaufpläne für die verschiedenen Bestandteile unserer Schaltung erklären. Ein Stromlaufplan gibt an, wie die Bauteile einer elektronischen Schaltung verbunden werden, oder nach welchem Plan der Strom laufen muss. Beim elektronischen Würfel unterscheiden wir den *Einschalter*, den *Taktgenerator* und den *Zähler*.

## 4.1 Einschalter

Damit der Würfel nur dann würfelt, wenn du das willst, haben wir den Schaltungsteil eingebaut, den man in Abbildung 10 sehen kann.

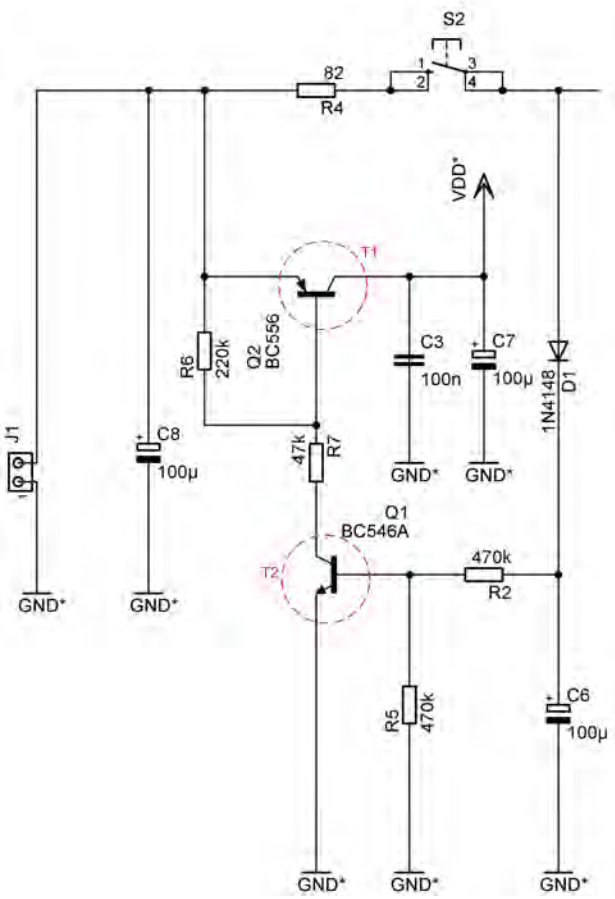



Abbildung 10: Einschalter

Die entscheidenden Bauelemente sind die Transistoren T1 und T2. Transistoren verwenden wir hier als Schalter. An dem dicken Strich sind auf der einen Seite zwei Anschlüsse und auf

der anderen Seite ein Anschluss. Die beiden Anschlüsse auf der einen Seite der Transistoren sind Eingang und Ausgang, der einzelne Anschluss auf der anderen Seite ist die Steuerung (EIN/AUS). Wenn du auf den Taster drückst, dann legst du Spannung auf die Steuerung von T2 und schaltest ihn somit an (Pfeil zeigt von + nach -). Weil T2 nun leitet, fließt ein Strom am Transistor T1 vorbei. Somit stellt sich am Steuereingang von T1 eine kleinere Spannung als am Emitteranschluss von T1 ein und T1 schaltet durch. Wenn du jetzt den Weg des Stromes von der Batterie über T1 zum Pfeilchen VDD verfolgst, wirst du verstehen, dass die 9V der Batterie jetzt dort anliegen.

Lässt du nun den Taster los, so wird T2 nach einiger Zeit wieder ausgeschaltet. Wenn T2 ausgeschaltet ist, so wird auch T1 ausgeschaltet. Die vielen Kondensatoren stützen die Spannungen in den Leitungen, dass diese nicht wild umherzappeln - dann weiß die Schaltung nämlich genau, was sie machen soll! Im ruhigen Wasser schwimmst du ja auch lieber als auf stürmischer See. Deshalb sind sie auch dafür verantwortlich, dass es etwas dauert bis die Transistoren ausgeschaltet werden. Sie verhindern, dass die Steuerspannung von T2 nach Loslassen des Tasters schlagartig wieder auf $0V$ springt.

## 4.2 Taktgenerator

Der nächste Schaltungsteil ist der so genannte Taktgenerator, der in Abbildung 11 dargestellt ist. Dieser erzeugt die Impulse, jeder Impuls dreht den Würfel ein Stück weiter. So ähnlich wie wenn du deine Würfel in einem Becher wild umher schüttelst.

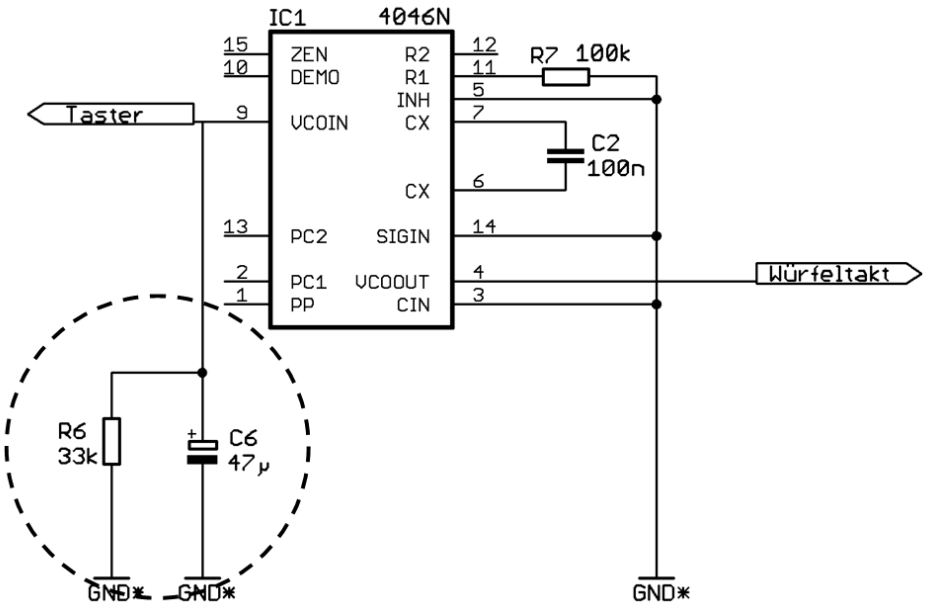



Abbildung 11: Taktgenerator

Das Innere dieses Bausteins kannst du auch erst verstehen, wenn du schon viele Semester Elektrotechnik studiert hast. Was du aber wissen solltest ist, was er in unserer Schaltung macht.

In unserer Schaltung wird er als Spannungsgesteuerter Oszillator verwendet. Ein Oszillator ist etwas, das schwingt. Oder noch einfacher, die Spannung am Ausgang steigt bis zu einem gewissen Wert an und fällt danach wieder ab. Das Besondere daran ist, dass sich das ganze immer wieder wiederholt – solange du den Taster gedrückt hältst. Das heißt, die Höhe der Spannung am Anschluss VCOIN steuert, wie schnell der Ausgang am Anschluss VCOOUT auf- und abschwingt. Oder in anderen Worten, wie lange und wie schnell der Würfel geschüttelt wird. Die Schaltung ist nämlich so gebaut, dass wenn du sie ausschaltest, die Spannung am Eingang des Oszillators nicht schlagartig abnimmt, sondern langsam auf $0V$ absinkt. Erst dann bleibt der Würfel stehen!

Und das geht so: Am Anschluss VCOIN, über den man die Geschwindigkeit (Frequenz) des Oszillators einstellen kann, ist ein Widerstand parallel zu einem Kondensator gegen Masse angeschlossen. Was passiert? Wenn du den Taster drückst, dann lädst du den Kondensator auf, nämlich fast auf 9 Volt. Ein bisschen Spannung fällt auch an der Diode ab, wenn sie den Strom durchlässt. Aber egal - also sagen wir so etwa 8,4 Volt. Wenn du jetzt den Taster loslässt, dann entlädt sich der Kondensator wieder, denn die beiden Anschlüsse des Kondensators sind über den Widerstand R6 miteinander verbunden. Und wenn die Spannung am Kondensator weit genug abgefallen ist, dann bleibt auch der Oszillator stehen. Mit den Bauelementen R7 und C2 kannst du einstellen, mit welcher Würfelgeschwindigkeit der Würfel starten soll.

## 4.3 Zähler

Die Zählerschaltung ist in Abbildung 12 dargestellt.

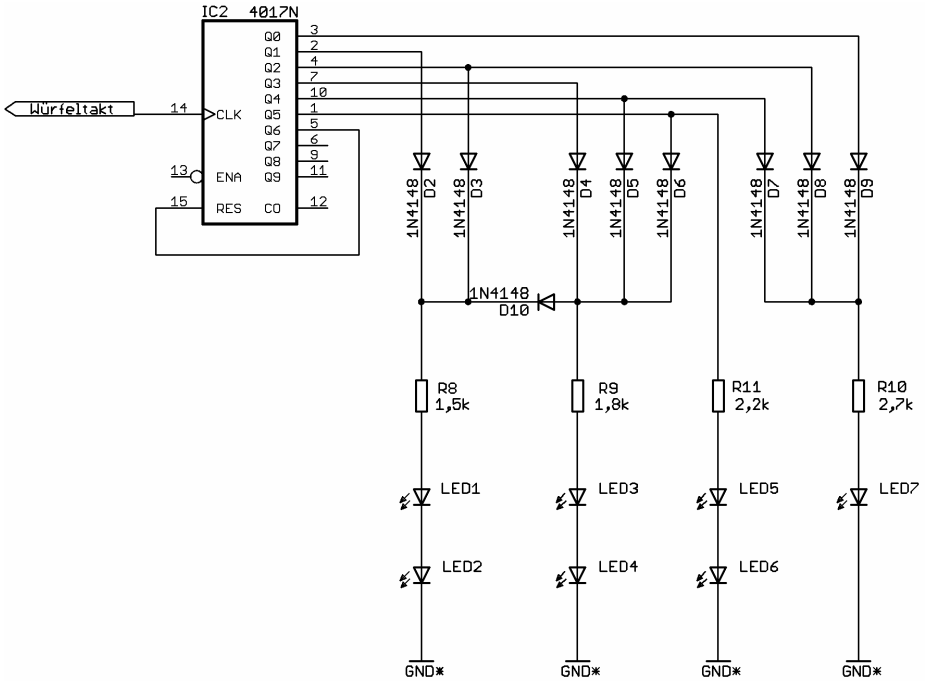



Abbildung 12: Zähler

Der Zähler, den wir hier verwenden bekommt seine Zählimpulse am Anschluss CLK. Wir haben ihn so beschaltet, dass er immer von 1 bis 6 zählt und dann wieder bei 1 beginnt, immer im Kreis sozusagen. Hat nämlich der Zähler die Zahl 6 erreicht, so liegt plötzlich am Anschluss von Q6 eine Spannung. du kannst erkennen, dass der Anschluss von Q6 mit dem Anschluss von RES (Reset, das bedeutet nichts anderes als zurück an den Start setzen) verbunden ist: das löscht den Zähler und er beginnt neu.

Um dir das ganze verständlich zu machen, siehst du in Abbildung 13 das Verhalten der Ausgänge, so etwas nennen wir in der Elektrotechnik auch Timing-Diagramm. Hier entspricht Q0 der 1, Q1 entspricht der 2, usw.

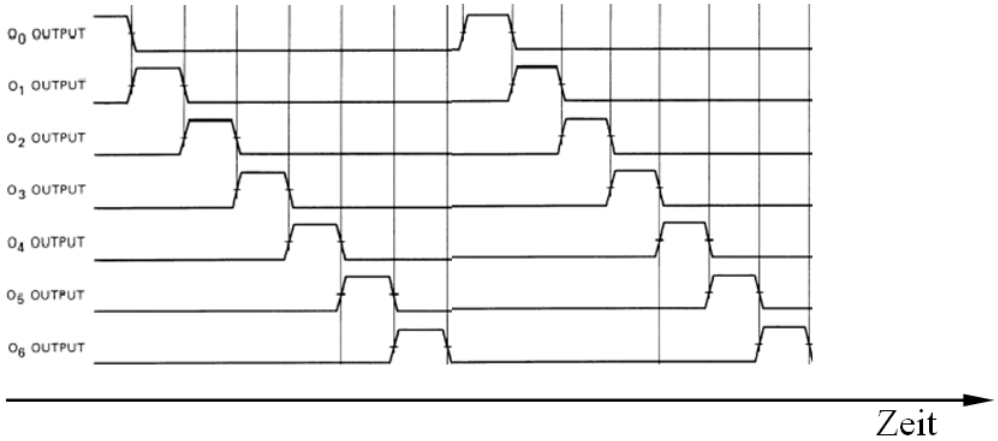



Abbildung 13: Timing-Diagramm des Zählers

Als Würfelaugen verwenden wir Leuchtdioden (LEDs). Sie benötigen in der Regel viel weniger Strom und Spannung als normale Glühlampen. Deshalb haben wir auch noch Widerstände zwischen den Zähler und die LEDs geschaltet, damit die LEDs nicht kaputt gehen. Ganz wichtig ist auch, dass du immer darauf achtest, die Dioden in der korrekten Richtung einzulöten. Das gilt sowohl für Dioden als auch für LEDs. Auf den Dioden findest du eine Markierung durch einen Ring (Minuspol), bei LEDs erkennst du diese Markierung an einer Flachstelle im Gehäuse oder daran, dass eines der Beinchen kürzer ist als das andere (siehe Abbildung 14).

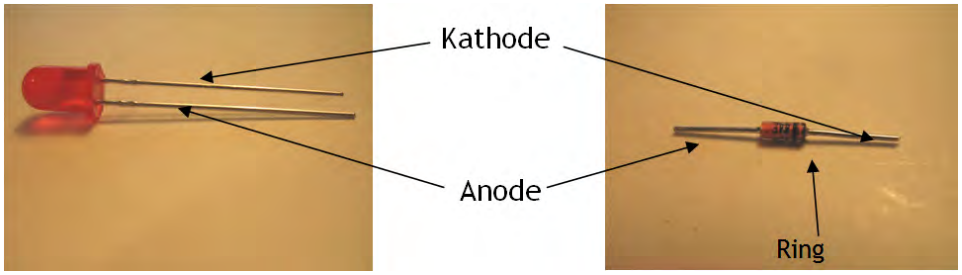



Abbildung 14: Leuchtdiode (links) und Silizium-Diode (rechts)

Das Kürzere ist der Minuspol, auch *Kathode* genannt. Das kannst du Dir ganz einfach mer-

ken: ein "–"- Zeichen hat weniger Striche als ein "+"- Zeichen, deshalb ist kurz = minus. Die Kathode hat vorne ein K ... da kommen die Elektronen her. Wo Elektronen herkommen, muss Minus sein, denn Elektronen sind negativ geladen.

Jetzt brauchen wir nur noch die sieben Leuchtdioden so an die Ausgänge anzuschließen, dass bei:

- Q0 eine Leuchtdiode leuchtet,
- Q1 zwei Leuchtdioden leuchten,
- Q2 drei Leuchtdioden leuchten,
- Q3 vier Leuchtdioden leuchten,
- Q4 fünf Leuchtdioden leuchten,
- Q5 sechs Leuchtdioden leuchten.

Fertig ist das Würfelspiel!

## 4.4 Stromlaufplan, Layout und Bestückungsplan

Abbildung 15 zeigt den Stromlaufplan der Gesamtschaltung. Hier sind die Stromlaufpläne der einzelnen Komponenten Einschalter, Taktgenerator und Zähler miteinander verbunden.

In der Praxis nutzt aber der Stromlaufplan sehr wenig, denn er existiert ja schließlich nur im Computer oder bestenfalls auf dem Papier. Um nun eine richtige Schaltung aufzubauen, benötigen wir ein so genanntes *Layout*, mit dessen Hilfe eine Platine (oder auch Leiterplatte) erstellt wird. Ein Layout gibt an, wie der Stromlaufplan in der Realität aussieht. Das Layout für unsere Schaltung is in Abbildung 16 dargestellt.

Eigentlich ist ein Layout nichts anderes als der Stromlaufplan, nur dass beim Layout die elektronischen Bauteile und deren Verbindungen nicht mehr so übersichtlich wie möglich gezeichnet werden, sondern so Platz sparend wie möglich.

Zum Abschluss geben wir hier in Abbildung 17 die Liste der Bauelemente und in **??** den Bestückungsplan an.

Wenn du genau hinguckst, dann wirst du alle Bauteile aus dem Stromlaufplan wie zum Beispiel R1, oder IC1 auch auf dem Bestückungsplan in Abbildung 18 wiederfinden. R1 ist ein Widerstand, IC1 einer der beiden Integrierten Schaltungen. Allerdings wird Dir auffallen, dass sie jetzt auch ein wenig anders aussehen, nämlich nicht mehr wie Symbole, sondern schon fast so wie in der Realität. Stell Dir vor, du leuchtest von oben mit einer Lampe auf die Bauteile, dann werfen diese ja einen Schatten, so sehen die Bauteile jetzt aus.

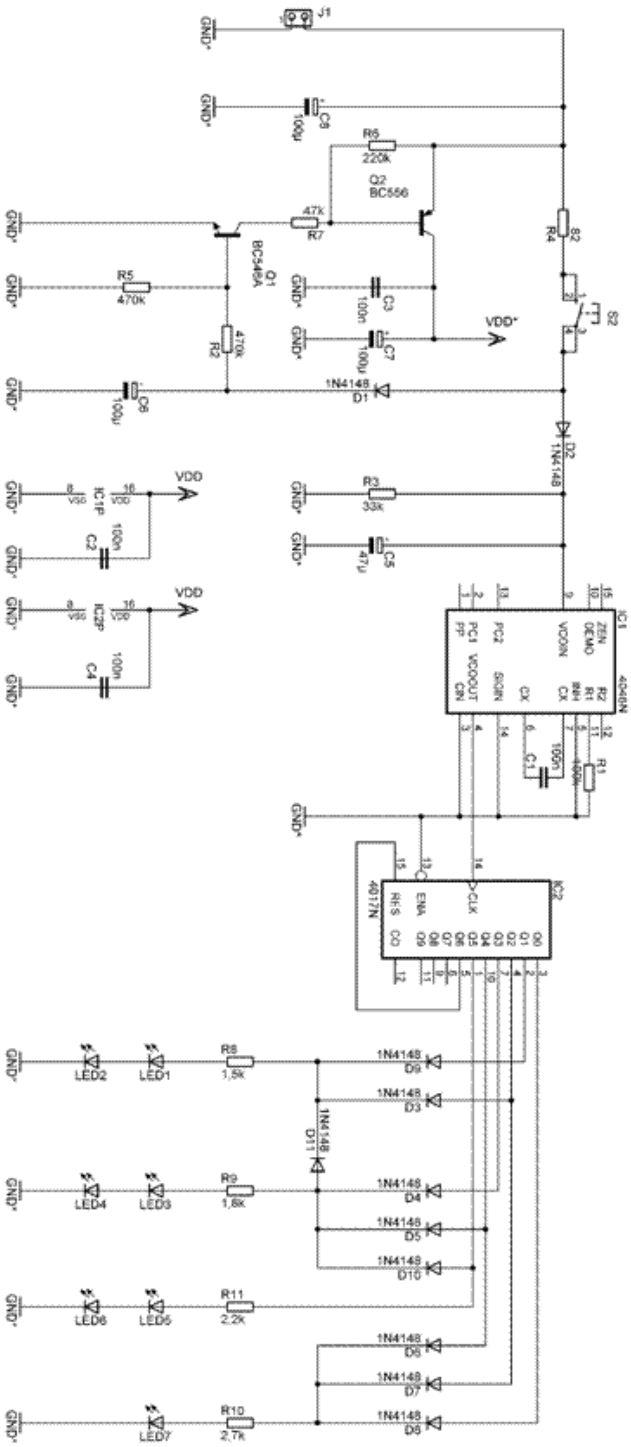



Abbildung 15: Stromlaufplan der Schaltung “Elektronischer Würfel”

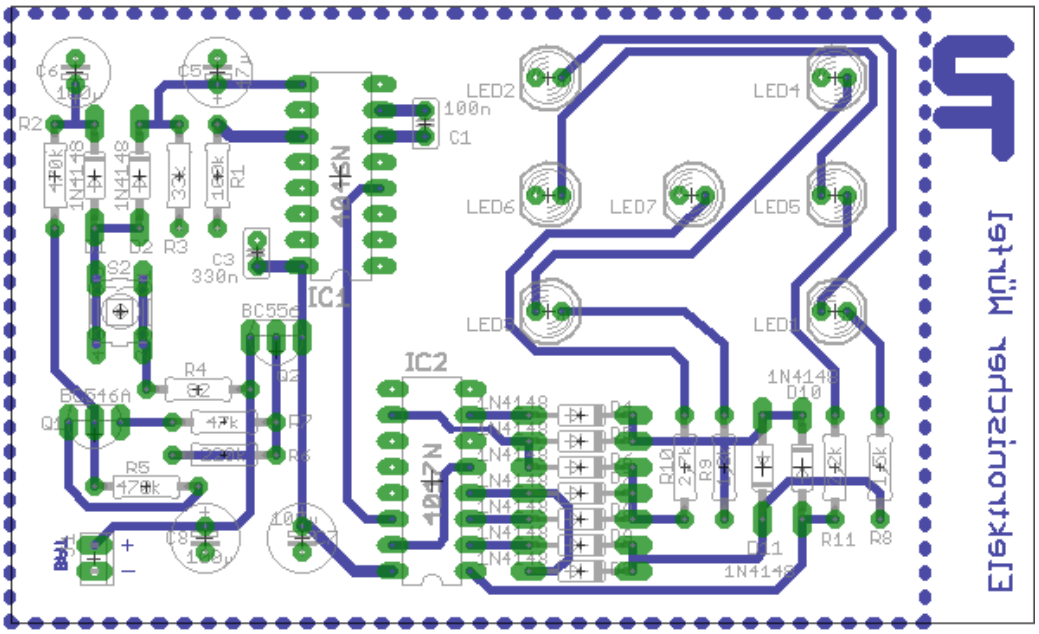



Abbildung 16: Layout der Schaltung *Elektronischer Würfel*

| | | | |
|---|---|---|---|
| R1 | 100 kΩ | IC1 | 4046N |
| R2 | 470 kΩ | IC2 | 4017N |
| R3 | 33 kΩ | | |
| R4 | 82 Ω | T1 | BC546 |
| R5 | 470 kΩ | T2 | BC556 |
| R6 | 220 kΩ | | |
| R7 | 47 kΩ | C1 | 100 nF |
| R8 | 1,5 kΩ | C3 | 100 nF |
| R9 | 1,8 kΩ | C5 | 47 µF |
| R10 | 2,7 kΩ | C6 | 100 µF |
| R1 1 | 2,2 kΩ | C7 | 100 µF |
| | | C8 | 100 µF |
| D1 | 1N4148 | | |
| . . . . . | | S2 | Taster |
| D11 | 1N4148 | | |
| | | Stecker | 2-polig |
| LED1 | LED5MM rot | | |
| . . . . . | | | |
| LED7 | LED5MM rot | | |

Abbildung 17: Bauelemente-Liste. Legende: $R$ = Widerstand, $C$ = Kondesator, $D$ = Diode, $IC$ = Integrated Circuit, $S$ = Taster, $T$ = Transistor, $\mu = 10^{-6}$, $n = 10^{-9}$, $k = 10^{3}$, $\Omega$ = Ohm, $F$ = Farad

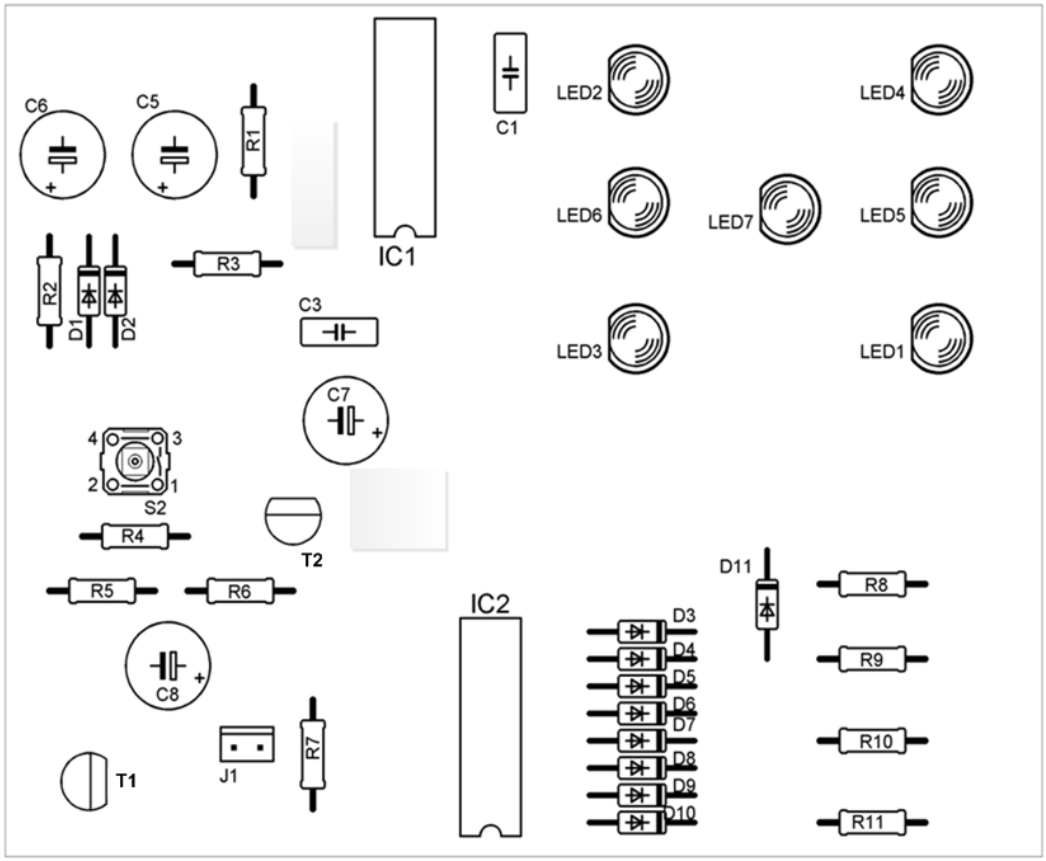



Abbildung 18: Bestückungsplan des Elektronischen Würfels

Im Layout in Abbildung 16 sind die Leitungen zwischen den Bauelementen zu sehen. Damit konnten wir die Platine erstellen, die ihr nun vor euch liegen habt. Was haben wir da gemacht? Das Weiße aus dem Layout besteht bei uns aus GFK (Glas-Faser-verstärkter Kunststoff). Das Schwarze besteht aus Kupfer. Kupfer ist elektrisch leitend, so dass der elektrische Strom darin zwischen den Bauteilen fließen kann. Die schwarzen Schattenbilder der Bauteile in Abbildung 18) setzt man dann auf das Layout. Sie werden dort angelötet. Störe dich nicht daran, dass sich das Kupfer und die Bauteile überlappen würden, das Kupfer ist nämlich auf der Unterseite der Platine, die Bauteile auf der Oberseite. Nur die Beinchen der Bauteile werden durch die Platine gesteckt und dort verlötet.

# 5 Würfelspiele

Na, funktioniert deine Schaltung? Prima, dann kann jetzt ja gespielt werden. Hier sind ein paar Würfelspiele, für die du dein neues Spielzeug benutzen kannst:

### Kirchenfenster

Du brauchst dafür: 2 oder mehr Spieler, einen Würfel, Stift + Papier

Zunächst wird ausgewürfelt, wer beginnt. Dann geht es im Uhrzeigersinn weiter: jeder Spieler wirft einmal den Würfel und merkt sich die gewürfelte Zahl. Nur Sechsen werden gezählt; wer zuerst fünf Sechsen auf seinem Konto hat, gewinnt die Runde.

### Hausnummern würfeln

Du brauchst dafür: 2 oder mehr Spieler, einen Würfel, Stift + Papier

Zunächst wird ausgewürfelt, wer beginnt. Danach geht es im Uhrzeigersinn weiter: jeder Spieler wirft einmal. Die geworfene Zahl wird als eine der drei Ziffern (welche es ist, bestimmt die/der Würfelnde) der Hausnummer verwendet. Nachdem jeder dreimal geworfen hat, ist die Hausnummer vollständig und die Runde beendet. Gewonnen hat der Spieler mit der höchsten Hausnummer.

Ein Beispiel für eine solche Hausnummer: 6 4 1 ergibt 641. Das ist schon schwer zu schlagen. Hohe Zahlen sollten natürlich auf die Hunderter-Stelle gelegt werden.

### Einundzwanzig

Du brauchst dafür: 2 oder mehr Spieler, einen Würfel

Dieses Spiel ist Blackjack sehr ähnlich. Ziel ist es mit beliebig vielen Würfen eine Summe von 21 zu erreichen. Wer darüber liegt, hat allerdings sofort verloren. Ansonsten gewinnt der Spieler, der am nächsten dran liegt. Es wird Reihum gewürfelt, es kann aber auch ausgesetzt werden (z.B. um zu schauen, wie nah der Rest an die 21 kommt).

### Reisender Händler

Du brauchst dafür: 2 oder mehr Spieler, einen (besser zwei) Würfel, Stift + Papier

Es wird reihum gewürfelt, jeder würfelt zweimal bzw. mit zwei Würfeln. Die Augenzahlen werden zusammengezählt und der Spieler erhält durch sein Tauschgeschäft entsprechend viele Goldmünzen (Punkte). Bei einer Summe von 7 wird der Spieler jedoch vom Räuber überfallen und verliert stattdessen 7 Goldmünzen. Gewonnen hat der Spieler, der zuerst 100 oder mehr Goldmünzen erworben hat.