

Elektronikprojekte für technisches Werken

1. Einleitung

2. Teil 1: Verstärkung und Wiedergabe: 'Boom-Box'

2.1 Sachanalyse

2.2 Zielformulierung

2.3 Persönliche Realisierung

2.4 Arbeitsblätter

2.5 Materialliste und Bezugsquellen

2.6 Markterhebung

3. Teil 2: Klangerzeugung: 'Optisches Theremin'

3.1 Sachanalyse

3.2 Zielformulierung

3.3 Persönliche Realisierung

3.4 Arbeitsblätter

3.5 Materialliste und Bezugsquellen

3.6 Markterhebung

4. Resultat der persönlichen Realisierung

5. Arbeitsmaterialien und Werkzeug

6. Quellen und weiterführende Informationen

1. Einleitung

Seitdem (analoge) Elektronik um 1970 die massentaugliche Marktreife erlangte und um 1990 auch Qualität und Produzierbarkeit digitaler Produktionsmittel und Konsumgüter hinreichend und günstig genug wurden, haben Auseinandersetzung und Umgang mit elektronischen Geräten stetig zugenommen und heute ein allgegenwärtiges Ausmaß erreicht.

Auch der Großteil des heutzutage konsumierten Audiomaterials wird vollständig elektronisch generiert, zumindest jedoch elektronisch aufgenommen und bearbeitet. Im Gegensatz zu Eigenschaften und Funktionsweisen mechanischer Musikinstrumente sind jene der elektronischen jedoch kaum selbstverständlich.

Elektronik stellt im Gegensatz zur Mechanik eine hauptsächlich abstrakt erfassbare Technik dar. Das heißt die ablaufenden Vorgänge, abgesehen von Effekten wie Wärmentswicklung, Klang- oder Lichterzeugung, können nicht vom Menschen wahrgenommen, sondern nur physikalisch erklärt werden. Daher umgibt sie eine Aura des Mysteriösen (Stichwort Black Box) und ein Selbstverständnis des Professionalismus (nur professionell ausgebildete Personen können/dürfen damit umgehen).

Weiter tragen die Gefahren, welche beim Umgang mit höheren Strömen und Spannungen auftreten, zum Ruf der Technik bei und auch der (teils) beachtliche Preis von elektronischen Geräten hemmt beim Experimentieren.

Aus diesen Gedanken lässt sich eine wachsende Abhängigkeit ableiten, mit welcher ein wachsendes Bedürfnis nach Unabhängigkeit einhergeht (Abhängigkeitsgefühle entstehen beispielsweise angesichts kaputter Kopfhörerstecker oder beim Verlust wichtiger digitaler Daten).

Ziel dieser Unterrichtskonzepte ist über Spiel, Experiment und teilweise irreguläre Anwendung eine subjektive Banalisierung von Elektrotechnik zu erreichen, sowie durch Entwurf und Bau eines elektronischen Musikinstruments Selbstvertrauen im Umgang mit der Technik zu schaffen.

Die Auseinandersetzung mit elektronischer Musik erfüllt hierbei mehrfache Funktion: Zunächst dient sie als geläufiger sozio-kultureller Kitt (so ist etwa der Umgang mit elektronisch übertragenen Audioinformationen bereits länger Teil gängiger Kulturpraxis als jener im Umgang mit Bildern oder digitalen Daten). Weiter ist die zu Grunde liegende Technik fehlertolerant, einfach und (verhältnismäßig) günstig.

Die direkte akustische Rückmeldung erleichtert das Experimentieren. Schließlich lassen sich anhand elektronischer Klangerzeugung die gängigsten elektrotechnischen Grundelemente und -begriffe veranschaulichen und erklären.

Das Unterrichtskonzept gliedert sich in zwei Abschnitte. Zunächst soll eine Möglichkeit der Verstärkung und Wiedergabe geschaffen werden, um im Folgenden mit elektronischer Klangerzeugung experimentieren zu können.

Schließlich können beide Elemente getrennt betrieben werden oder ein gemeinsames Instrument bilden.

2. Teil 1: Verstärkung und Wiedergabe: 'Boom-Box'

2.1 Sachanalyse

Unter einer 'Boombox' versteht man einen tragbaren Audioverstärker, welcher in einem Gehäuse mit Lautsprechern und Audioquellen (Radioempfänger, Kassetten-deck, CD-Player, I-Pod-Dock, USB – Eingang) verbaut ist.

Als erstes dieser Geräte gilt der 'Radiorecorder' von Philips (1969). Bereits Mitte der 1970er Jahre hatten die meisten Hersteller von Unterhaltungselektronik ähnliche Geräte im Angebot, wodurch diese auch für Jugendliche erschwinglich und damit zu einem integralen Bestandteil von Jugendkultur wurden. Hip Hop ist hierfür ein besonders deutliches Beispiel.

Die innerhalb dieses Unterrichtskonzeptes entwickelte 'Boom Box' stellt die denkbar einfachste Version einer solchen dar und besteht aus einer Batterie, der Schaltung, einem Lautsprecher und einer Eingangsbuchse. Diese simple Konfiguration ermöglicht einen vielfältigen und modularen Zugang, da die endgültige Form über einen individuellen Kriterienkatalog und Experiment erarbeitet wird und nicht über eine Anleitung eingeschränkt werden sollte. So können beispielsweise mehrere Module zu einem stationären Stereo-System (z.B. Computerboxen) oder einer Raumklang-Installation kombiniert werden. Ebenso denkbar wäre es, ein Mono-System hinsichtlich Portabilität und Haltbarkeit zu entwickeln.

Abgesehen von technischen Kriterien bieten sich auch die ästhetischen Merkmale für eine ausführliche Analyse an.

Der Quader mit zwei Lautsprechern als Stereotyp des „Ghettoblasters“ der 80er stellt angesichts heute produzierter Geräte nach wie vor eine Blaupause für Designer und Produzenten jeglicher Couleur dar. Die Markterhebung zeugt jedoch auch von einer großen Vielfalt der Designansätze für tragbare Audioverstärker. Auch kugelförmige Lautsprecher aus Keramik sind durchaus denkbar.

2.2 Zielformulierung

Im ersten Teil dieses Unterrichtskonzeptes soll eine Annäherung zum Themenfeld Elektronik und Musik erfolgen. Hierbei soll es nicht darum gehen, die zu Grunde liegende Technik zu verstehen, sondern eine gewisse Vertrautheit mit den zugehörigen Begriffen und Elementen zu gewinnen, ein erstes Erfolgserlebnis zu generieren und somit die Hürde hin zu einer tieferen Auseinandersetzung zu senken.

Zu Beginn des Vermittlungskonzeptes steht die abstrakte Aufgabe des Lesens und Interpretierens eines gegebenen Schaltplans. Hierbei wird die allgemeine Idee des Blockdiagramms und des Schaltplans erklärt sowie die gängigen Schaltsymbole für Widerstände, Kondensatoren etc. vermittelt. Die aus der Physik bekannten elektronischen Grundbegriffe werden in die Wahrnehmung gerückt und in einen praktischen Kontext überführt, ohne konkret verstanden werden zu müssen.

Löten, genauer Weichlöten, steht im handwerklich-technischen Fokus des ersten Teils. Kleine Lötübungen vor dem eigentlichen Anfertigen der Schaltung sind meistens sinnvoll. Nähere Informationen diesbezüglich finden sich unter Punkt X in diesem Text.

Der letzten, scheinbar trivialen Aufgabe, des Bauens eines Gehäuses für Lautsprecher und Elektronik, sollte am meisten Zeit eingeräumt werden. Einerseits hängen Lautstärke und Klang maßgeblich vom Design der Box ab, wichtiger jedoch ist, dass Schüler hier weitestgehend selbstständig mit unterschiedlichen Materialien, Volumen und Dämpfungen (Schaumstoff oder ähnliche Materialien im Lautsprechergehäuse) experimentieren und ihr Anwendungsgebiet frei wählen können.

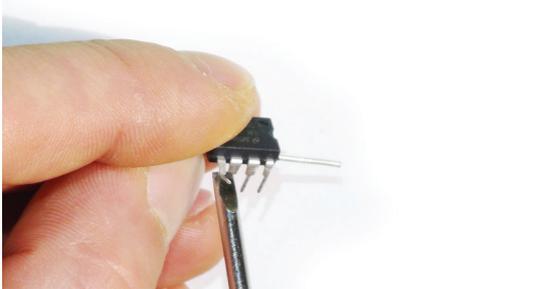
2.3 Persönliche Realisierung



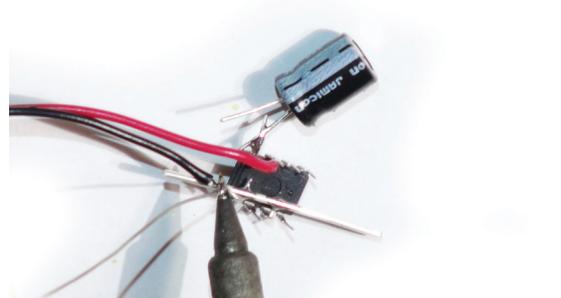
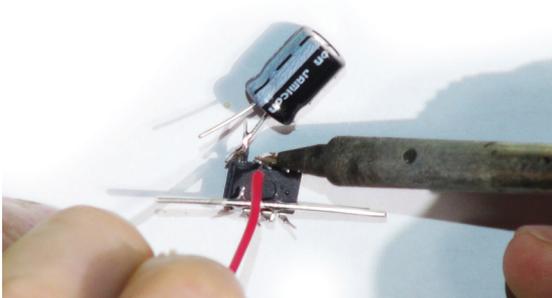
Zurecht biegen von Pin 2 und 4 um späteres Löten zu erleichtern.



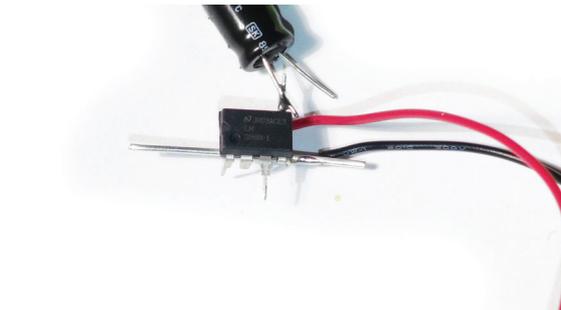
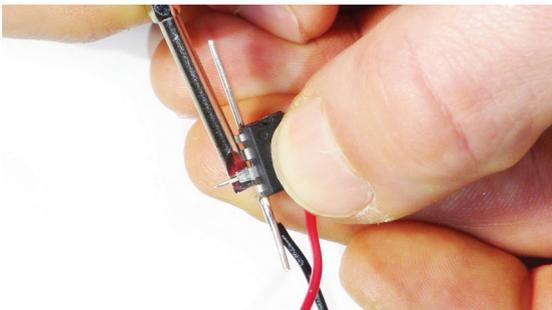
Festlöten und auf Überlänge abschneiden des Masse- (Ground) Busses an Pin 2 und 4.



Zurecht biegen des Outputs (Pin 5) und verlöten des Kondensators.

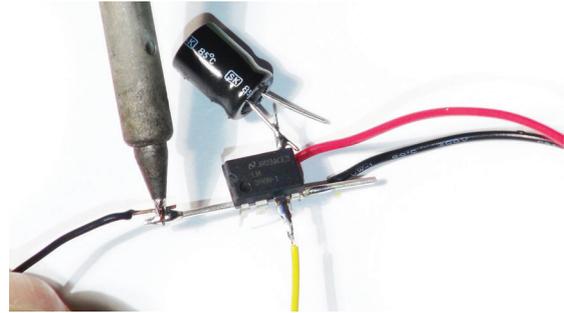
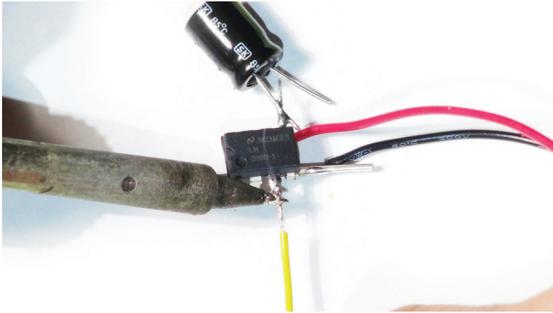


Anlöten der Drähte der Batterieklemme an Pin 6 (V+, rot) und den Massebus (-, schwarz).

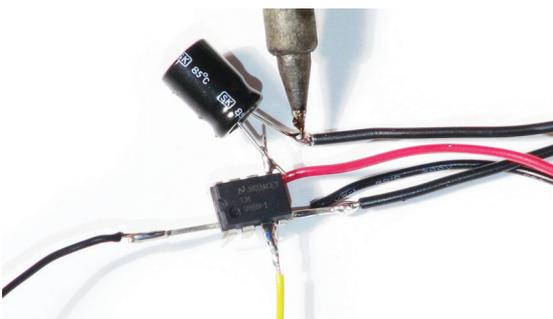


Zurecht biegen des Inputs (Pin 3).

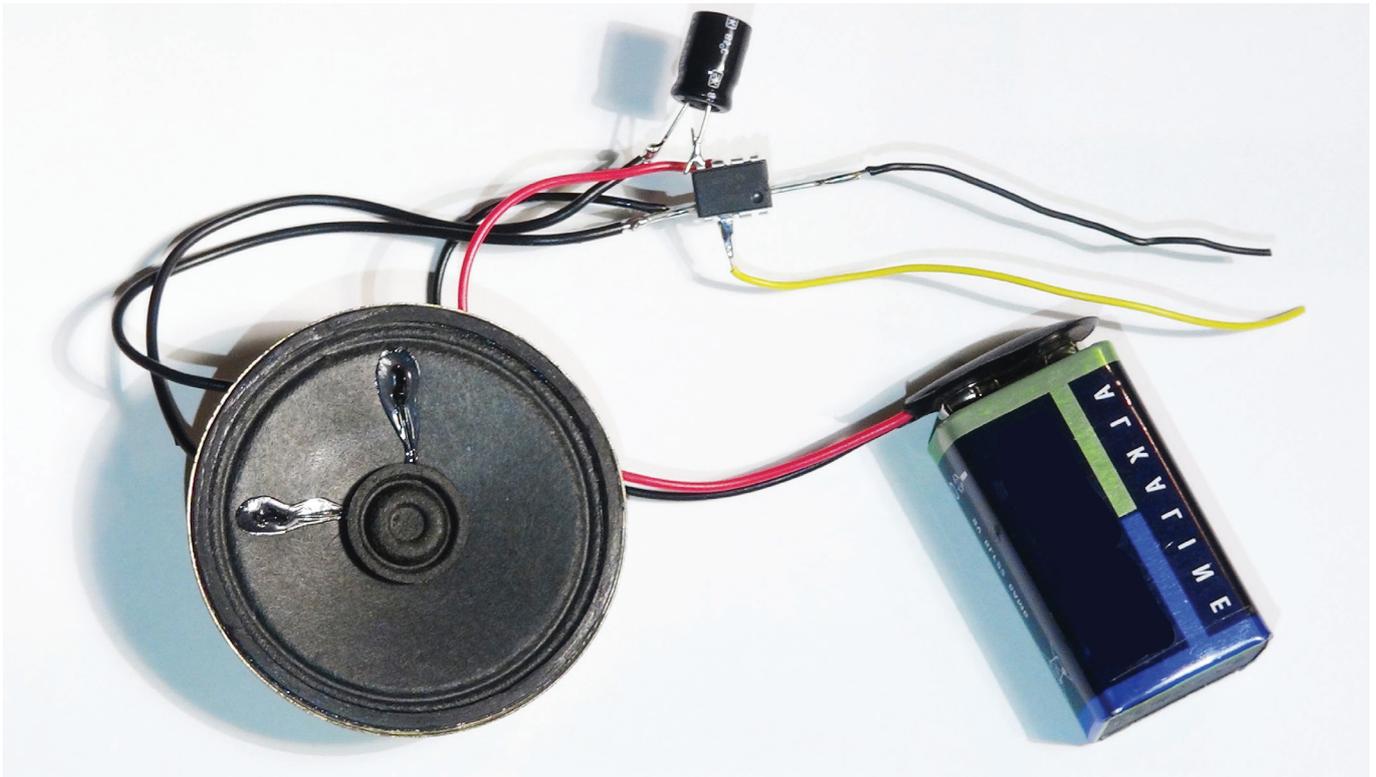
Zwischenresultat.



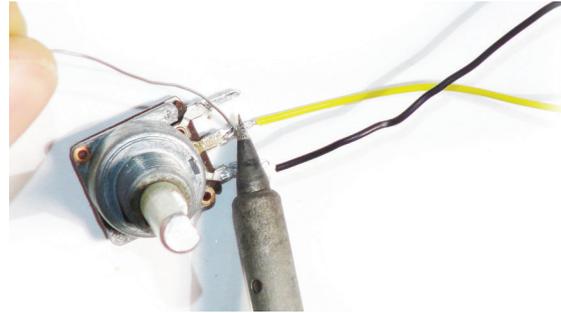
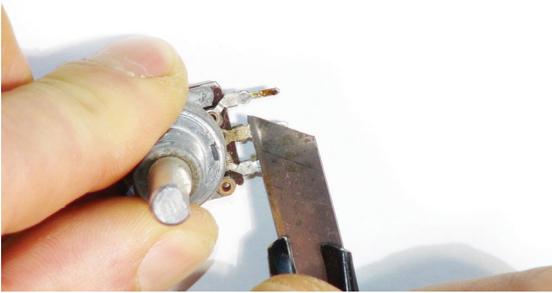
Anlöten des Signalkabels an Pin 3. Anlöten der zugehörigen Masseverbindung an den Bus.



Anschluss des Lautsprechers an den Minuspol des Kondensators und den Massebus.



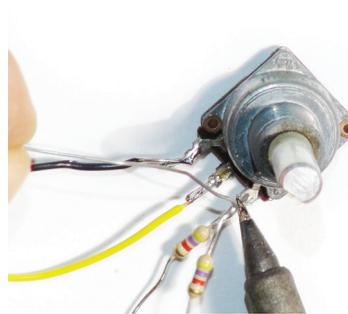
Fertige Grundschaltung.



Reinigen der Potentiometer-Kontakte. Festlöten des Signaldrahtes und der Masseverbindung.



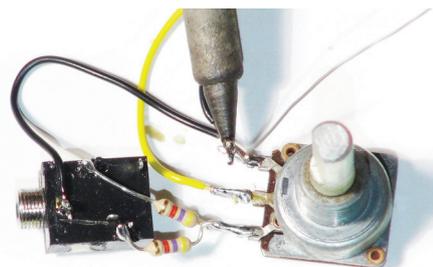
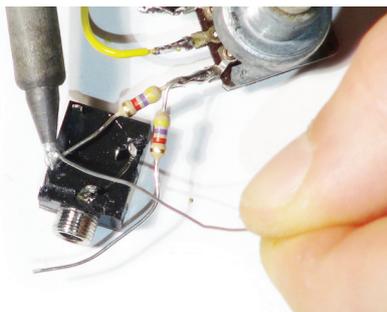
Vorbereiten der 4,7kOhm Widerstände mittels Verdrillens und Verlöten einer Seite.



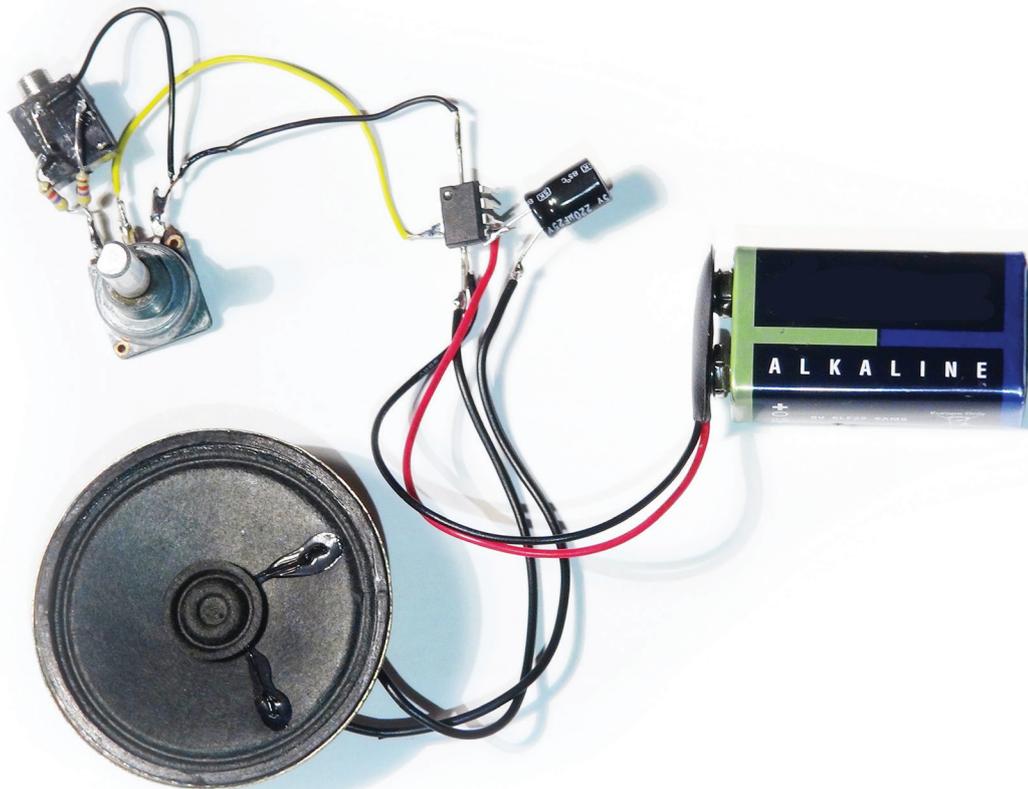
Kappen der Überlänge und Verlöten am Potentiometer.



Vorbereiten der Eingangsbuchse. Durchgangsprüfung mittels Multimeter und offenem Stecker um die entsprechenden Pins zu lokalisieren.



Festlöten der beiden Widerstände an die Eingangsbuchse. Verlöten der Masseverbindung zur Buchse.



Einbaufertiger Mono-Verstärker mit Miniklinkeneingang und Lautstärkereger.

Hinweise:

Diese Art des 'fliegenden'-Aufbaus sollte nach positiv verlaufenem Test unbedingt unverzüglich und vorsichtig verbaut werden!

Achtung! Durch häufiges herumtragen oder -heben können die Verbindungen leicht abbrechen!!!

Schutz vor Kurzschlüssen und Brüchen bietet z.B. ein großzügiger Heisskleber-Klecks.

LM386 ist eine Typenbezeichnung. Der gleiche Chip wird mit geringen Abweichungen von unterschiedlichen Herstellern gefertigt. Manche davon sind fehler-toleranter als Andere. Unter Punkt 6 finden sich Erweiterungen der Schaltung welche den Verstärker stabilisieren, falls dieser nicht richtig funktioniert.

Für die Stereo-Version sollte, zwecks besserer Stabilität, ein Aufbau auf Karton oder Lochrasterplatine erwägt werden.

Es ist, durch entsprechendes Lautsprecherdesign, durchaus möglich diesen Verstärker "gut" klingen zu lassen. Dennoch ist dies nicht die Empfehlung für dieses Projekt. Einerseits steigert dieser Versuch die Kosten (für gute Lautsprecher und Zusatzbeschaltung). Andererseits verändert sich der Fokus, weg von einem experimentellen, hin zu einem professionalistischen. Für Interessierte kann dies durchaus ein guter Einstieg in eine Vertiefung sein.

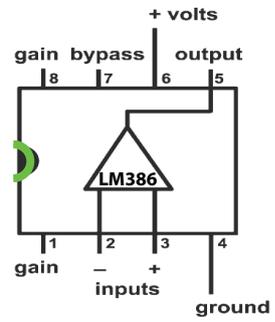
Meistens gestalten sich Mühe und Aufwand jedoch größer als das Erfolgserlebnis durch eine etwas besser klingende Box.

1: Bauteile

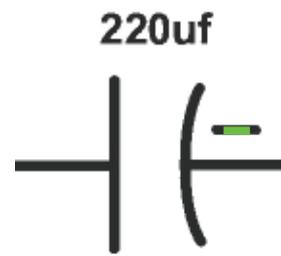
Auf grün markierte Elemente achten!



=



=

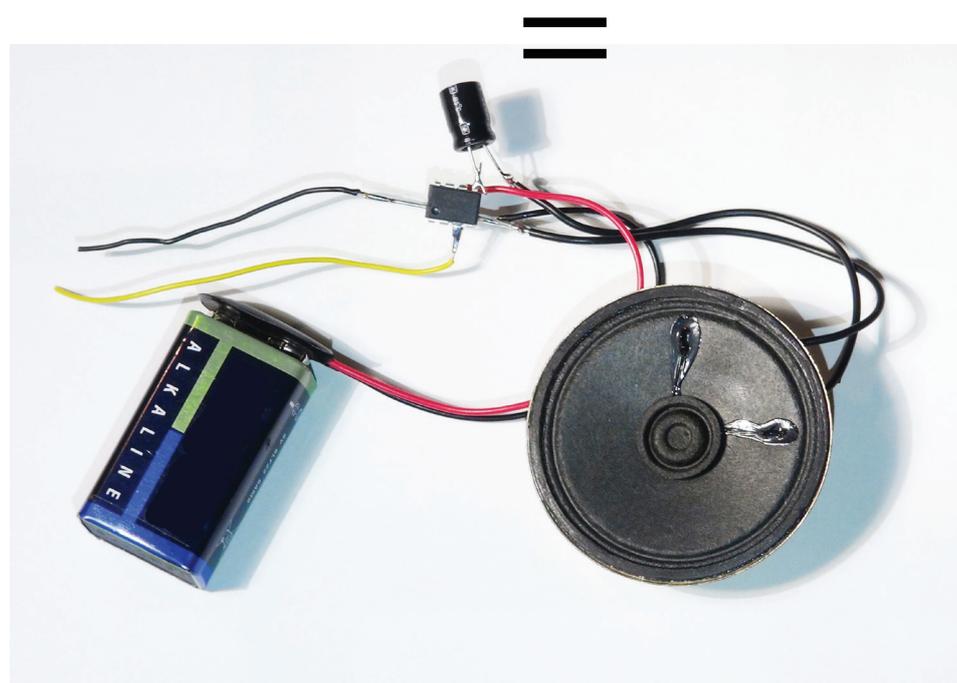
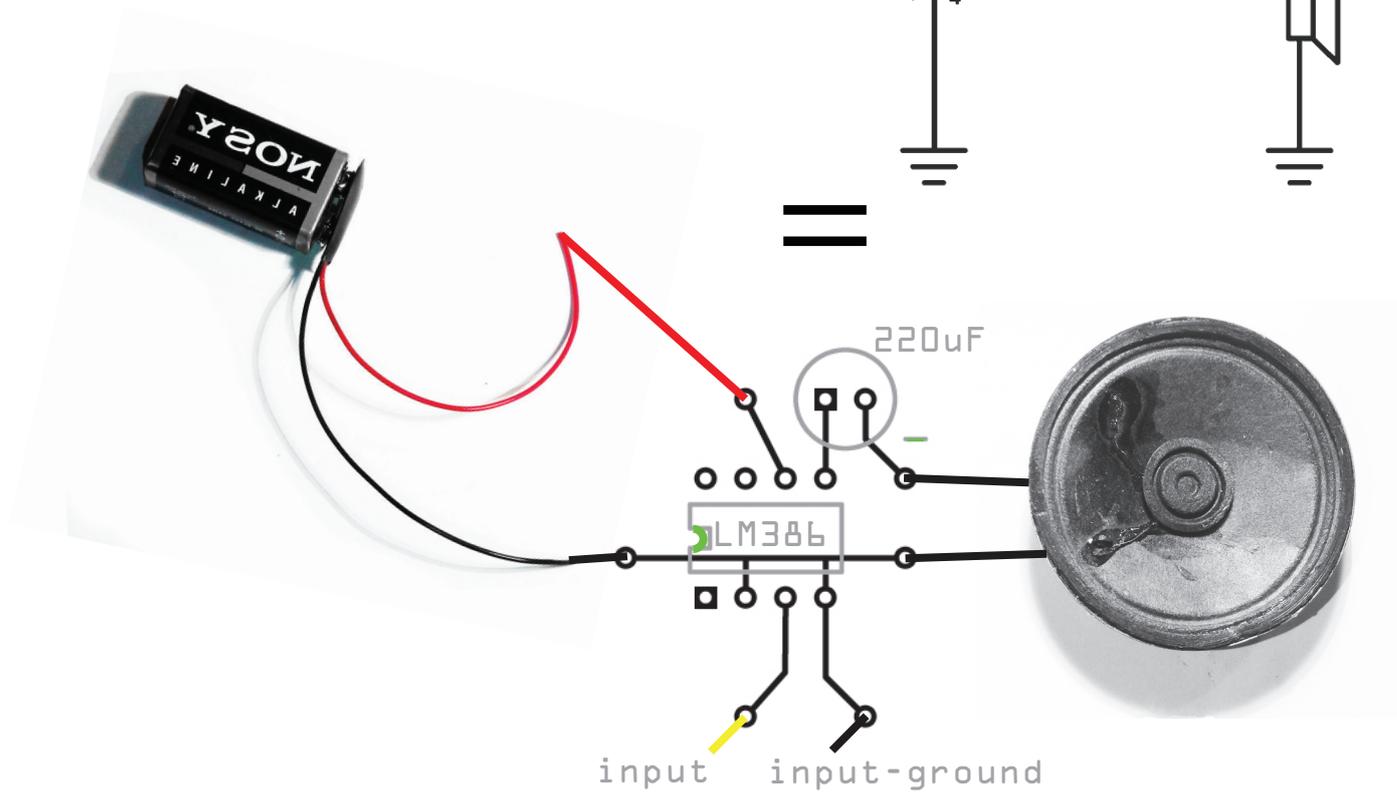
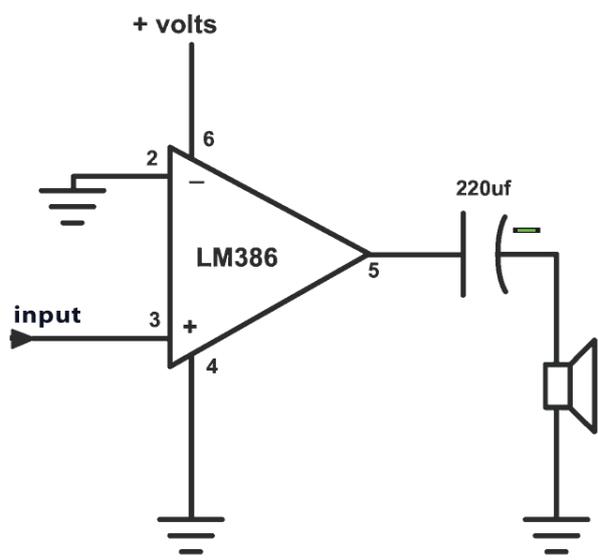


=



2: Grundschtaltung

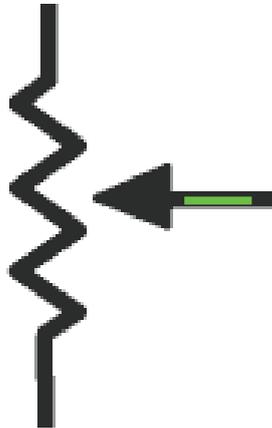
Die hier gezeigte Schaltung ist für das im 2. Teil beschriebene optische Theremin bereits ausreichend.



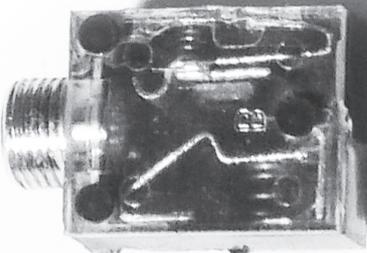
3: Zusätzliche Bauteile



=



=

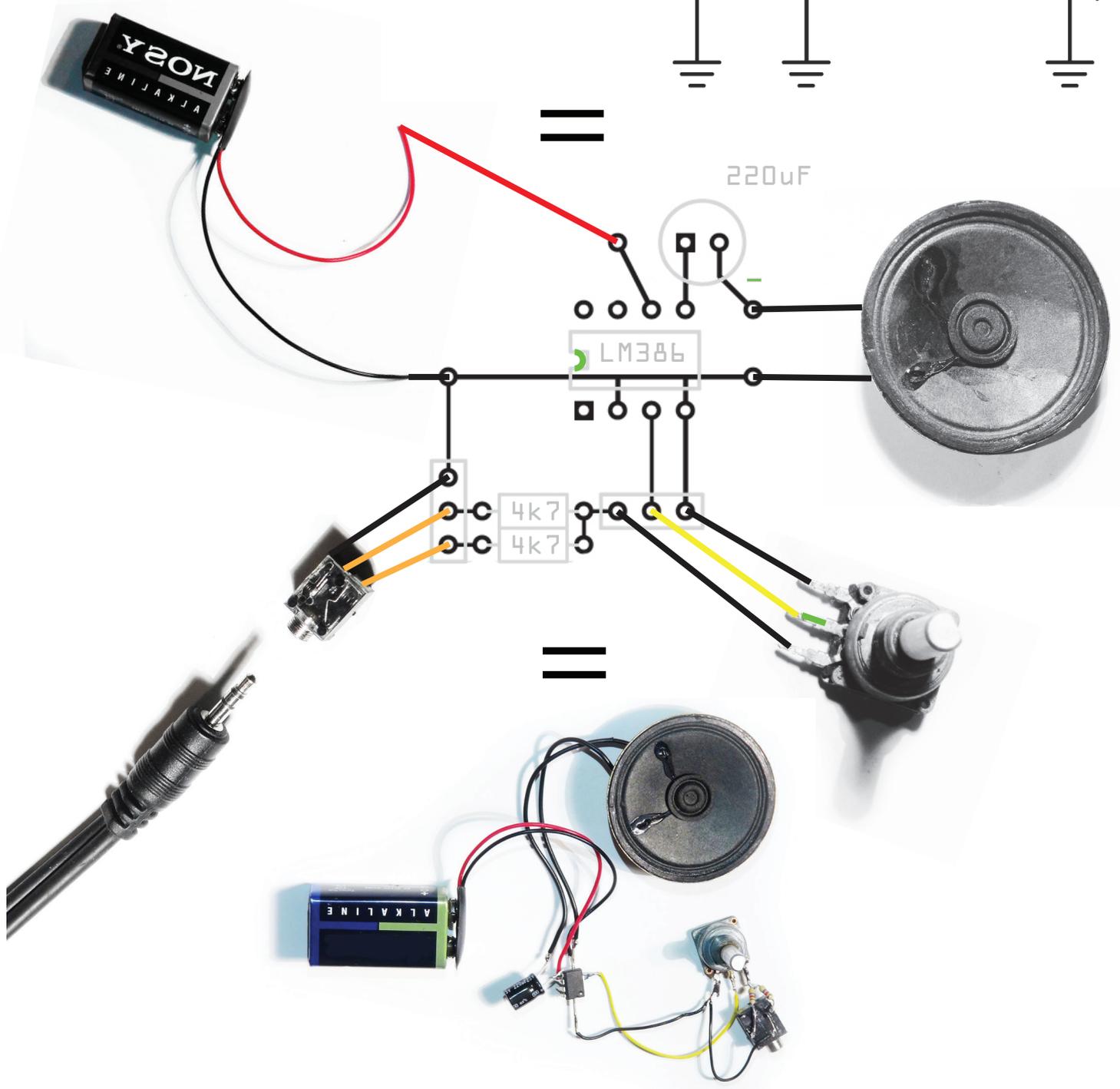
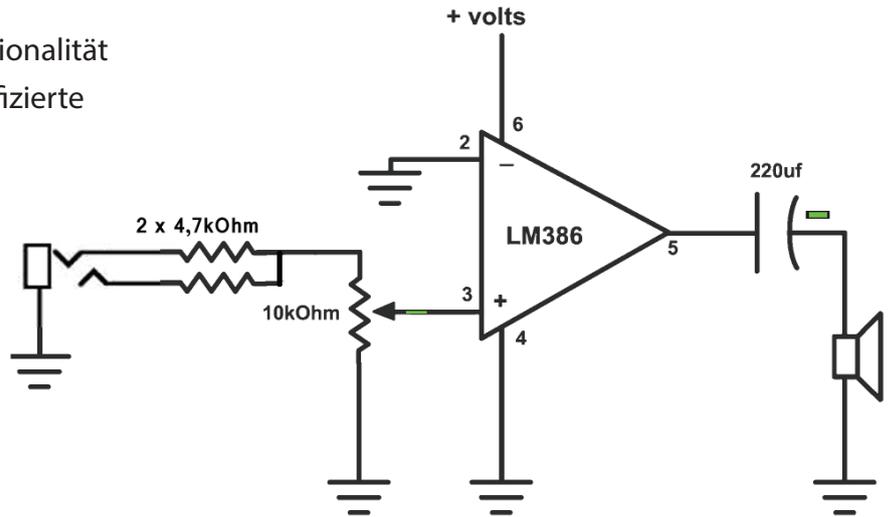


=



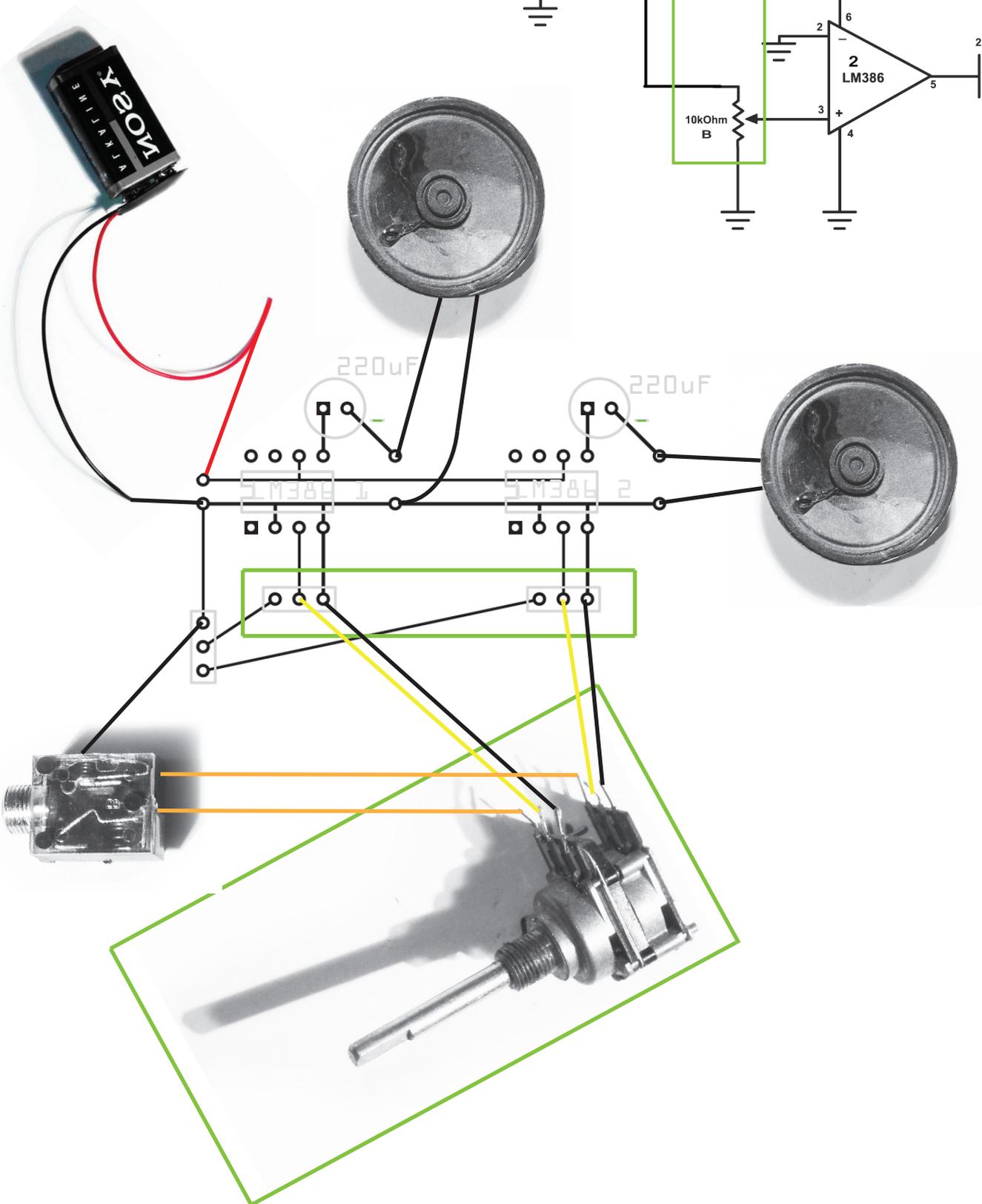
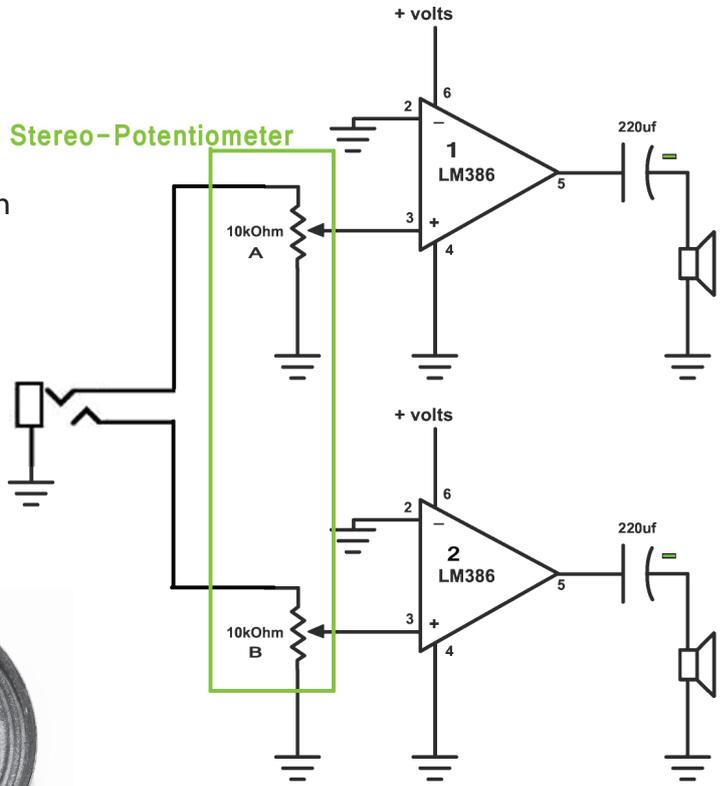
4: Klinken-Eingang und Lautstärkenkontrolle

Nur wenige Bauteile erweitern die Funktionalität des Verstärkers beträchtlich. Diese modifizierte Schaltung akzeptiert auch Standard-Kopfhörerausgänge (Handy, Laptop, etc.) und verfügt über ein Potentiometer zum Regeln der Lautstärke.



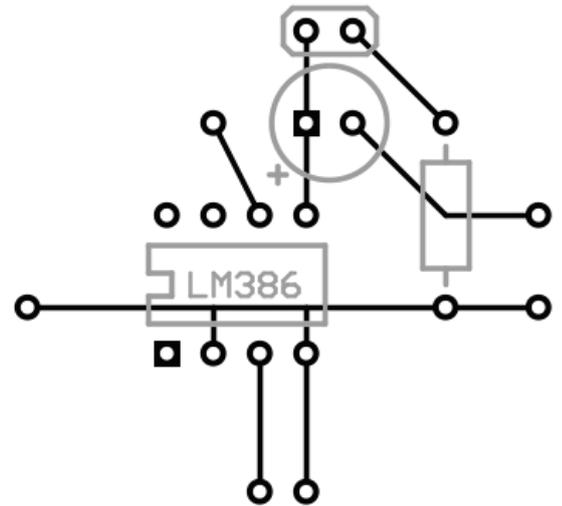
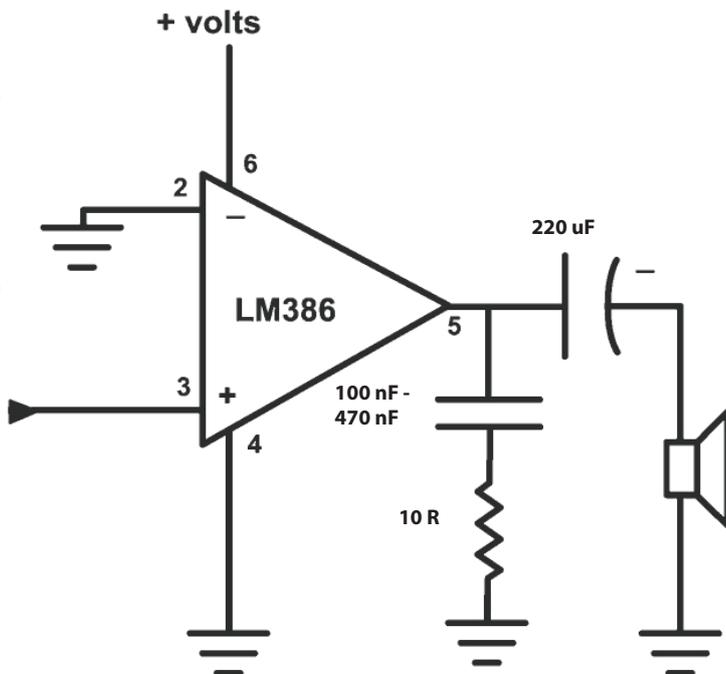
5: Stereo Verstärker

Falls Stereo-Wiedergabe gewünscht ist, müssen zwei Verstärker gebaut werden. Ein Stereo- bzw. Dual-Potentiometer ermöglicht das gleichzeitige Regeln zweier, getrennter Kanäle.



6: Erweiterung der Schaltung / Troubleshooting

Falls der Verstärker verzerrt, dünn, krachig oder andersweitig deutlich unsauber klingt (und dies nicht von einem fehlenden Gehäuse für den Lautsprecher herrührt) kann es sein dass man die Grundsaltung erweitern muss, um den Chip (IC) zu stabilisieren. Diese erste Modifikation beseitigt diese Probleme normalerweise:



Am Ausgang des Verstärkers (Pin 5) wird nicht nur der 220uF Kondensator sondern auch ein weiterer, wesentlich kleinerer (zwischen 100nF = 0,1uF und 470nF = 0,47uF) Kondensator angeschlossen. Im Gegensatz zum 220uF sollte dieser kein Elko (Elektrolytkondensator), sondern ein Kunststoff oder Keramik Kondensator sein, diese besitzen keine Polarität (-> Richtung). Der zweite Pol dieses kleineren Kondensators wird über einen 10 Ohm (Abkürzung 10R) Widerstand an Masse (= Minuspol der Batterie) angeschlossen.

Weitere Modifikationen:

Eine weitere Möglichkeit zur Stabilisierung beschaltet, den bis jetzt nicht verwendeten, Pin 7 des IC. Bei manchen Anwendungen verbessert sich die Performance des Verstärkers, wenn man diesen 'bypass'-pin entweder direkt, oder über einen Kondensator mit Masse verbindet. Ein guter Wert für diesen Kondensator sind 10 uF. Aufgrund dieser Größe muss hierfür ein Elko verwendet werden, der Minuspol des Kondensators wird mit Masse verbunden, der Pluspol mit Pin 7.

Zuletzt: Generell ist es häufig hilfreich die Versorgungsspannung zu stabilisieren. Man tut dies mit einem Kondensator direkt zwischen Plus und Minuspol der Stromversorgung, möglichst nah beim IC. Ein weiterer 220uF Elko wäre dafür ideal.

2.5 Materialliste und Bezugsquellen

LM386 Audioverstärker IC (auf DIL Ausführung achten!):

Ca. 1,00€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/176303/Linear-IC-Texas-Instruments-LM386N1-Gehaeuseart-DIL-8-Ausfuehrung-NF-Verst325-mW4-12-V>

220uF Kondensator (Wert unkritisch, alles zwischen 100uF und 470uF funktioniert):

Ca. 0,10 €

<http://www.conrad.at/ce/de/product/445347/Yageo-Standard-Kondensator-SE016M0220BZF-0611-Radial-x-H-6-mm-x-11-mm-Rastermass-25-mm-220-F-16-V>

Lautsprecher. Können aus alten Geräten ausgebaut, im Sortiment oder einzeln neu gekauft werden. Audioqualität und Belastbarkeit bestimmen den Preis:

Ca. 0 - 20€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/303661/Visaton-K-50-WP-Breitbandlautsprecher-8-9V-Block-Klemme>

9V-Block-Klemme:

Ca. 0,50€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/624691/Batterieclip-fuer-9-V-Block-I-Ausfuehrung-L-x-B-x-H-26-x-13-x-8-mm>

9V-Block-Batterie:

Ca. 2,00€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/650411/Agfa-Alkaline-9V-Block-Batterie-9-V-6LR61-6LR21-6AM6-6LP3146-MN1604-A1604-E-Block-LR22-522-6LF22-1604A-K9V-6>

Klinken-Buchse (3,5mm) (auch Klinkeneinbaukupplung. Stereo = 3-Pole):

Ca. 2,00€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/734101/Klinkeneinbaukupplung-35-mm-Stereo-Pole3-Stereo-Inhalt-1-St>

4,7k Ohm Widerstände. (Wert unkritisch, alles zwischen 3k Ohm und 30k Ohm funktioniert, Kohleschicht oder Metallfilm-Ausführung ist unwichtig)

Ca. 0,10€

<http://www.conrad.de/ce/de/product/403334/14-Watt-Kohleschicht-Widerstand-5-47-k-axial-bdrahtet-Bauform-0207-025-W-5->

10k Ohm Potentiometer (Wert unkritisch, alles zwischen 5k Ohm und 50k Ohm funktioniert). Die Dual- (Stereo-) Ausführung ist teurer.

Ca. 1,00 - 5,00 €

<http://www.conrad.de/ce/de/product/440891/Weltron-Potentiometer-mit-glatter-60-mm-Achse-WP20CS--60F1-10K-20-LIN-M10-x-8-mm-Lin-10-k-04-W-20->

Erweiterungen:

10 Ohm Widerstand.

Ca. 0,10 €

<http://www.conrad.de/ce/de/product/403016/Kohleschicht-Widerstand-10-axial-bdrahtet-0207-025-W-1-St?ref=list>

100 nF Kunststoff Kondensator.

Ca. 0,20 €

<http://www.conrad.de/ce/de/product/500871/MKT-Folienkondensator-01-F-63-VDC-10-Rastermass-5-mm-L-x-B-x-H-72-x-25-x-65-mm-Epcos-B32529-C104-K-1-St?ref=list>

10 uF Elektrolyt-Kondensator

Ca. 0,10 €

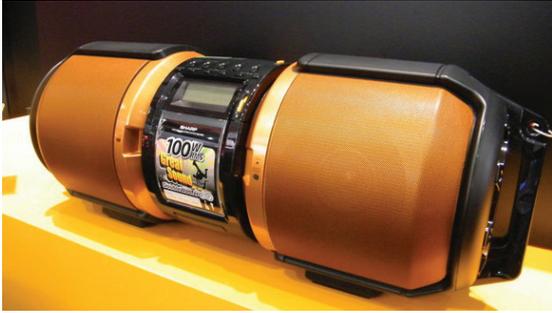
<http://www.conrad.de/ce/de/product/445503/Elektrolyt-Kondensator-radial-bdrahtet-25-mm-10-F-100-VDC-20--x-H-5-mm-x-11-mm-Yageo-SE100M0010AZF-0511-1-St?ref=list>

Die Gesamtkosten für das Projekt belaufen sich pro Person auf ca. 5 - 10 €. Hinzu kommt das teuerste Teil, der Lautsprecher. Es bietet sich an, diesen aus alten Geräten auszuschlachten oder z.B. bei www.pollin.de größere Mengen unterschiedlicher Lautsprecher im Sortiment zu kaufen. Sowohl 4 als auch 8 Ohm Lautsprecher sind für dieses Projekt tauglich. Nachdem der Verstärker nur ca. 1W Ausgangsleistung liefert, ist die Belastbarkeit sekundäres Kriterium.

2.6 Markterhebung



Kommerzielle Ansätze unterschiedlicher Hersteller zwischen 1980 und 2010.





Aktuelle kommerzielle I-Pod Gadgets.



Aktuelle Lösungen der internationale DIY-Szene (z.B. Make Magazine, Instructables)

3. Teil 2: Klangerzeugung: 'Optisches Theremin'

3.1 Sachanalyse

Das Theremin ist eines der ersten elektronischen Musikinstrumente sowie das einzige gebräuchliche, welches berührungslos gespielt wird. Tonhöhe und Lautstärke werden über die Annäherung der Hände an zwei Antennen kontrolliert, wobei der menschliche Körper als kapazitives Element Teil der Schaltung wird.

Der Name geht auf seinen Erfinder, den Russen Lew Sergejewitsch Termen zurück, welcher sich in den USA (auf Welttournee mit seinem Instrument) Leo(n) Theremin nannte und dort das "Thereminvox" 1928 patentieren ließ.

Dank Clara Rockmore, welche zur bekanntesten Thereministin der Welt wurde, wuchs der Bekanntheitsgrad des Instruments weiter. Im popkulturellen Kontext konnte sich das äußerst schwer zu spielende Instrument jedoch kaum durchsetzen. Seine Verwendung in 'good vibrations' von den 'beach boys' stellt die wohl bekannteste Ausnahme dar.

Leon Theremin verschwand 1938 aus New York unter mysteriösen Umständen. Jahre später stellte sich heraus dass er von der sowjetischen Geheimpolizei in die Sowjetunion verschleppt und zu kriegsrelevanter Arbeit genötigt wurde. Theremins wohl bekannteste Arbeit aus dieser Zeit ist der Spionageapparat 'the thing' (auch 'the great seal bug' genannt), eine Abhörvorrichtung, welche 1945 als 'Geschenk' an den Botschafter der Vereinigten Staaten in der Sowjetunion überreicht und erst 7 Jahre später durch Zufall enttarnt wurde.

Das optische Theremin unterscheidet sich in der Funktionsweise grundlegend vom Original. Tonhöhe (Frequenz) und Lautstärke (Amplitude) werden nicht über Näherung des Körpers an zwei Antennen bestimmt, sondern indem zwei Lichtsensoren (LDR bzw. light dependent resistor) mit den Händen abgedunkelt werden. Es ist somit abhängig von der ihn umgebenden Lichtsituation und kann nur eingeschränkt im Dunkeln gespielt werden.

Auch die Schaltung, welche der Klangerzeugung dient (Oszillator), ist wesentlich simpler als jene des Originals, wodurch geringere Änderungen der Klangfarbe (Timbre) möglich sind.

Trotz dieser Abstriche bleiben die wesentlichen Merkmale des ursprünglichen Theremins erhalten. Die berührungslose Spielweise ermöglicht einen intuitiven und spielerischen Zugang. Die Regeln, nach denen das Instrument gespielt wird, verschwimmen leicht mit experimentellen Zugängen (blinkende Fahrradlichter und rotierende Lüfter stellen großartige Modulationsmöglichkeiten dar).

3.2 Zielformulierung

Nachdem im ersten Teil das Lesen und Interpretieren eines Schaltplans im Zentrum der technischen Auseinandersetzung stand, soll nun direkt an der Schaltung experimentiert werden. Aufgrund der Vielfalt der Möglichkeiten liefert dieses Konzept hierfür nur Anregungen. Die konkrete Ausgestaltung sollte individuell gewählt werden. In jedem Fall jedoch folgt die Klangerzeugung (Synthese) denselben Grundprinzipien, wie sie auch bei kommerziellen analogen Synthesizern vorzufinden sind. Somit wird ein Grundverständnis elektronischer Signalbearbeitung und den entsprechenden Fachbegriffen wie Frequenz, Amplitude, Signalweg, Filter, Modulation etc. vermittelt.

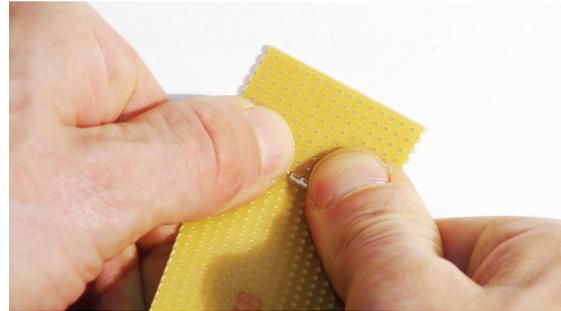
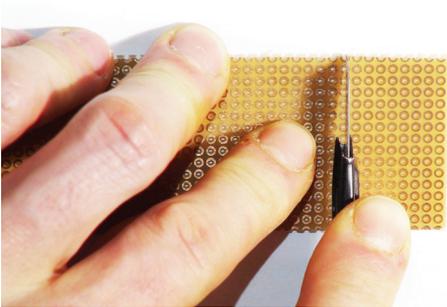
Durch Experimente mit der Schaltung lassen sich die Begriffe Spannung, Strom, Widerstand und Kapazität sowie deren Einheiten Volt, Ampere, Ohm und Farad begreifen und festigen.

Das Theremin als Ausgangspunkt dient als Öffner für stereotypische Vorstellungen von Musikinstrumenten. Eine Diskussion über die schwierige Unterscheidung von Lärm und Musik bietet sich an.

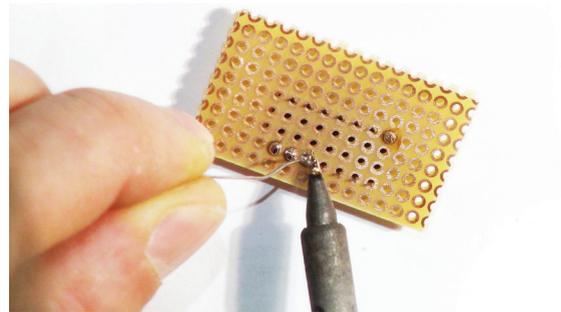
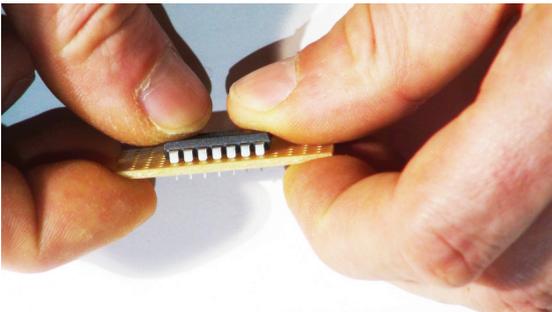
Neben der Schaltung selbst bieten auch die Bedienelemente (das Interface) des zu entwickelnden Instruments Möglichkeiten für Experimente. Der LDR (Lichtsensoren) kann durch Dreh- und Schieberegler, Druck- und Wärmesensoren oder Bleistiftzeichnungen ersetzt werden.

Schließlich sind Entwurf und Bau eines Gehäuses sinnvoll, da in den meisten Fällen Ergonomie und Haltbarkeit des Instruments maßgeblich von diesem abhängig sind. Teilnehmende Schüler können und sollen sich in diesem Kontext durchaus als Entwickler und Designer verstehen.

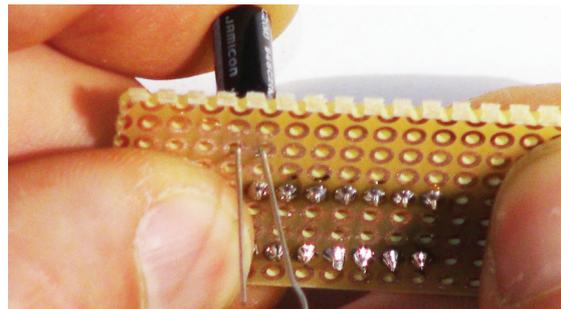
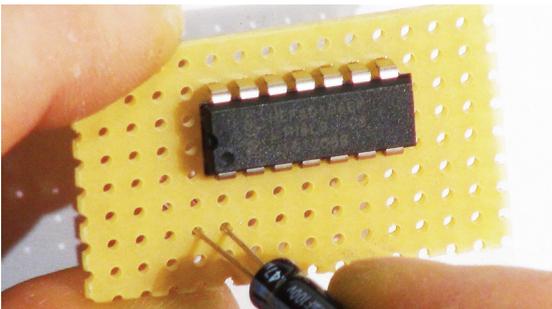
3.3 Persönliche Realisierung



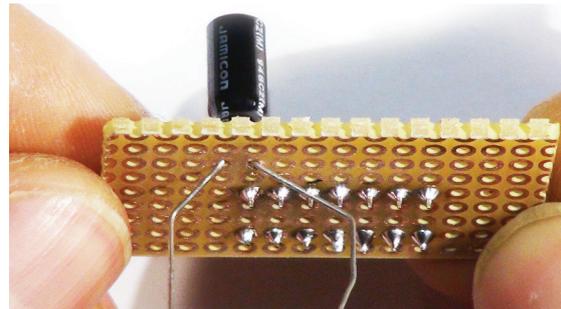
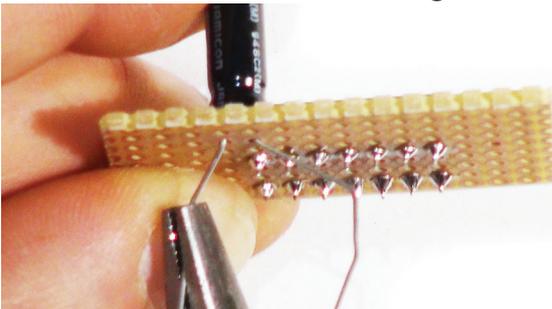
Zuschneiden der Lochrasterplatine durch Anritzen der gewünschten Größe auf der Kupferseite. Mit Druck entlang des Ritzes abbrechen.



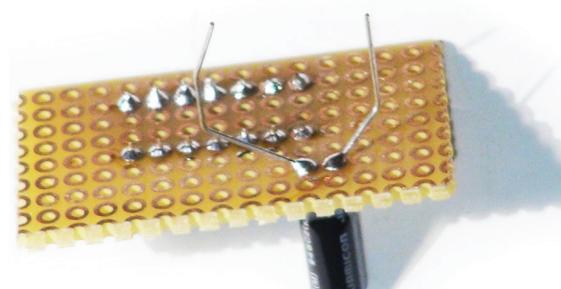
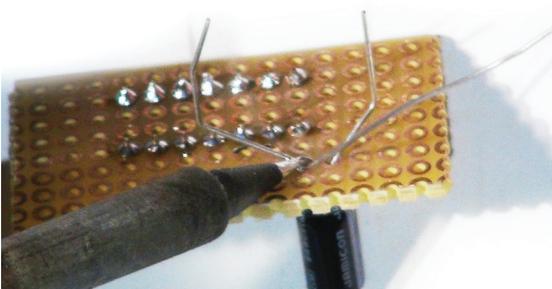
Platzieren und festlöten des Ics.



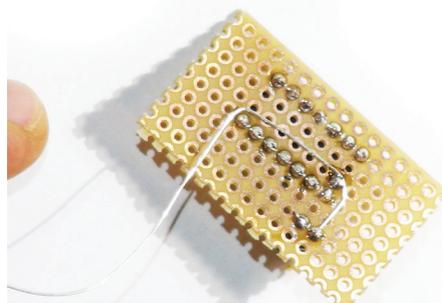
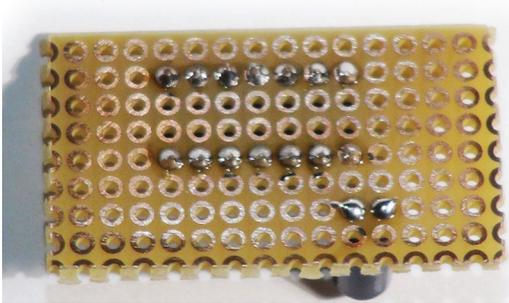
Platzieren des Kondensators. Gegebenenfalls (Elko) auf Polarität achten!



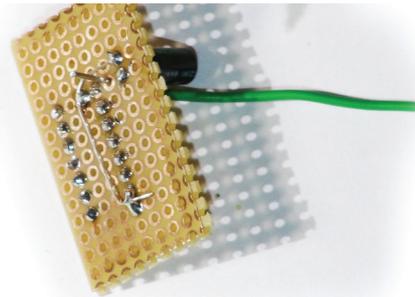
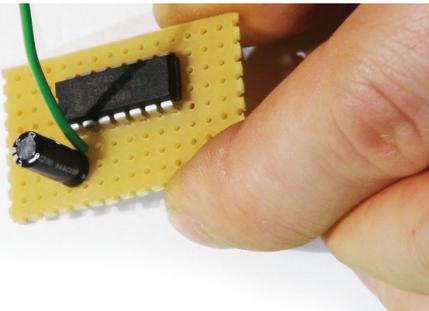
Fixieren der Kondensators durch umbiegen der Drähte. Mit Zange geht das besser.



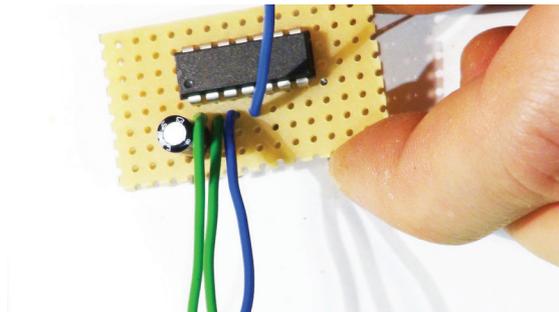
Festlöten des Kondensators. Anschließend abknipsen der Drähte mit einem Seitenschneider.



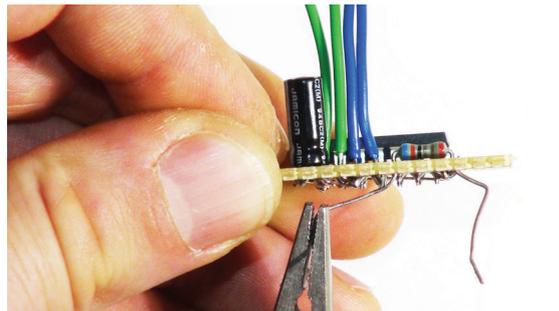
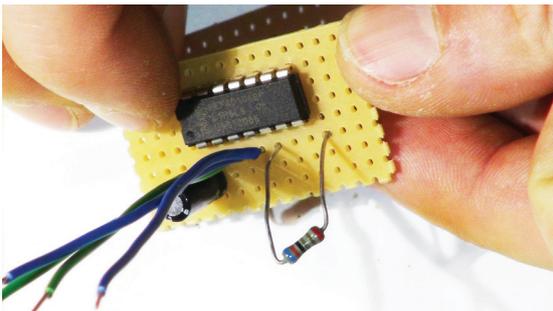
Zwischenresultat. Legen des Massebusses um den Minuspol des Kondensators mit Pin 7 des ICs zu verbinden.



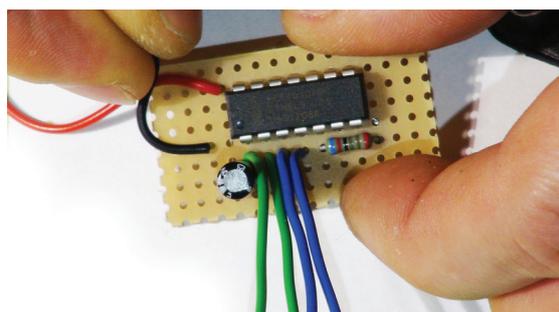
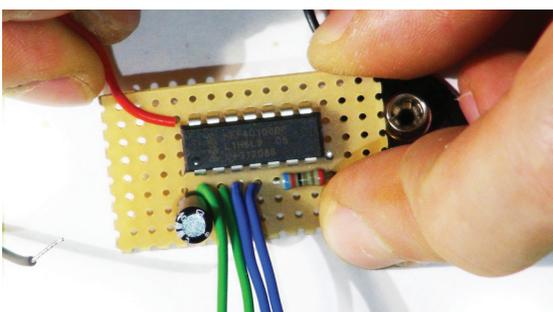
Drähte für den späteren Anschluss der LDRs vorbereiten und nach und nach festlöten.



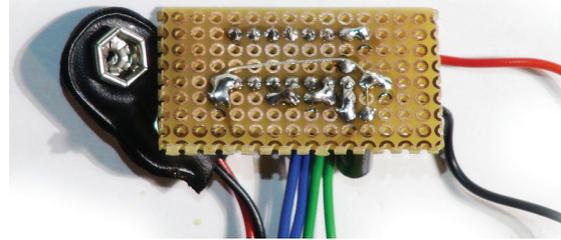
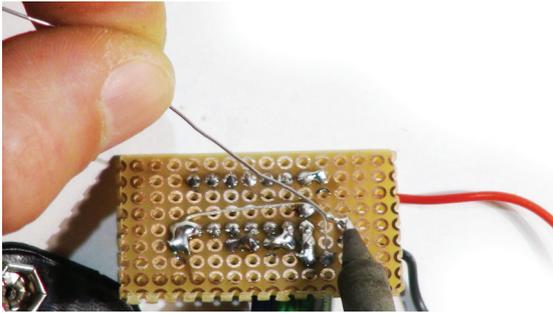
Überstehende Drähte nach dem Löten mit Seitenschneider kappen.



Platzieren des Widerstandes, fixieren durch verbiegen der Anschlussdrähte.



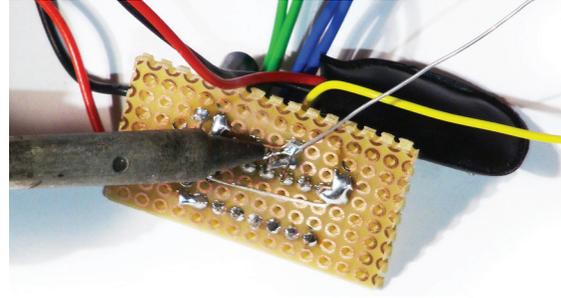
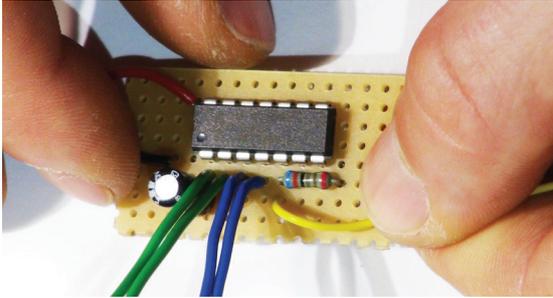
Anschluss der Stromversorgung. Verbinden des Pluspols (rot) mit Pin 14.



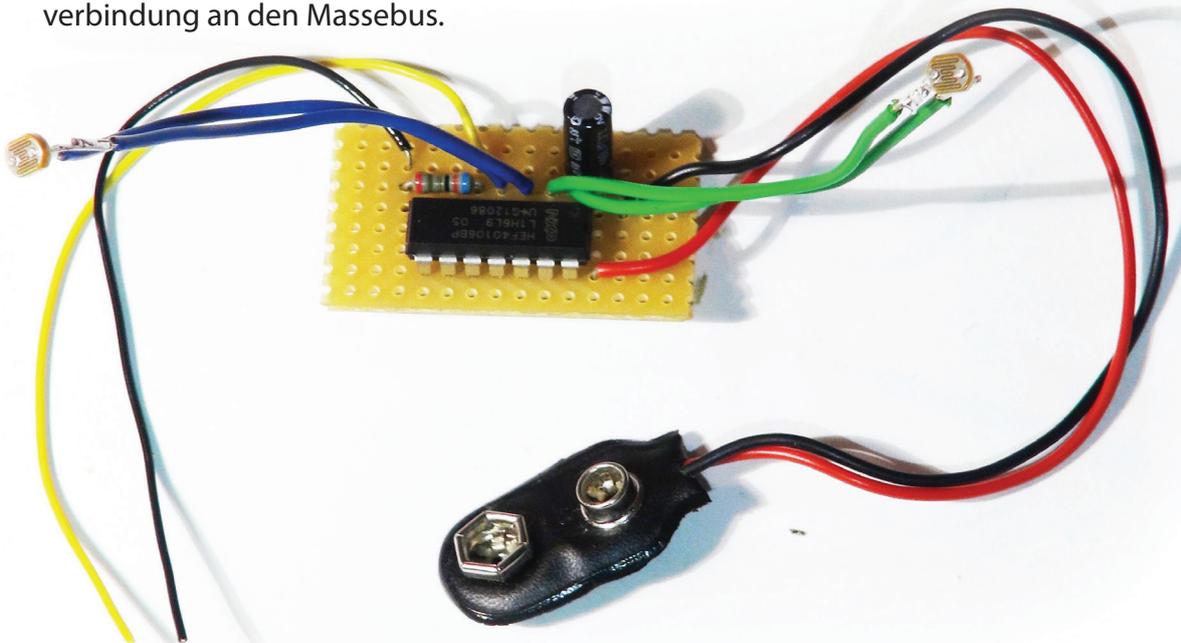
Sowie Anschluss des Minuspols (schwarz) an den Massebus



Anlöten der Lichtsensoren an die entsprechenden Anschlussdrähte.

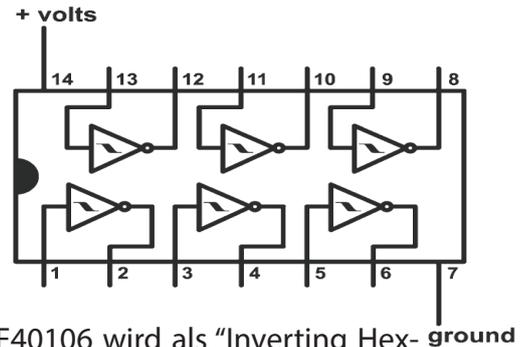
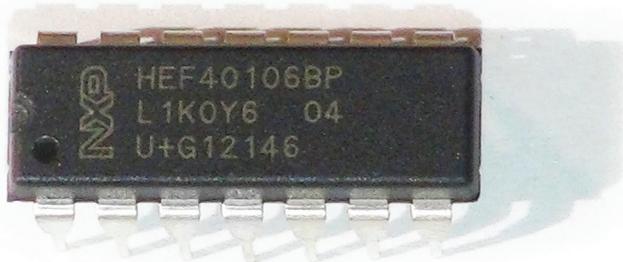


Abschließend Anschluss des Signalausgangs sowie der entsprechenden Masseverbindung an den Massebus.



Einbaufertiges Optisches Theremin.

1: Bauteile



Der IC (integrated circuit = integrierte Schaltung) HEF40106 wird als "Inverting Hex-Schmitt-Trigger" bezeichnet. Ein "Schmitt-Trigger" ist eine kleine Schaltung welche zum 'Säubern' digitaler Information verwendet wird. "Hex" bedeutet "Sechs" und "Inverting" steht für die Umkehrung der Information. In einem HEF40106 befinden sich also sechs kleine, unabhängige Schaltungen, die man zum Säubern digitaler Information verwendet.

Da ein Hex-Schmitt-Trigger ein sehr häufig benötigter IC ist, wird er von unterschiedlichen Herstellern fabriziert. Der Abgebildete IC ist von der Halbleiterfirma NXP und heißt HEF40106. Andere Firmen nennen ihn CD40106, TC4584 oder 74C14. Jeder der genannten ICs kann für die hier vorgestellte Schaltung verwendet werden. Wichtig ist jedoch sicher zu stellen, dass der IC mit 9 Volt (oder mehr) betrieben werden darf!

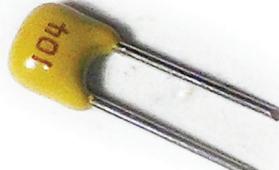
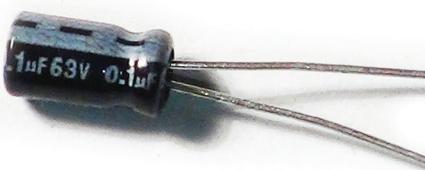
Achtung! ICs haben immer eine eingeprägte Kerbe und/oder einen eingepprägten Punkt, welcher die Orientierung nach links anzeigt!



Widerstände sind die einfachsten und am häufigsten verwendeten Bauteile der Elektrotechnik. Man verwendet sie, um Strom und Spannung gezielt zu regulieren.

Zunächst benötigen wir nur einen Widerstand mit dem Wert 100k Ohm. Das k steht für Kilo, also Tausend (Der benötigte Wert ist also 100 000 Ohm - vgl. Kilometer).

Den Wert eines Widerstandes kann man an seinen Farbringen ablesen oder mit einem Multimeter messen. Üblicherweise verwendete Widerstände besitzen Werte zwischen 100 Ohm und 1M (Mega = Million) Ohm.



Oben abgebildet sind zwei unterschiedliche Kondensatoren desselben Wertes: 0,1u Farad bzw. 100nF. Das u steht für mikro (es sieht dem griechischen Zeichen für mikro ähnlich) das n für nano. Der Kondensator links ist ein Elko (Elektrolytkondensator), der rechts ein Keramikondensator. Letztere sind sehr klein und haben deshalb meist einen Zahlencode statt einer ausgeschriebenen Beschriftung zur Bestimmung der Kapazität.

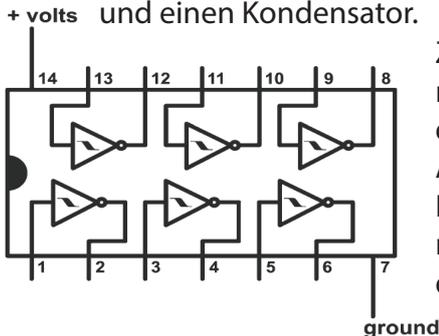
Für diese Schaltung können beide Typen gleich gut verwendet werden.

Ein Kondensator kann (ein bisschen wie ein winziger Akku) geladen und entladen werden. Da es dafür Zeit braucht, verhält sich ein Kondensator in einer Schaltung abhängig davon, wie schnell er geladen und entladen wird.

Manche Kondensatoren (z.B. Elkos) besitzen eine Polarität (eine 'Richtung') auf die geachtet werden muss! Die Polarität wird üblicherweise über ein Minuszeichen (oder ein Plus) auf dem Bauteil und in der Schaltung gekennzeichnet.

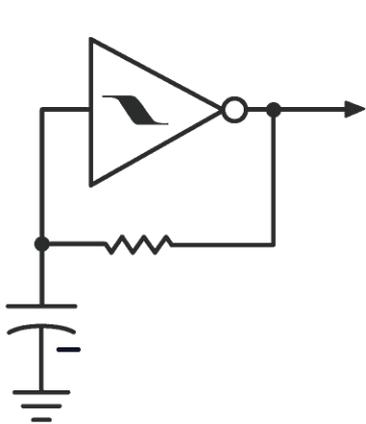
2: Grundschialtung Oszillator

Um mit dem 40106 einen Ton zu erzeugen, also einen Oszillator zu bauen, benötigt man abgesehen von der Stromversorgung nur noch zwei Bauteile: einen Widerstand und einen Kondensator.



Zunächst noch einmal zum IC selbst. Er wird über Pin 7 (Minuspole der Batterie / Masse bzw. ground) und Pin 14 (Pluspol der Batterie) mit Strom versorgt.

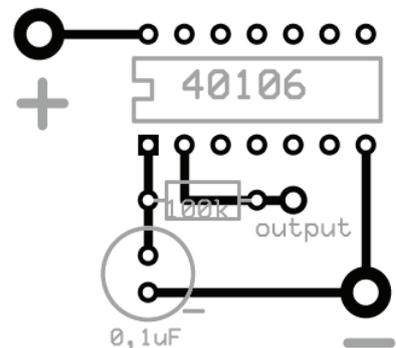
An den restlichen Pins ('Beinchen' des ICs) befinden sich die Ein- und Ausgänge der sechs Schmitt-Trigger. Ungerade nummerierte Pins sind die Eingänge, gerade nummerierte die Ausgänge.



Da wir für den Oszillator nur einen der sechs Schmitt-Trigger benötigen, wird im links abgebildeten Schaltplan der Rest des ICs weggelassen.

Ein Kondensator verbindet den Eingang eines Schmitt-Triggers mit Masse, also mit dem Minuspol der Batterie sowie Pin 7. Ein Widerstand verbindet den Eingang mit dem Ausgang.

Die Abbildung rechts zeigt einen möglichen Platinentwurf dieser Schaltung.



Der Schmitt-Trigger ist ein digitales Bauteil, d.h. er kennt nur zwei Zustände: an und aus. Die invertierende Funktion bedingt, dass der Ausgang immer das Gegenteil des Eingangs macht.

Liegt am Eingang Spannung an, wird der Ausgang auf Masse geschaltet.

Liegt der Eingang auf Masse, schaltet der Ausgang auf V+ (Versorgungsspannung).

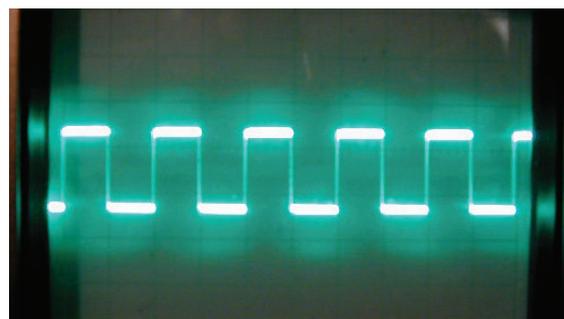
In dieser Schaltung passiert also Folgendes:

Am Eingang liegt zunächst keine Spannung an. Dadurch ist der Ausgang auf V+ geschaltet und es fließt ein durch den Widerstand begrenzter Strom zum Kondensator. Dieser lädt sich nun abhängig von seiner Kapazität mehr oder weniger schnell auf. Nach und nach steigt die Spannung am Kondensator.

Wenn die Spannung jenen Wert überschreitet, welchen der Schmitt-Trigger-Eingang als 'an' interpretiert, kehrt sich der Prozess um. Der Ausgang wird auf Masse geschaltet und der Strom fließt über den Widerstand wieder ab. Die Spannung am Kondensator sinkt bis zu jenem Wert, den der Schmitt-Trigger als 'aus' interpretiert...

Am Eingang des Schmitt-Triggers gibt es also eine schwankende, variable Spannung. Am Ausgang gibt es nur zwei Zustände: 0 Volt (Masse) und V+. Es entsteht eine Rechteckswelle.

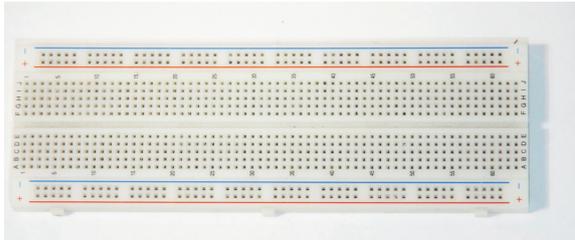
Schließt man den Ausgang dieser Schaltung an ein Oszilloskop an, erhält man ein Bild ähnlich der Abbildung rechts.



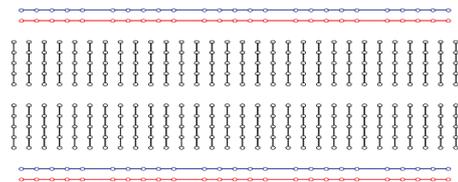
3: Aufbau der Schaltung auf einer Steckplatine

Eine Steckplatine, häufig auch breadboard genannt, ist ein Werkzeug für den Test und Prototypenbau von Schaltungen. Es besteht aus einem Kunststoffkörper mit Löchern, die im Standard-Raster (2,54mm) angeordnet sind. Die Löcher sind in einer bestimmten Anordnung untereinander elektrisch leitend verbunden.

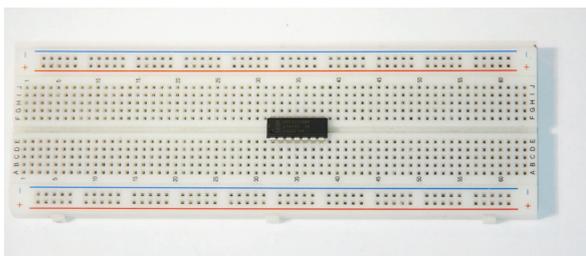
Die Bauteile werden nur gesteckt, bleiben dadurch unbeschädigt und können schnell ausgewechselt werden.



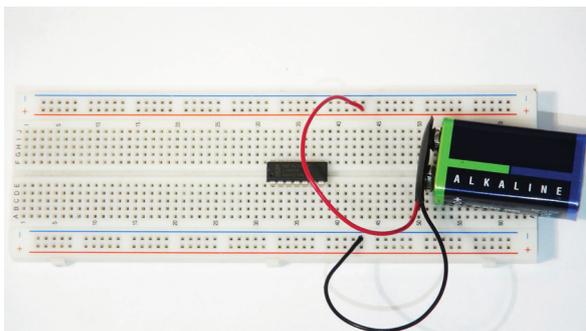
Ein typisches breadboard...



...und seine internen Verbindungen.



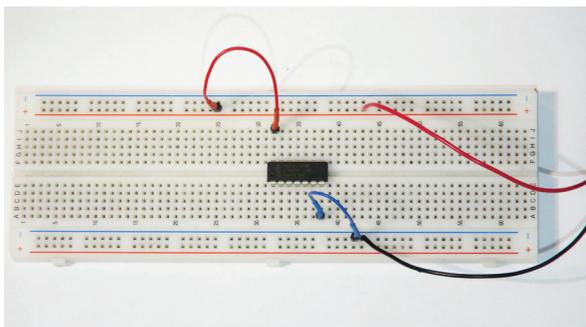
Platzieren des IC auf dem breadboard. Der IC muss über den horizontalen Spalt in der Mitte gesetzt werden, damit jeder Pin mit einer 'eigenen' Reihe an Löchern verbunden ist.



Beim Experimentieren mit Schaltungen benötigt man sehr häufig Verbindungen zu Masse und V+ (Versorgungsspannung).

Daher kann man diese gleich zu Beginn auf die Horizontalen Busse (rot und blau markiert) legen. So sind sie später überall auf der Platine leicht zugänglich.

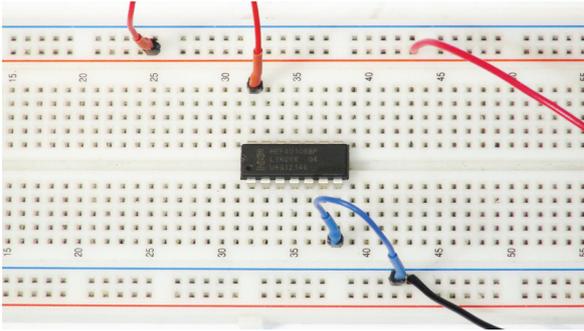
Als Bus bezeichnet man einen Kontakt an dem viele Bauteile angeschlossen sind.



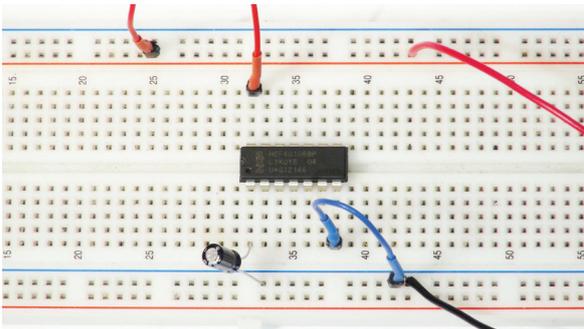
Damit der IC arbeiten kann, muss er mit Strom versorgt werden.

Dazu legt man eine Kabelbrücke von einem der Löcher des Massebusses zu einem der Löcher in der Reihe von Pin 7 (blaues Kabel). Entsprechend legt man eine Verbindung zwischen V+ und Pin 14 (rotes Kabel).

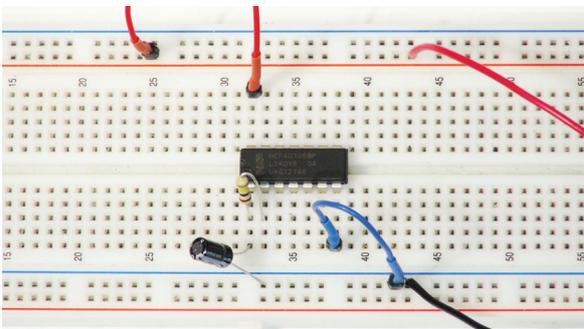
4: Vier Schritte zum 'Piep'



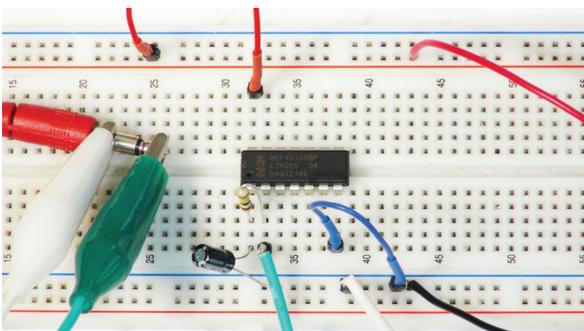
Der erste Schritt: die Stromversorgung des IC ist bereits erledigt.



Als Nächstes wird der Eingang eines Schmitt-Triggers (hier Pin 1) über den Kondensator mit Masse verbunden. Dazu steckt man einen Draht des Kondensators in die Reihe in der Pin 1 liegt, den anderen in den Massebus. Wenn man (wie hier) einen Elektrolytkondensator (Elko) verwendet, muss auf die Polung des Kondensators geachtet werden.



Das zweite Bauteil, der Widerstand, verbindet den Eingang des Schmitt-Triggers (Pin 1) mit seinem Ausgang (Pin 2). Das Stecken geht am leichtesten wenn man den Widerstand wie auf dem Bild zurecht biegt und dann die Anschlussdrähte kürzt.



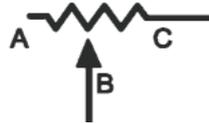
Die weiße Klemme verbindet den Schaft des Klinkensteckers (und damit auch die Masse des damit verbundenen Verstärkers) mit der Masseverbindung der Schaltung.

Um den bereits schwingenden Oszillator hören zu können, muss man seinen Ausgang mit einem Verstärker verbinden. Außerdem muss man auch die Masse der Schaltung mit der Masse des Verstärkers verbinden!

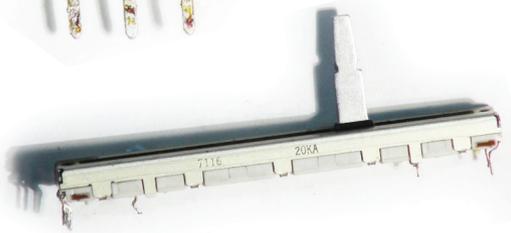
Diese Verbindungen wurden hier mit Krokodilklemmen gemacht. Die grüne Klemme verbindet den Ausgang des Schmitt-Triggers mit der Spitze des Klinkensteckers (dickes rotes Kabel).

5: Resistive Sensoren

Als Resistive Sensoren bezeichnet man elektronische Bauteile, welche sich durch die Möglichkeit der Veränderung ihres elektrischen Widerstandes auszeichnen. Diese Veränderung kann z.B. durch Licht, Druck, Wärme oder Bewegung beeinflusst werden.

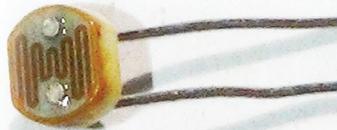


Meistens nimmt ein Potentiometer (kurz Poti) die Form eines Drehreglers an und verfügt über drei Anschlüsse. Zwei an den Enden der Widerstandsschicht (A und C) und einen (B), den variablen, welcher auf dieser Schicht gleitet. Je näher A an B ist, desto geringer der Widerstand zwischen A und B und desto größer jener zwischen B und C.



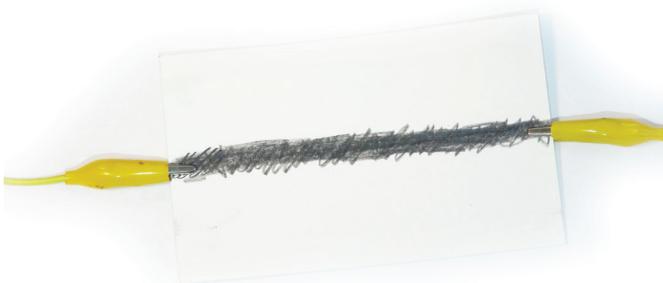
Ein Schieberegler ist ebenso ein Potentiometer, aber seltener, da es leichter ist, Löcher zu Bohren, als Schlitz zu fräsen.

Der in diesem Beispiel verwendete Poti hat einen Wert von 100k Ohm.



Ein LDR (Light dependent resistor = lichtabhängiger Widerstand) ist jenes Bauteil, welches den Theremin-Effekt bei der hier beschriebenen Schaltung ermöglicht. Sein Widerstand wird durch eintreffendes Licht verringert. Dies ermöglicht Dämmerungsschalter und automatische Displayhelligkeitssteuerung aber auch z.B. gestische Interfaces.

Auch Graphit leitet Strom in gewissem Maße. Dieses 'gewisse Maß' ist der Widerstand. Ein Bleistift enthält Graphit, je dunkler der Strich, desto mehr. Man kann also einen Widerstand auf Papier zeichnen. Bewegt man einen der Kontakte (Klemme) auf der Graphitschicht erhält man ein Potentiometer.



Als ESD-Schaum (ESD = electro static discharge) bezeichnet man einen schwach leitfähigen, da mit Metalloxid versetzten, schwarzen Schaumstoff.

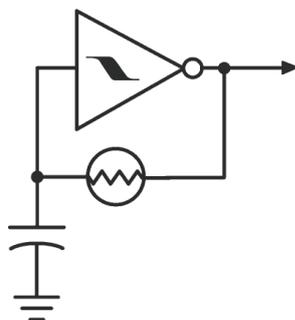
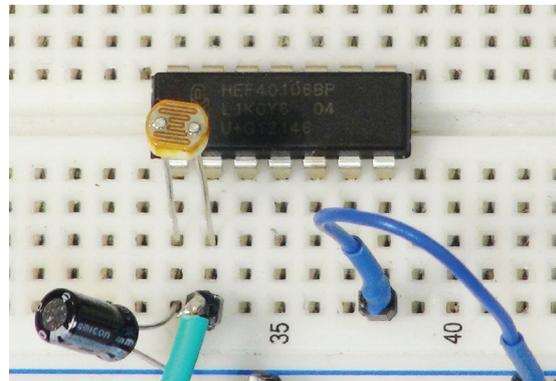
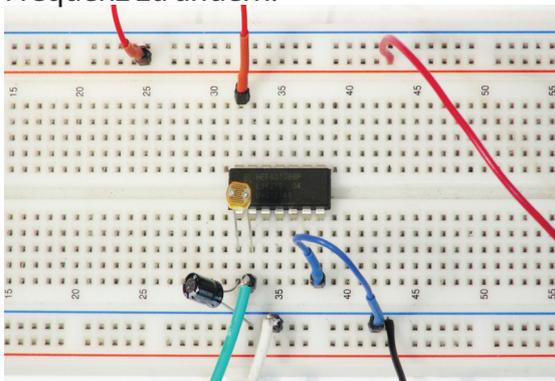
Eigentlich als Schutzverpackung für Elektrostatik empfindliche Bauteile gedacht, kann er mit zwei Elektroden (Drähten) versehen als Drucksensor zweckentfremdet werden. Daher gibt es (ebenso wie für die Bleistiftzeichnung) kein offizielles Schaltsymbol.

6: LDR und Potentiometer zur Tonhöhenveränderung

Zwei Faktoren bestimmen die Frequenz (die Tonhöhe) des Oszillators: die Kapazität des Kondensators und der Wert des Widerstandes.

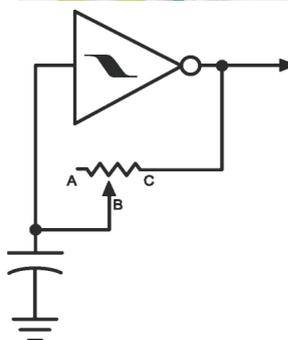
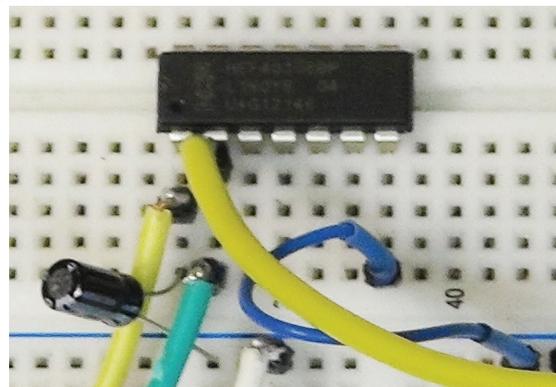
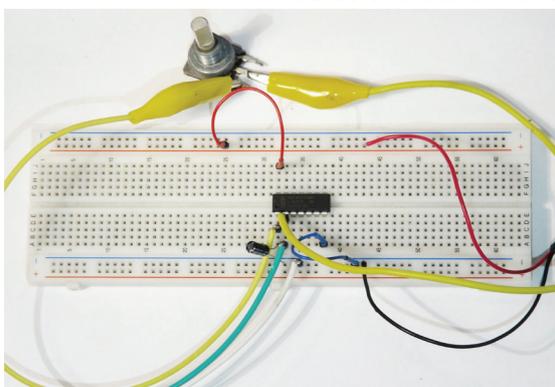
Einen Kondensator mit variabler Kapazität herzustellen ist ungleich schwieriger als einen variablen Widerstand herzustellen.

Hier verwendet man daher den Kondensator, um einen später unveränderlichen 'Bereich' einzustellen und den variablen Widerstand, um innerhalb dieses Bereiches die Frequenz zu ändern.



Tauscht man den 100k Widerstand durch einen LDR, verändert sich die Tonhöhe je nachdem, wie viel Licht auf den Sensor fällt. Fällt viel Licht auf die Oberfläche des LDRs, sinkt dessen Widerstand. Dadurch lädt und entlädt sich der Kondensator schneller und die Frequenz steigt. Der Ton wird also höher.

Falls der Ton als allgemein zu hoch empfunden wird, kann ein größerer Kondensator verwendet werden. Falls nur ein regelmäßiges Knacken zu hören ist, sollte ein kleinerer Kondensator verwendet werden.



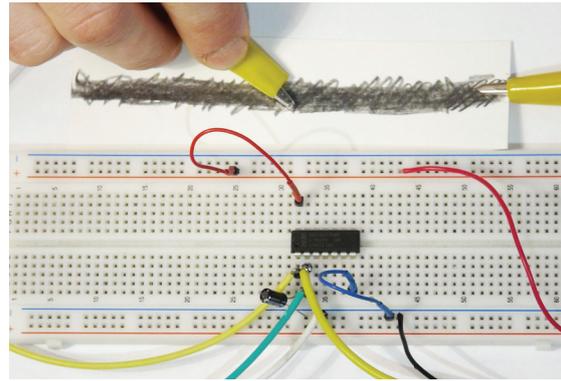
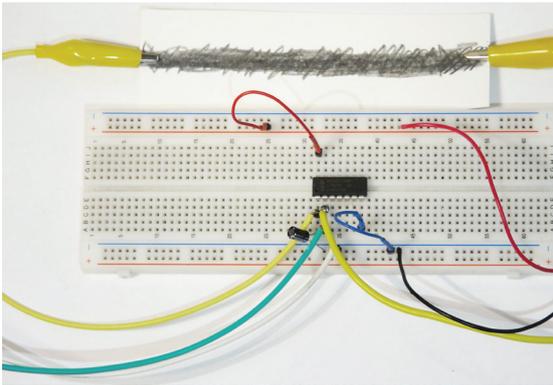
Wenn man den 100k Widerstand durch ein Potentiometer ersetzt, kann man die Tonhöhe verändern und auf einem gewünschten Wert halten (was mit dem LDR recht schwierig ist).

Da man ein Potentiometer nicht in die Löcher des breadboards stecken kann, braucht man eine Verlängerung:

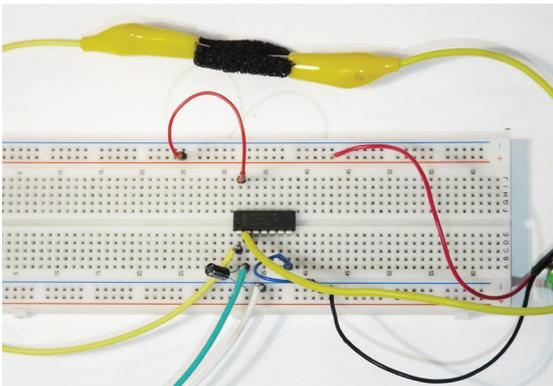
Zwei Kabel mit Krokodklemmen am Ende erleichtern das Experimentieren erheblich.

Der mittlere Anschluss (B) des Potentiometers muss verwendet werden. Die Wahl des anderen Anschlusses (A oder C) bestimmt die Drehrichtung, in welcher der Ton höher wird. Falls es als störend empfunden wird, dass der Ton an einem Ende sehr hoch (ggf unhörbar) wird, kann ein Widerstand mit festem Wert (Startwert zum Experimentieren 10k) in Reihe zum Potentiometer gegeben werden (Also zwischen Ausgang des Schmitt-Triggers und Anschluss C des Potis).

7: Graphit, ESD-Schaum und Hautleitfähigkeit

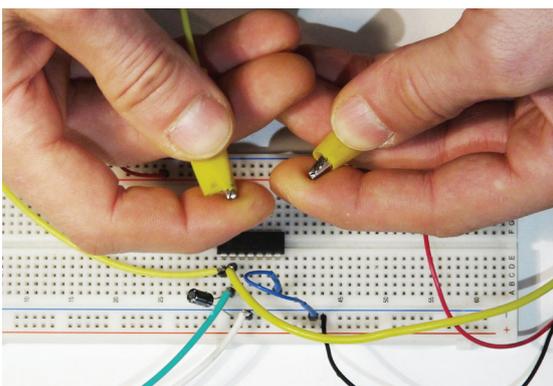


Im nächsten Beispiel wird die schwache Leitfähigkeit von Graphit genutzt, um die Frequenz zu modulieren. Man zeichnet mit einem weichem Bleistift eine Bahn auf ein Stück Papier. Je dichter die Bahn, desto niedriger ihr Widerstand und damit der Ton. Bewegt man eine der Klemmen auf der Graphitbahn, kann man den Widerstand wie bei einem Potentiometer variieren.



Mit einem Stück ESD-Schaum als variablem Widerstand lässt sich die Tonhöhe durch Druck verändern.

Drückt man den Schaumstoff mit den Krokoklemmen zusammen, so verdichtet man dadurch die Metalloxidteilchen zwischen den Kontakten und reduziert dadurch den Widerstand. Lässt man los, dehnt sich der Schaumstoff wieder aus und der Ton wird wieder tiefer.



Da unsere Haut ein wenig leitet, kann auch diese Hautleitfähigkeit als variabler Widerstand verwendet werden.

Berührt man die beiden Kontakte, wird man Teil der Schaltung. Der Strom fließt nun über den Körper. Da der Strom aus einer Batterie mit geringer Spannung kommt, ist dies ungefährlich.

Drückt man fester, oder befeuchtet man die Kontaktstelle, wird der Widerstand

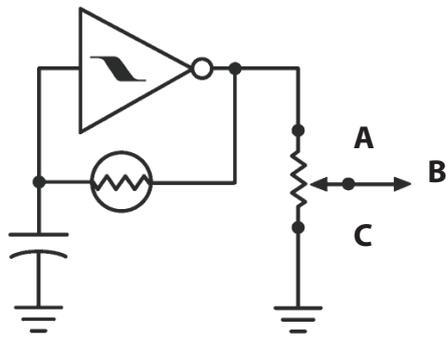
geringer und die Frequenz höher. Wenn man den Kondensator klein genug wählt, funktioniert das auch über mehrere Körper, die sich berühren.

Auf diese Weise können auch viele andere Materialien als Widerstand in dieser Schaltung dienen. Videobänder und alte Disketten (Floppy) besitzen eine schwach leitende Metalloxid-Schicht. Salzwasser stellt eine weitere Alternative dar.

8: Lautstärkenkontrolle über Poti und LDR

Vereinfacht dargestellt besitzen Musikinstrumente (abgesehen von perkussiven Instrumenten) zwei grundlegende Eigenschaften: Zum Einen die Möglichkeit der Frequenzmodulation, welche das Spielen einer Melodie ermöglicht. Zum Anderen die Eigenschaft der Amplitudenmodulation, also die Möglichkeit, die Lautstärke des gespielten Tons zu regulieren.

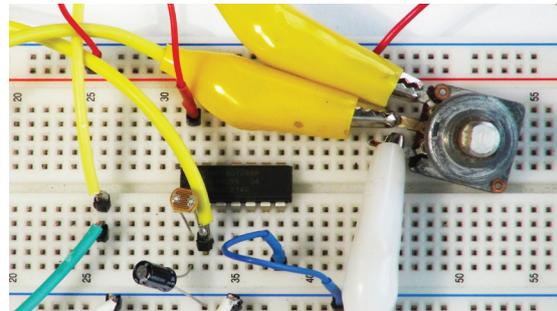
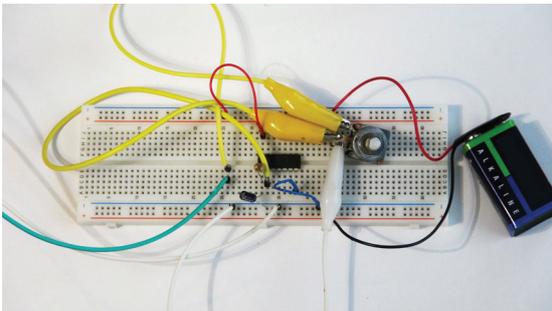
Um die zweite Eigenschaft in dieser Schaltung zu realisieren, muss eine Möglichkeit geschaffen werden, die Intensität des Signals gezielt zu verringern. Am leichtesten verständlich wird dies über den Einsatz eines Potentiometers am Ausgang des Oszillators.



Anschluss A des Potis wird mit dem Ausgang des Oszillators verbunden und entspricht maximaler Lautstärke. Anschluss C wird mit Masse verbunden und entspricht Stille.

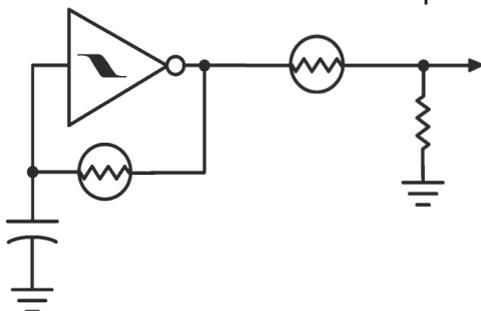
Dreht man am Poti, so bewegt man Anschluss B weg von einem und hin zum anderen Pol. Es wird also ein Verhältnis zwischen den beiden Polen eingestellt.

Der hier verwendete Poti hat einen Wert von 10k.



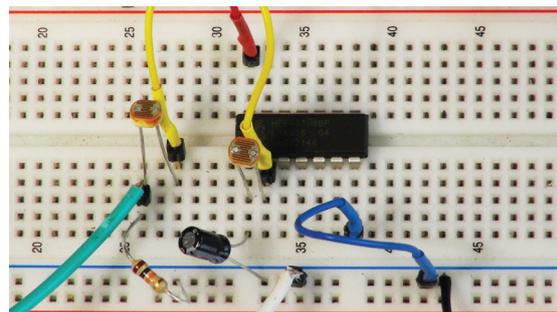
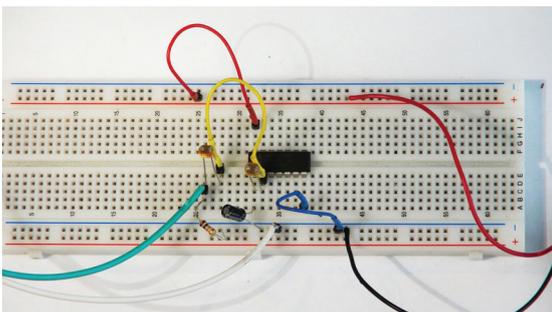
Der Poti wird hier als sogenannter Spannungsteiler eingesetzt. Befindet sich der Poti in Mittelposition - der Widerstand zwischen A und B ist gleich dem Widerstand zwischen B und C - so wird eine an A angelegte Spannung im Punkt B halbiert. Man kann sich den Poti als zwei Widerstände in Reihe vorstellen, wobei Anschluss B die Verbindung der beiden ist.

Der erzeugte Ton ist physikalisch betrachtet eine Spannung, die sehr schnell zwischen 0 Volt und 9 Volt wechselt. Und auch diese Wechselspannung kann geteilt werden. Weniger Spannung bedeutet ein geringeres Signal und damit ein leiserer Ton.

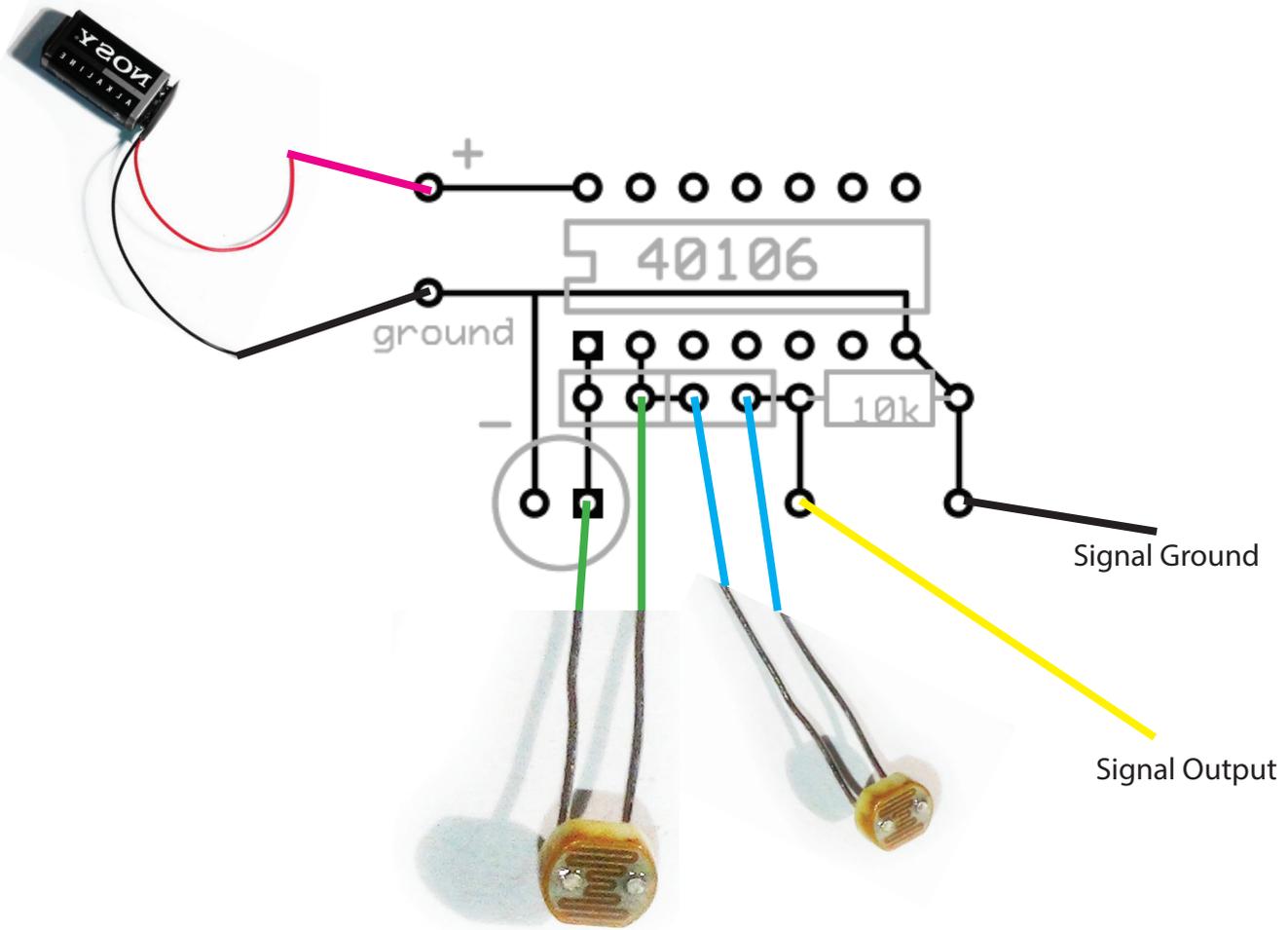


Will man denselben Effekt mit einem LDR erzielen, benötigt man einen zusätzlichen Widerstand, um einen Spannungsteiler zu bauen. Da sich dieser Widerstand nicht - wie beim Poti - automatisch mit verändert, ist sein Wert wichtig.

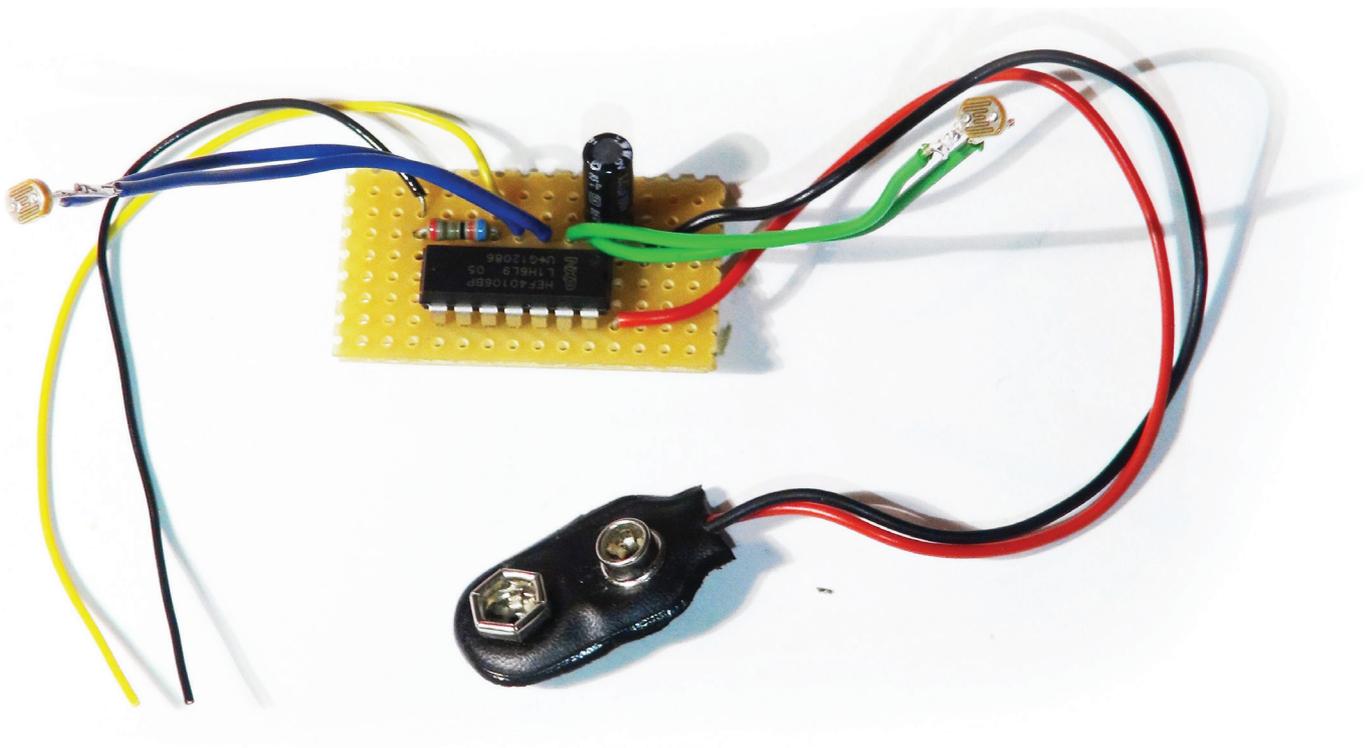
10k ist ein guter Startwert zum Experimentieren, den 'richtigen' Wert gibt es jedoch nur für eine bestimmte Lichtsituation, die den Minimalwert ('Hell-Wert') des LDRs bestimmt.



9: Beispiel Grundschtaltung optisches Theremin



=



3.5 Materialliste und Bezugsquellen

HEF40106, TC4584, 74C14 (auf DIL Ausführung und Betriebsspannung >9V achten!) :
Ca. 0,30€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/155648/?insert=62&insertNoDeeplink&productname=Logik-IC-ST-Microelectronics-HCF40106BEY-Gehaeuseart-DIP-14-Ausfuehrung-HEX-Schmitt-Triggers>

Sortimente: Widerstände, Elkos, LEDs, Lochrasterplatine:

Da die verwendeten Bauteile je nach Anwendung variieren empfiehlt sich die Anschaffung mehrerer Sortimente

Ca. 50€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/420040/Einsteigerset-Klein-Kohleschicht-Widerstands-Sortiment-mit-390-Teilen-Praktiker-Elektrolytkondensator-Set-mit-142-Teile>

Kleine Keramik oder Kunststoff-Kondensatoren:

Um in dieser Schaltung auch mit großen Widerständen (Hautleitfähigkeit, ESD-Schaum) arbeiten zu können, benötigt man Kondensatoren mit kleineren Werten:

Ca. 100€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/444122/Laborsortiment-Keramik-Kondensatoren-COC-CC-32-1-nF-1-F-50-V>

Dieses Sortiment beinhaltet den, für dieses Projekt, relevanten Wertebereich, ist jedoch teuer. Falls es billiger gehen muss, empfiehlt es sich 100 Stück 10nF sowie 100 Stück 100nF Keramik Kondensatoren zu kaufen.

10k Ohm Potentiometer:

Ca. 2,00€

<http://www.conrad.de/ce/de/product/440891/Weltron-Potentiometer-mit-glatte-60-mm-Achse-WP20CS-08-60F1-10K-20-LIN-M10-x-8-mm-Lin-10-k-04-W-20->

100k Ohm Potentiometer:

Ca. 2,00€

<http://www.conrad.de/ce/de/product/452811/TT-Electronics-AB-Leitplastik-Potentiometer-16-mm-P160KN-0FC20-B-100-KR-seitlich-einstellbar-lin-100-k-20->

ESD-Schaumstoff:

Ca. 0,50€

<http://www.conrad.de/ce/de/product/394612/Elektrostatisch-ableitfaehiger-Schaumstoff-ESD-L-x-B-x-H-138-x-55-x-5-mm-Schwarz>

LDRs:

Ca. 1,00€

<http://www.conrad.de/ce/de/product/145475/Fotowiderstand-A-9060-Gehaeuseart-5-mm>

9V-Block-Klemme:

Ca. 0,50€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/624691/Batterieclip-fuer-9-V-Block-I-Ausfuehrung-L-x-B-x-H-26-x-13-x-8-mm>

9V-Block-Batterie:

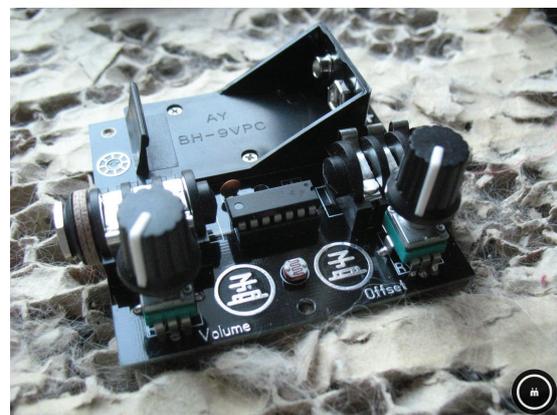
Ca. 2,00€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/650411/Agfa-Alkaline-9V-Block-Batterie-9-V-6LR61-6LR21-6AM6-6LP3146-MN1604-A1604-E-Block-LR22-522-6LF22-1604A-K9V-6>

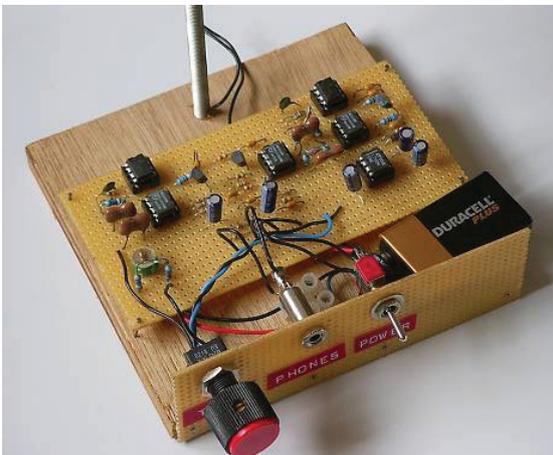
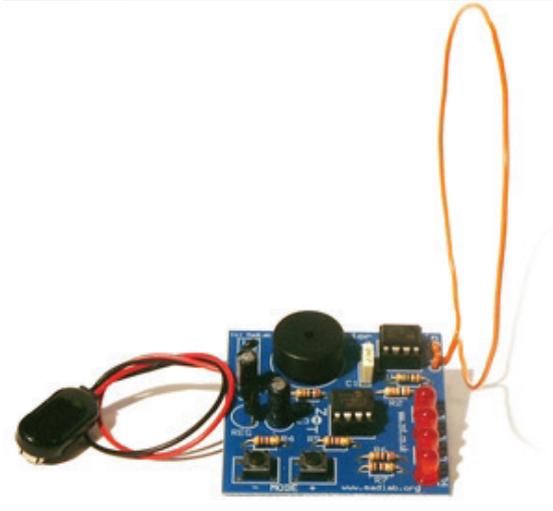
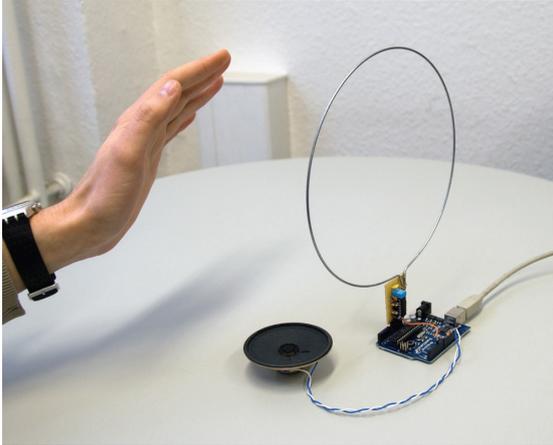
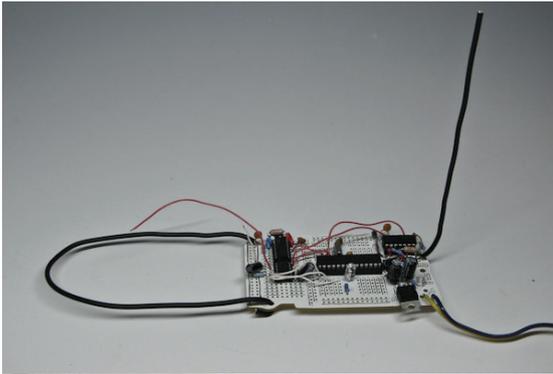
2.6 Markterhebung



Das Original Theremin von RCA und aktuelle kommerzielle Theremine von Moog und Gakken.



Kommerzielle kapazitive (l) und optische (r) Theremine unterschiedlicher Hersteller.



Kapazitive (l) und optische (r) Theremine der internationalen DIY-Szene (Arduino, Madlab, Make)

4. Resultat der persönlichen Realisierung

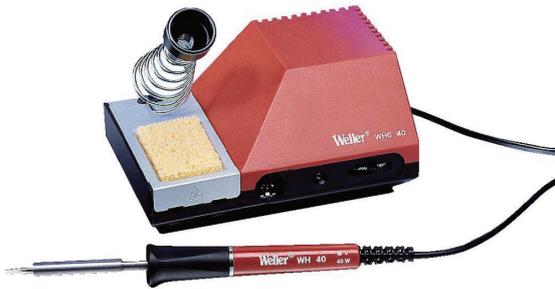


Das Resultat beider Teile des Unterrichtskonzepts. Die Verstärkerschaltung mit Klinkeingang zusammen mit der Grundschaltung des optischen Theremins in einem Gehäuse aus Karton.

Erweitert wurde die Schaltung um eine LED und zwei Schalter. Ein Schalter schließt oder trennt den Pluspol der Batterie, ist also Ein/Aus-Schalter des Systems. Die LED leuchtet wenn dieser Schalter geschlossen ist. Der zweite Schalter wechselt den Input des Verstärkers zwischen Klinkebuchse und Theremin-Ausgang.

Die Schachtel kann daher Laptop-Lautsprecher oder Instrument sein.

5. Arbeitsmaterialien und Werkzeug



Lötstation: empfehlenswert sind Lötstationen namhafter Hersteller (Weller, Ersa...)

Ca. 100€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/830348/Weller-Loetstation-Starterset-WHS-40-Analog-T0056806670-230-VAC-50-Hz-Leistung-40-W-Temperaturbereich-200-450-C?queryFromSuggest=true>



Etwas günstiger sind HandlötKolben. Wie bei Stationen auf Qualität achten!

Ca. 30€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/810207/Weller-Mini-2000-Loetkolben-WM-20-L-0056816199-230-VAC-Leistung-20-W>



Lötzinn: Bleifreies Lötzinn entwickelt wesentlich mehr schädliche Dämpfe als bleihaltiges. Letzteres ist daher vorzuziehen. Dünne Durchmesser (0.5mm) erleichtern das Dosieren.

Ca. 10€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/812803/Stannol-Elektronik-Loetdraht-Spule-Gewicht-100-g-Durchmesser-05-mm-Legierung-Sn60Pb39Cu1>



Lötspitzenreiniger: Die Dry-Clean Variante (Messingwolle) ist befeuchteten Schwämmchen zum Säubern von Lötspitzen vorzuziehen.

Ca. 5€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/588819/TOOLCRAFT-Trockenreiniger-Dry-Cleaner-AT-A900>



Besonders bei häufigem Einsatz oxidieren Lötspitzen schnell und das Löten wird erheblich erschwert. Lötspitzenverzinner schaffen Abhilfe und verlängern die Lebensdauer der Lötspitzen.

Ca. 10€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/588267/Stannol-Bleifrei-ECOLOY-Tippy-Inhalt-12-g>



Entlötsaugpumpe: Falls zuviel Lötzinn einen Kurzschluss verursacht, kann man dieses einfach mit einer Entlötpumpe entfernen. Auch das Entfernen bereits festgelöteter Bauteile wird hiermit erleichtert.

Ca. 10€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/588233/TOOLCRAFT-Entloetsaugpumpe-ESD-ZD-108>



Seitenschneider: Zum Abschneiden überstehender Drähte an der Platine benötigt man einen kleinen Seitenschneider. Knipex produziert diese in hoher Qualität. Ca. 20€

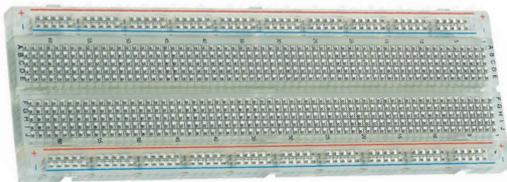
<http://www.conrad.at/ce/de/product/822327/Electronic-Super-Knips-Knipex-78-71-125-Typ-78-71-125-Ausfuehrung-Ohne-Facette-mit-Drahtklemme-Schneidwerte-max-Weich>



Multimeter: Unbedingt notwendig beim Arbeiten mit Elektrotechnik ist ein Multimeter. Man verwendet es zur Durchgangsprüfung sowie zum Messen von Spannungen und Strömen. Fast alle Multimeter auf dem Markt verfügen über diese Standardfunktionen.

Ca. 20€

<http://www.conrad.at/ce/de/product/124401/VOLTCRAFT-VC130-Digital-Multimeter-VC100-Serie-2000-Counts-CAT-III-250-V>



Steckplatine: Unerlässlich zum Experimentieren mit Bauteilen und Schaltungen.

Ca. 2-10 €

<http://www.conrad.at/ce/de/product/531326/Steckplatine-830polig-Steckplatine-L-x-B-x-H-1651-x-546-x-94-mm-Anzahl-Polklemmen-830>

Weitere regelmäßig verwendete Werkzeuge: Zangen, Schraubendreher, Cutter-Messer, Kleber, Schleifpapier, Pinzetten, Bohrer etc.

Ebenfalls notwendig sind Verbrauchsmaterialien wie Drähte und Litzen in unterschiedlichen Farben, blanker verzinnter Kupferdraht (Durchmesser 0,5mm), Isolierband und Schrumpfschläuche, Klebebänder und Kleber.

6. Quellen und weiterführende Informationen

Boom Box:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Radiorekorder>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Boombox#History>

Lautsprecherbau:

<http://www.visaton.de/vb/>

<http://www.hifi-forum.de/>

<http://www.lautsprecherbau.de/>

<http://speakercase.de>

Theremin Historisch:

“theremin - an electronic odyssey”

Empfehlenswerte Dokumentation über die Kulturgeschichte des Theremins.

Trailer: <http://www.youtube.com/watch?v=fAOpVAHwLic>

http://de.wikipedia.org/wiki/Leon_Theremin

http://de.wikipedia.org/wiki/Clara_Rockmore

<http://de.wikipedia.org/wiki/Theremin>

http://en.wikipedia.org/wiki/Thing_%28listening_device%29

CMOS Synth:

Die Schaltung für das optische Theremin ist eine von vielen Versionen eines CMOS-Synthesizers. Folgende Seiten stellen weitere Audio-Experimente mit CMOS-Chips vor:

http://milkcrate.com.au/_other/sea-moss/

http://www.bevisaudio.com/Projects/CMOS_Synthesizers/

Theremin Foren und Bezugsquellen:

<http://www.theremin.info/>

<http://www.soundlikeburns.com/>

<http://www.thereminworld.com/>

Elektronik Software:

<http://falstad.com/circuit/>

Hervorragender Java-Simulator für analoge-Elektronik. Freeware.

<http://www.expresspcb.com/>

Einfache Freeware zum Zeichnen von Schaltdiagrammen und Platinenlayouts.

Elektronik Autoren:

<http://www.nicolascollins.com>

“Handmade Electronic Music - The Art of Hardware Hacking” bietet unkomplizierte, verblüffend einfache Anleitungen für Experimente mit Audio- und Videoelektronik. Dieses pdf basiert auf dieser wunderbaren Arbeit von Nicholas Collins. Empfehlung !!!

Handmade Electronic Music - The Art of Hardware Hacking
ISBN-13: 978-0415998734

<http://www.forrestmims.org/publications.html>

Forrest Mims III hat eine schier endlose Liste an “elektro-how-to’s” verfasst. Seine Handbooks findet man als gratis Pdfs im www. Viele einfache, gut angeleitete Experimente.

Elektronik-affine DIY Plattformen :

Aktuelle DIY-Plattformen. Auf den Seiten nach Interessanten Tutorials suchen.

<http://www.instructables.com>

<http://blog.makezine.com/projects/>

Elektronik Foren und Lernplattformen:

<http://www.diyaudio.com/forums/>
Viele Schaltungen und Anleitungen. Forum.

<http://electro-music.com/forum/>
Synthesizer Forum. Große DIY-Community.

<http://www.allaboutcircuits.com/>

<http://www.electronics-tutorials.ws/>
Sehr gute Elektronik-Lernplattformen.

<http://sound.westhost.com/projects.htm>
Konkrete Audio-Elektronik-Projekte mit Hi-Fi-Anspruch.

<http://www.redcircuits.com/>
Sammlung an Hilfreichen und gut Dokumentierten Schaltungen.

Elektronik Versandhändler:

<http://www.conrad.at/ce/>

<http://www.reichelt.de/>

<http://www.segor.de/>

<http://at.rs-online.com/web/>

<http://at.farnell.com/>

<http://www.uk-electronic.de/onlineshop/index.php/>

<https://www.musikding.de/>

<http://www.physicalcomputing.at/>

<http://www.watterott.com/>

Alle links Stand 03.06.2013