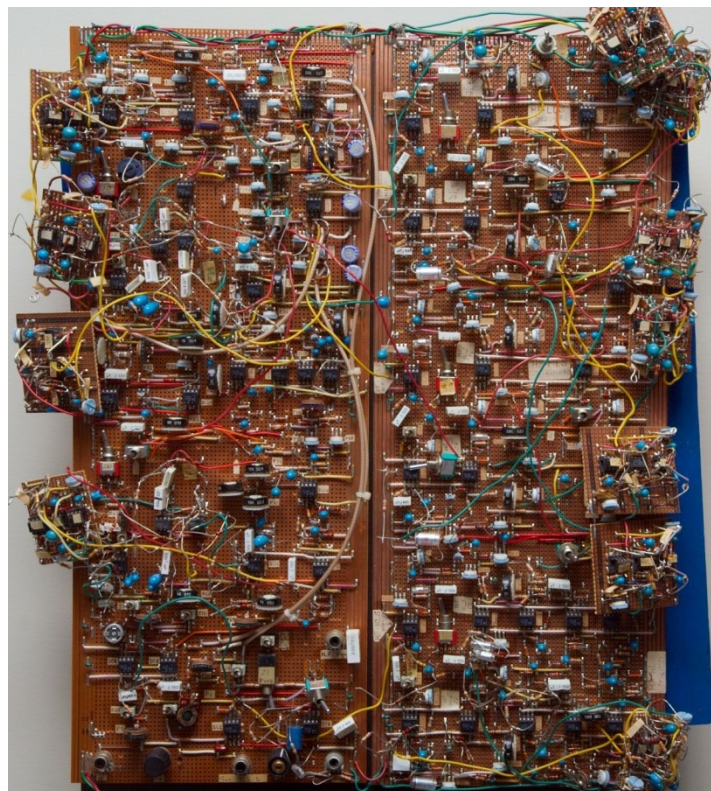


# Physikalisches Grundpraktikum für Physiker/innen

## Teil I

## Elektronik



WWW-Adresse Grundpraktikum Physik: <http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/>

**Praktikumsleiter:**

PD Dr. Manfred Deicher  
Zimmer: 1.11, Gebäude E 2.6  
e-mail: [manfred.deicher@tech-phys.uni-sb.de](mailto:manfred.deicher@tech-phys.uni-sb.de)  
Telefon: 0681/302-58198

PD Dr. Patrick Huber  
Zimmer: 3.23, Gebäude E2.6  
e-mail: [p.huber@physik.uni-saarland.de](mailto:p.huber@physik.uni-saarland.de)  
Telefon: 0681/302-3944

## 1. Stoffgebiet

- Widerstand, Kapazität
- Auf- und Entladung eines Kondensators, RC-Kreis
- Transistoren (nnp, pnp)
- Verstärker
- Oszillator-Schaltung
- Aufbau und Test eines einfachen Schaltkreises
- Richtiges Löten von Schaltungen

## 2. Literatur

- Einführung mit Projekten vergleichbar zu diesem Versuch:  
D. Cutcher  
*Electronic Circuits for the Evil Genius*  
McGraw-Hill, 2004, ISBN: 0071448810
- E. Hering, K. Bressler, J. Gutekunst  
*Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*  
5. aktualisierte Aufl., 2005, Springer, ISBN: 3-540-24309-7  
On-line innerhalb der Universität des Saarlandes:  
<http://www.springerlink.com/content/978-3-540-24309-0>
- U. Tietze, C. Schenk  
*Halbleiter-Schaltungstechnik*  
12. Aufl., 2002, Springer, ISBN: 3-540-42849-6
- Vorlesung *Elektronik für Physiker*  
Universität Kiel  
<http://www.ieap.uni-kiel.de/plasma/ag-piel/elektronik/>
- *Richtiges Löten mit dem Lötkolben*  
AGVS Sektion Berner Oberland  
[http://www.agvs-beo.ch/cmsfiles/loeten\\_am.pdf](http://www.agvs-beo.ch/cmsfiles/loeten_am.pdf)
- Datenblätter der benutzten Bauelemente  
und weitere Links zum Thema  
[http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/Physiker\\_I\\_BA.htm](http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/Physiker_I_BA.htm)

### 3. Ziel des Versuchs

Um die Grundlagen einer einfachen elektronischen Schaltung zu verstehen, soll in diesem Versuch ein Klangerzeuger gebastelt werden. Diese Schaltung besteht aus nur drei verschiedenen Bauteiltypen: Widerständen, Kondensatoren und Transistoren. Wenn man diese richtig verschaltet, kann man damit Töne erzeugen.

Die Schaltung soll zunächst auf einem Steckbrett („Breadboard“) aufgebaut und getestet werden. Wenn sie funktioniert kann sie auf eine Lochrasterplatine gelötet, in ein Gehäuse eingebaut und mit nach Hause genommen werden.

### 4. Bauelemente

#### Widerstände

Jeder von uns kennt wohl den Widerstand morgens aus dem Bett aufzustehen um zur Uni oder Arbeit zu gehen. Beim elektrischen Widerstand ist es ganz ähnlich, es fällt dem Strom schwer durch Drähte und Bauelemente zu fließen. Die Ladungsträger (Elektronen) stoßen bei der Bewegung durch das Material mit Gitteratomen und werden so in ihrem Fluss gestört. Diesen Effekt nennt man Widerstand. Neben den klassischen Widerständen, die aus Metall- oder Kohleschichten bestehen, haben alle elektronischen Bauelemente einen Widerstandswert, der Einfluss auf Spannungen und Ströme in Schaltungen nimmt.

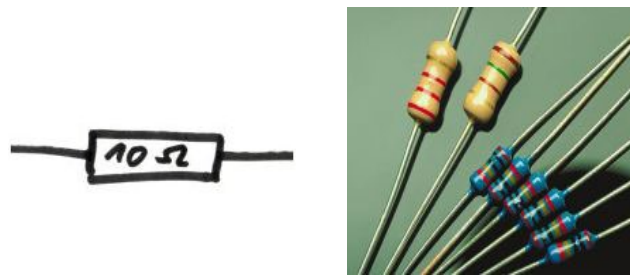


Abb. 1: Kohleschicht- und Metallschicht-Widerstände mit festen Werten (rechts) und ihr Schaltsymbol (links).

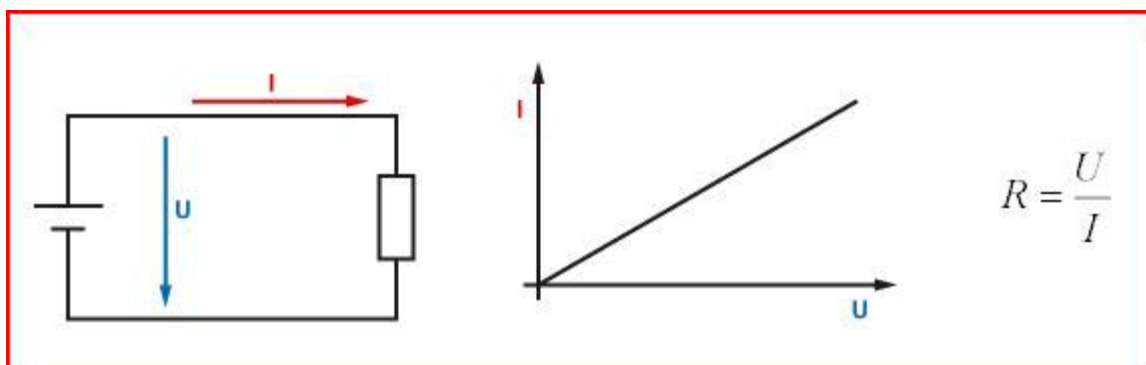


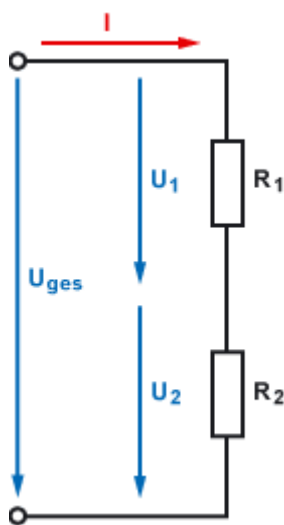
Abb.2: Widerstand  $R$  mit angelegter Spannung  $U$  (links) und seine  $I$ - $U$ -Kennlinie (rechts).

In unserem Versuch werden uns verschiedene Arten von Widerständen begegnen. Festwiderstände (Abb. 1), die wie der Name schon sagt einen festen Widerstandswert besitzen, regelbare Widerstände (Potentiometer, kurz: Poti) deren Widerstandswert verändert werden kann und

lichtempfindliche Widerstände, deren Widerstandswert von der einfallenden Lichtintensität abhängt.

Festwiderstände sind lineare Widerstände. Lineare Widerstände werden auch Ohmsche Widerstände genannt. Sie haben eine lineare  $I$ - $U$ -Kennlinie. Strom und Spannung sind zueinander proportional. Das bedeutet, wenn die Spannung  $U$  ansteigt, dann steigt auch die Stromstärke  $I$  dazu proportional an. Steigt der Strom steigt dazu linear der Spannungsabfall am Widerstand. Zur Berechnung gilt das Ohmsche Gesetz  $U = RI$ .

In der Elektronik spielen Widerstände eine große Rolle. Meistens werden sie dazu verwendet um den Strom, der in ein Bauteil fließt, zu begrenzen. In unserem Versuch werden sie auch dazu verwendet eine Spannung in einem bestimmten Verhältnis zu teilen. Dies nennt man Spannungsteiler. Ein Spannungsteiler besteht im einfachsten Fall aus zwei Widerständen, an denen sich die angelegte Gesamtspannung in zwei Teilspannungen aufteilt (Abb. 2):



$$R_{ges} = R_1 + R_2$$

$$U_{ges} = R_{ges} I \Rightarrow I = \frac{U_{ges}}{R_1 + R_2}$$

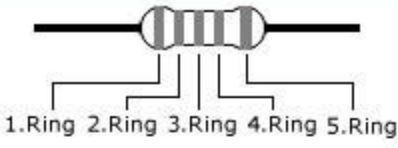
$$U_1 = \frac{R_1 U_{ges}}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = \frac{R_2 U_{ges}}{R_1 + R_2}$$

Abb.2:  
Spannungsteiler mit  
zwei Widerständen.

Wie man leicht sieht, sind  $U_1$  und  $U_2$  gleich groß, also gerade die Hälfte der Gesamtspannung, wenn  $R_1$  und  $R_2$  gleich groß gewählt werden.


Der Widerstandswert ist bei jedem Kohle- oder Metallschichtwiderstand über einen Farbcode abzulesen. Um den Wert zu ermitteln, benötigt man eine Schlüsseltabelle (Abb. 3). Die ersten 3 Ringe werden zusammengenommen und ergeben eine Zahl, welche mit dem Multiplikator (4. Ring) multipliziert werden. Das Ergebnis ist der Widerstand in Ohm ( $\Omega$ ). Der 5. Ring gibt die Toleranz des Widerstandswertes an. Bei „fetten“ Widerständen für hohen Stromfluss und bei Potentiometern sind die Widerstandswerte in Zahlen aufgedruckt.



1. Ring 2. Ring 3. Ring 4. Ring 5. Ring

Farbe	1. Ring	2. Ring	3. Ring	4. Ring	5. Ring
Silber	•	•	•	x0,01	± 10%
Gold	•	•	•	x0,1	± 5%
Schwarz	•	0	0	x1	•
Braun	1	1	1	x10	± 1%
Rot	2	2	2	x100	± 2%
Orange	3	3	3	x1000	•
Gelb	4	4	4	x10000	•
Gruen	5	5	5	x100000	± 0.5%
Blaue	6	6	6	x1000000	± 0.25%
Lila	7	7	7	x10000000	± 0.1%
Grau	8	8	8	•	± 0.05%
Weiss	9	9	9	•	•

Ein Beispiel:



1. Ring = rot = 2  
 2. Ring = grau = 8  
 3. Ring = lila = 7  
 4. Ring = orange = 1000  
 5. Ring = lila = 0,1

also : **287 x 1000 = 287000Ohm = 287kΩ ±0,1%**

Abb. 3: Farbkodierung der Widerstandswerte von Kohle- und Metallschichtwiderständen.

### Fotowiderstand - LDR

Ein Fotowiderstand ist ein Halbleiter, dessen Widerstandswert lichtabhängig ist. Er wird auch LDR (Light Dependent Resistor) genannt. Fallen Photonen auf das lichtempfindliche Halbleitermaterial, dann werden Elektronen in das Leitungsband des Kristalls angeregt. Der LDR wird leitfähiger, d. h. sein Widerstandswert wird kleiner. Je mehr Licht auf das Bauteil fällt, desto kleiner wird der Widerstand und desto größer wird der elektrische Strom durch den Fotowiderstand. Abb. 4 zeigt die typische Kennlinie eines Fotowiderstands.

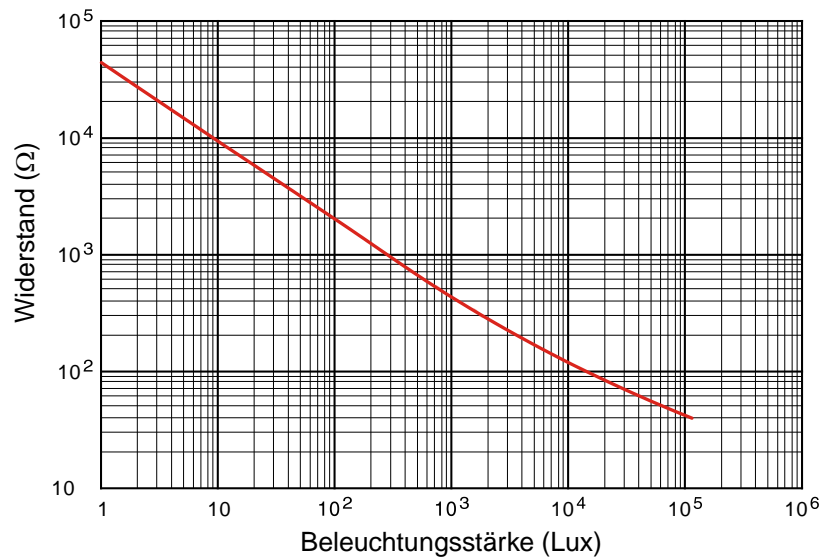


Abb. 4: Kennlinie eines Fotowiderstands: Widerstand als Funktion der Beleuchtungsstärke.

Dies können wir nutzen, um die Frequenz unseres Oszillators zu verändern, da wir mit der Größe des Widerstands die Ladezeit des Kondensators in unserer Schaltung beeinflussen können.

### Kondensatoren

Kondensatoren (Abb. 5) sind Bauelemente, die elektrische Ladungen bzw. elektrische Energie speichern können. Die einfachste Form eines Kondensators besteht aus zwei gegenüberliegenden Metallplatten. Dazwischen befindet sich ein Dielektrikum, welches keine elektrische Verbindung zwischen den Metallplatten zulässt. Das Dielektrikum ist als Isolator zu verstehen. Legt man an einen Kondensator eine Spannung an, so entsteht zwischen den beiden metallischen Platten ein elektrisches Feld. Eine Platte nimmt positive, die andere Platte negative Ladungsträger auf. Die Verteilung der Ladungsträger ist auf beiden Seiten gleich groß.



Abb. 5: Kondensator (rechts) und sein Schaltsymbol (links).

Für einen Plattenkondensator mit Platten der Fläche  $A$  im Abstand  $d$ , zwischen denen sich ein Isolator mit der Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  befindet ergibt sich eine Kapazität von

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

*Ladevorgang eines Kondensators:*

Im Einschalt Augenblick springt der Strom von Null auf den Maximalwert  $I_0$  (Abb. 6). Ab diesem Augenblick fällt der Strom exponentiell ab:

$$I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

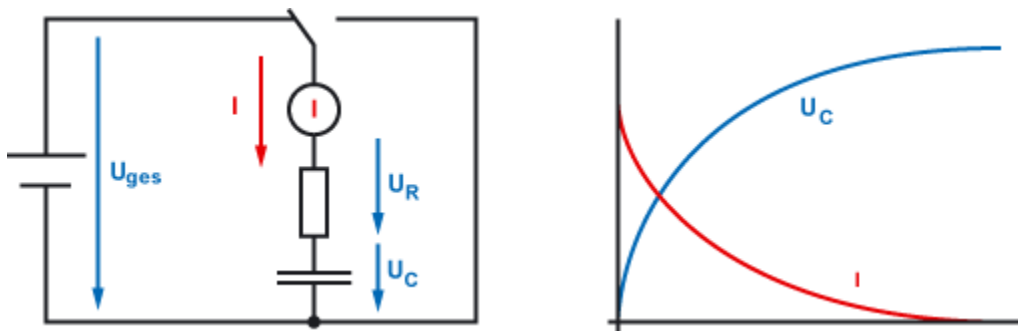


Abb. 6: Aufladevorgang eines Kondensators in einem RC-Kreis.

Die Spannungsquelle zieht die Elektronen der oberen Kondensatorfläche an und drückt sie auf die untere Kondensatorfläche. Bei diesem Vorgang wird der Kondensator aufgeladen. Die Verschiebung der Elektronen ist der Ladestrom, der sehr hoch ist. Je länger der Ladevorgang dauert, desto weniger Strom fließt. Die Elektronen auf der oberen Fläche werden weniger. Während der Strom in Richtung Null sinkt, steigt die Spannung von Null auf den Maximalwert. Hat die Kondensatorspannung  $U_C$  die Ladespannung  $U_{ges}$  erreicht, fließt kein Strom mehr und der Kondensatorwiderstand ist unendlich groß. Der Kondensator wirkt dann als Sperre für den Gleichstrom.

*Entladevorgang eines Kondensators*

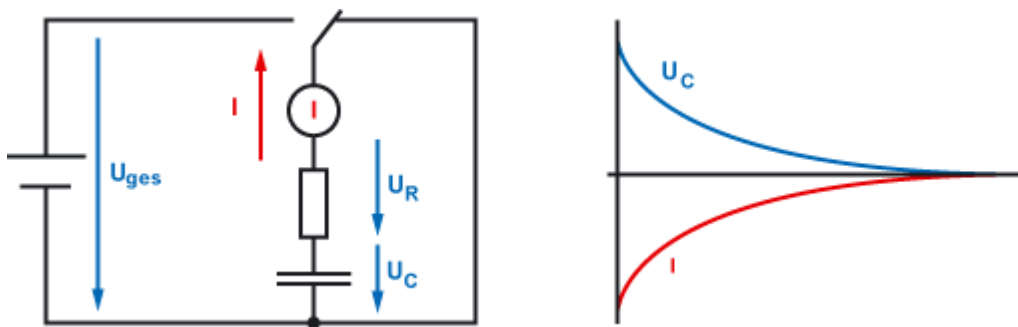


Abb. 7: Entladevorgang eines Kondensators in einem RC-Kreis.

Der Kondensator wirkt wie eine Spannungsquelle mit einem geringen Innenwiderstand. Ab dem Entladezeitpunkt sinkt die Spannung vom Maximalwert auf Null ab. Der Strom wechselt

seine Flussrichtung (Polarität) und sinkt vom Maximalwert auf Null ab. Er fließt also in entgegengesetzter Richtung zum Ladestrom. Die Spannung  $U_C$  verhält sich wie der Strom. Sie sinkt vom Maximalwert auf Null.

$$I(t) = -I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Zum Berechnen der Lade- bzw. Entladezeit des Kondensators wird der Wert des Widerstands, über den der Kondensator geladen wird, benötigt. Die angelegte Spannung hat dabei keinen Einfluss auf die Ladezeit. Die Aufladung erfolgt umso schneller, je kleiner die Kapazität des Kondensators  $C$  und je kleiner der Widerstand  $R$  ist. Die Ladezeit ist nur von der Größe des Kondensators  $C$  und des Widerstandes  $R$  abhängig. Das Produkt aus  $C$  und  $R$  wird als Zeitkonstante  $\tau$  bezeichnet:

$$\tau = RC$$

Die Frequenz unseres Oszillators  $f$  ist gerade das inverse der Zeitkonstanten  $\tau$ .

Wir können über die Wahl von Widerstand und Kondensator die Tonhöhe der ausgegebenen Schwingung festlegen. Da Kondensatoren feste Kapazitäten haben, können wir durch veränderbare Widerstände wie Potis oder lichtempfindliche Widerstände die Tonhöhe beeinflussen.

### Transistoren

Transistoren bieten die Möglichkeit, mit einem kleinen Basisstrom einen erheblich größeren Kollektorstrom zu steuern. Dies können wir uns leicht durch das links in Abb. 8 gezeigte Wassermodell vorstellen. Ein kleiner Strom von B nach E öffnet das kleine Tor, wodurch über den Seilzug das Haupttor geöffnet wird, so dass ein großer Strom von C nach E fließen kann. Die Anschlüsse eines Transistors heißen Basis (B), Emitter (E) und Kollektor (C).

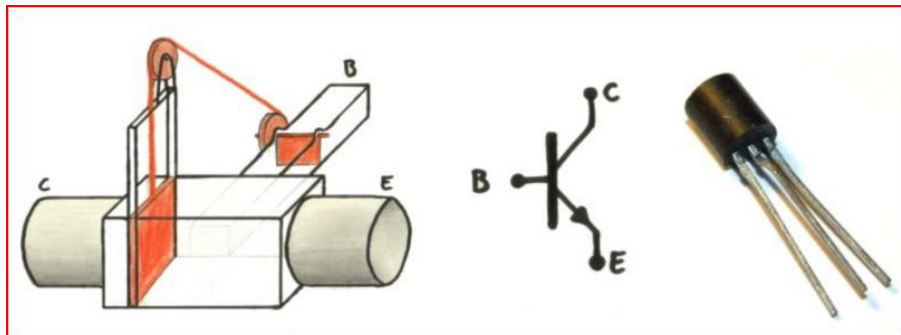


Abb. 8: Wassermodell eines Transistors (links), sein Schaltsymbol (Mitte) und eine typische Bauform (rechts).

Mit einem Transistor ist man in der Lage aus einem kleinen Strom einen großen zu erzeugen. Der Transistor ist also ein Verstärker. Damit ein Transistor durchschaltet muss zwischen Basis und Emitter ein Potentialunterschied (Spannung) von typisch 0,7 V herrschen.

Je nach Dotierungsfolge im Aufbau unterscheidet man zwischen npn (negativ-positiv-negativ) und pnp-Transistoren (positiv-negativ-positiv). Im Schaltsymbol (Abb. 9) ist der Anschluss Emitter (E) in beiden Fällen mit einem kleinen Pfeil versehen: Bei einem npn-Transistor zeigt dieser vom Bauelement weg, beim pnp-Transistor weist er zu dem Bauelement hin. Der Pfeil beschreibt die elektrische Stromrichtung (Bewegung gedachter positiver Ladungsträger) am Emitter.



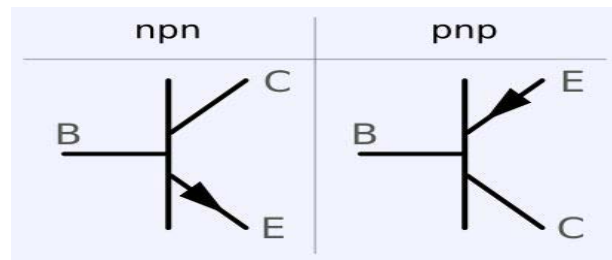


Abb. 10: Schaltsymbole für npn- (links) und pnp-Transistoren (rechts).

## 5. Aufbau eines Impulsgenerators

Wenn wir die Funktion der einzelnen Bauteile verstanden haben, können wir uns der eigentlichen Schaltung widmen. Wir wollen ein Oszillator bauen. Ein Oszillator ist eine Baugruppe zur Erzeugung von ungedämpften elektrischen Schwingungen (Abb. 11). Aus der über die Batterie angelegten Gleichspannung von +9 V wird durch die Schaltung eine Wechselspannung erzeugt, die an R4 abgegriffen werden kann. Wenn man statt R4 einen Lautsprecher in die Schaltung setzt, kann man sich die erzeugte Wechselspannung anhören. Ein Oszillator enthält immer frequenzbestimmende Bauteile und eine Schaltung zur Erzeugung von Schwingungen.

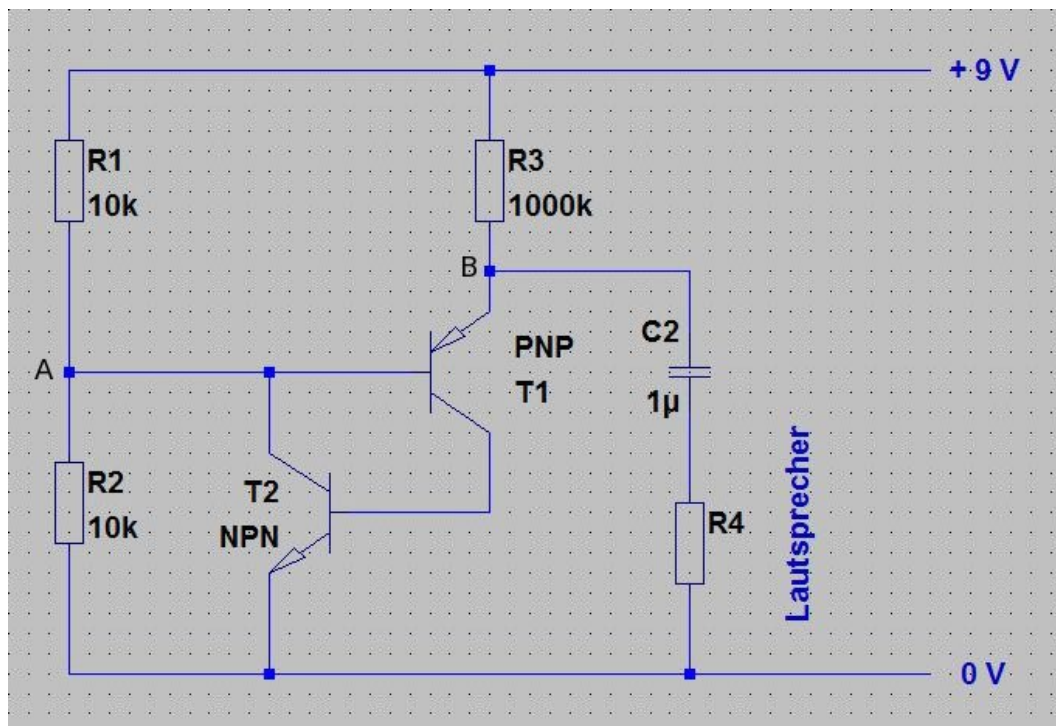


Abb. 11: Schaltplan des Impulsgenerators.

Frequenzbestimmend sind hier Widerstand R3 und Kondensator, und zur Anregung der Schwingung dient die Rückkopplung von T2 in die Basis von T1.

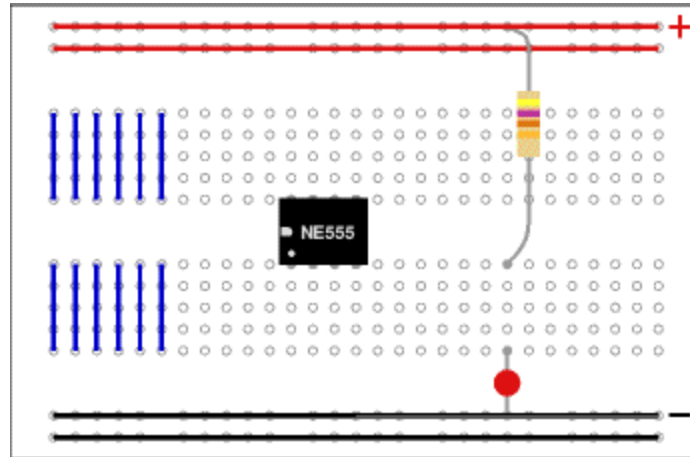
Überlegung Sie sich zur Vorbereitung des Versuchs, wie die in Abb. 11 dargestellte Schaltung arbeitet:

- Welches Potential liegt an Punkt A, dem Mittelpunkt des Spannungsteilers?
- Ändert sich das Potential an Punkt B? Wenn ja wie?
- Wann schaltet der Transistor T1?

- Was passiert dann mit T2?
- Wieso hört man einen Impuls wenn R4 ein Lautsprecher ist?

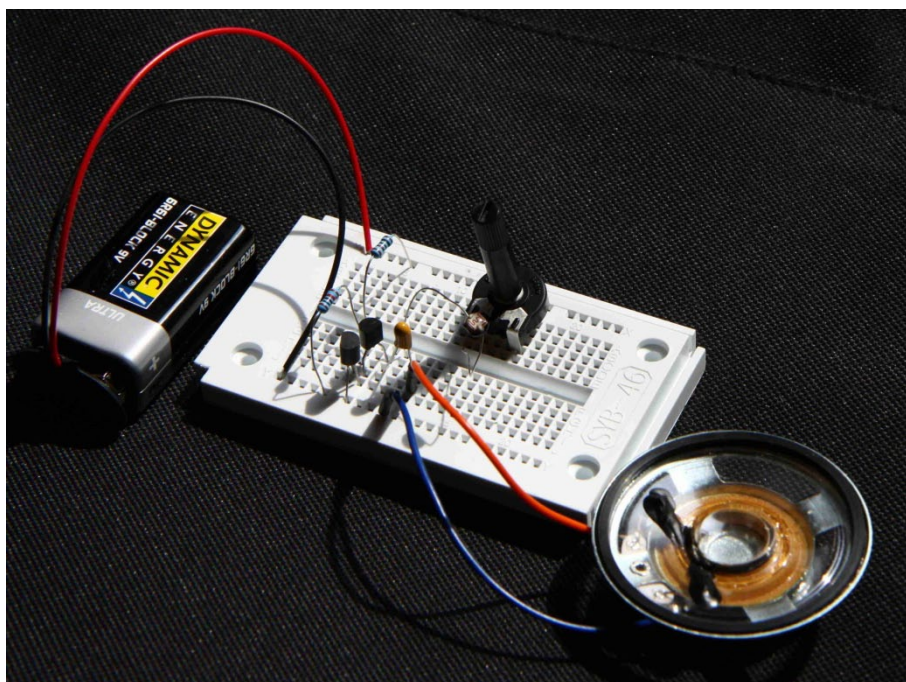
*Aufbau der Schaltung:*

Zuerst wollen wir die Schaltung auf einer Steckplatine (Breadboard) aufbauen (Abb. 12).



*Abb. 12: Steckplatine (Breadboard) zum testweisen Aufbau elektronischer Schaltungen.*

Im Gegensatz zu Leiterplatten werden bei Steckplatinen die Bauteile nicht aufgelötet, sondern nur gesteckt. Dies ist insbesondere für Versuchsaufbauten vorteilhaft, da die Schaltung durch einfaches Umstecken geändert werden kann. Wichtig ist die interne Verschaltung eines Breadboards. Die Anschlüsse der rot und schwarz gezeichneten horizontalen Linien sind miteinander verbunden, ebenso wie die Vertikalen blau markierten Anschlüsse. Dies ist zu beachten und wird am Anfang für einige Verwirrung sorgen. Unsere Oszillatorschaltung kann auf einem solchen Breadboard beispielsweise wie in Abb. 13 aussehen.



*Abb. 13: Aufbau der Oszillatorschaltung auf dem Breadboard.*

Wenn die auf dem Breadboard aufgebaute Schaltung funktioniert, kann man gezielt die frequenzbestimmenden Bauteile verändern, um einen Frequenzbereich zu finden, der einem gefällt. Nun kann die Schaltung auf eine Lochrasterplatte gelötet werden und in ein Gehäuse eingebaut werden. Die Gehäuse stehen zur Verfügung und Sie können Ihr Soundmodul nach eigenem Ermessen fertiggbauen und erweitern.



*Abb. 14: Soundmodul mit Lautsprecher und Batterie in Gehäuse eingebaut.*