

Moderne Elektronik mit professioneller Platinenfertigung

Die Serienfertigung von Platinen ist die unbedingt notwendige Voraussetzung, um moderne Elektronik in der Schule betreiben zu können und so Schülerinnen und Schüler auf den Beruf vorzubereiten. Praktische Schaltungen aus allen Bereichen der Elektronik machen nicht nur den Unterricht interessant, sondern vermitteln auch Freude an der Elektronik.

Platinenfertigung in Theorie und Praxis

Zeichenmethode	2
Fotomethode - Basismaterial	3
Fotomethode - Layout	4
Belichten und Entwickeln	5
Ätzen der Platine	7
Reinigen - Bohren - Schutz vor Oxydation	9

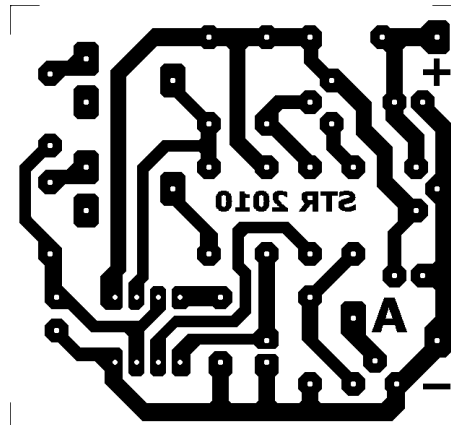
Auswahl an praktischen Schaltungen

Astabiler Multivibrator - Wechselblinker	10
Alarmanlage - Anti-Grapsch	11
Klein-Ladegerät für NiCd- und NiMH-Akkus	12
Netzgerät LM 317	14
Mini-Detektiv (Verstärker)	16
Infrarot-Signalübertragung (Sender + Empfänger)	17
MC-Würfel (programmierbar)	19

Weitere Schaltungen als pdf-Dateien befinden sich auf der Schulhomepage
www.pts-grieskirchen.at/unsere-fachbereiche/elektrotechnik/elektro-downloads

Dir. Josef Straßhofer
Polytechnische Schule
Roßmarkt 5
A-4710 Grieskirchen

www.pts-grieskirchen.at
pts@pts-grieskirchen.at



Platinenfertigung ... Zeichenmethode

Eine traditionelle und **einfache Methode** der Platinenfertigung ist die **Zeichenmethode**. Gegenüber dem Aufbau von elektronischen Schaltungen auf Lötpunktraster oder Lötstreifen kann bei der Zeichenmethode die Schaltung **wesentlich übersichtlicher** gestaltet werden. Allerdings ist nur die Anfertigung von **Einzelstücken** möglich. Will man mehrere Platinen derselben Schaltung herstellen, so muss jede Platine extra gezeichnet werden.

Vorlage für die Zeichenmethode

Üblicherweise entwirft man die Vorlage (Layout) von der Bauelementaufteilung her etwas großzügiger, damit beim Zeichnen zwischen den Leiterbahnen ein größerer Abstand besteht. Die **Platine** wird dabei insgesamt natürlich **etwas größer**. Da mit der Zeichenmethode wegen der Linienführung und der Zeichenstiftbreite nicht auf sehr engem Raum gearbeitet werden kann, ist es nicht empfehlenswert, bei Schaltungen mit Integrierten Schaltkreisen mit dieser Methode zu arbeiten.

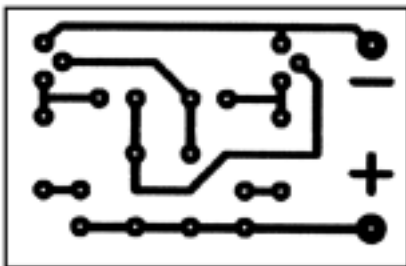
Entwurf von Platinenlayouts

Platinenlayouts werden immer so entworfen, als würde man von der **Bauelementeseite** - also von oben - (= Bestückungsseite) auf die Platine blicken. Im Prinzip wird also der Schaltplan im verdichteter Form als Layout umgesetzt. Die **Kupferseite** ist demnach die **Rückseite** der Platine.

Hält man eine fertige lichtdurchlässige Platine gegen das Licht, so scheinen die Kupferbahnen durch, wobei dieses durchscheinende Bild dem ursprünglichen Layout entspricht und somit dem Schaltplan ähnlich ist.

Bei der **Zeichenmethode** wird direkt auf die **Rückseite** (= Kupferseite) der Platine gezeichnet. Dabei muss das **Layout spiegelverkehrt** vorliegen.

Die folgende Abbildung zeigt ein derartiges um die **x-Achse gespiegeltes Layout** eines Astabilen Multivibrators (Wechselblinker) als Vorlage für die Zeichenmethode.



Liegt ein **Layout nicht spiegelverkehrt** vor, so kann es mit dem **Computer** gespiegelt werden. Eventuell ist es einfacher, die **Lötunkte** und **Leiterbahnen** provisorisch auf die **Rückseite** des Blattes, auf dem sich das Layout befindet, **durchzeichnen**. Dazu genügt es, das Blatt Papier verkehrt auf ein Fenster zu legen, sodass Lötunkte und Bahnen durchscheinen.

Arbeitsschritte - Zeichenmethode

- 1) Platine auf die **richtige Größe** mit feinem Laubsägeblatt (Metall-Laubsägeblatt) zuschneiden und die Ränder mit einer ebenfalls feinen Feile **entgraten**.
- 2) Platine mit Putzmittel und feiner Bürste sorgfältig **reinigen**. Die Kupferfläche muß glänzen.
- 3) Platine mit Papiertaschentuch abwischen und einige Minuten **trocknen** lassen.
- 4) Platine mit **zwei Klebestreifen** auf der Rückseite des Layouts fixieren. Die **Kupferseite** liegt dabei **auf dem Papier** auf!
- 5) **Löcher**, die nach dem Ätzen gebohrt werden, mit **spitzem Gegenstand** (Spitzbohrer, spitz geschliffener Nagel, Pinnagel, ...) **auf die Kupferfläche übertragen**, indem durch den Platinenentwurf **durchgestochen** wird. Nicht mit Gewalt; eine kleine Markierung genügt.
- 6) Platine vom Papier **ablösen**. Die Kupferfläche jetzt auf keinen Fall mit den Fingern berühren. Die **Markierungen** sind als „Krater“ **sichtbar**.
- 7) Platinenentwurf (negatives Layout) mit **wasser- und ätzfestem Stift** auf die Kupferfläche übertragen; als **Orientierung** dienen die Markierungen (Krater). Die **Breite der Bahnen** sollte etwa **1,5 - 2 mm** oder auch mehr betragen. Je nach Möglichkeit sollte man breite Ringe um die Markierungen bilden. **Sehr deckend arbeiten**; das Kupfer darf nicht durchschimmern!
Systematisch von einer Seite beginnen!
Bei Fehlern die Bahn ca. 3 Minuten trocknen lassen und dann mit Messerspitze (Stanley-Messer) wegschaben.

Mögliche wasser- und ätzfeste Stifte:

Edding 400, DALO 33 PC, Stabilo OHPen,
(Strichbreite des Stiftes: maximal 1 mm)

Trockenzeit bis zum Ätzen: 10 - 15 Minuten



So könnte eine fertig gezeichnete Platine (Kupferseite) aussehen. Vorlage: Siehe Abbildung links!

Platinenfertigung ... Fotomethode - Basismaterial

Mittels der Platinenfertigung nach der **Fotomethode** ist die problemlose **Serienfertigung** von industrietauglichen Platinen mit relativ einfachen Mitteln möglich. Die Platinen haben ein professionelles Aussehen und können auf Grund der möglichen engen Leiterbahnführung sehr dicht und daher platzsparend bestückt werden. Allerdings ist bei diesem Verfahren ein **fotopositiv beschichtetes Basismaterial** (Platine) erforderlich. Um außerdem sinnvoll und mit großer Wiederholgenauigkeit arbeiten zu können, ist eine einigermaßen professionelle **Ausrüstung** erforderlich, die aber nicht teuer sein muss.

Fotobeschichtetes Basismaterial

Als Basismaterial eignet sich **Hartpapier** (Pertinax) oder **Epoxyd**, das einseitig mit einer **Kupferauflage von 35 µm Stärke** beschichtet ist. Übliche Platinen haben eine Materialdicke von **1,5 mm**. Die **fotoempfindliche Schicht** auf der Kupferauflage ist mit einer **lichtundurchlässigen Folie** abgedeckt, die verhindert, dass das Basismaterial vorzeitig belichtet wird.

Grundsätzlich kann man aus Preisgründen Hartpapier für die ersten Versuche verwenden. Üblicher sind jedoch Platinen aus dem wesentlich widerstandsfähigeren **Epoxyd**, wenn eine hochwertige Platine entstehen soll. Als **Format** empfiehlt sich ebenfalls aus Preisgründen das übliche **Euro-Format** mit den Maßen **160 x 100 mm**.

Die **Lagerfähigkeit** fotopositiv beschichteter Platinen beträgt **1 Jahr**, die Praxis hat jedoch gezeigt, daß noch nach mehreren Jahren einwandfreie Platinen hergestellt werden können.



Fotopositiv beschichtete Platinen im Euroformat

Zuschnitt der Platine

Ohne die **Lichtschutzfolie** zu entfernen, wird vom Basismaterial jenes Stück abgeschnitten, das der Größe des Layouts entspricht. Befinden sich knapp am Rand des Layouts Leiterbahnen, so kann der Zuschnitt auch einige Millimeter größer als das Layout ausfallen.

Beim Layoutentwurf sollte man schon darauf achten, dass beim Zuschneiden der Platine aus dem gekauften Stück aus Kostengründen **möglichst wenig Verschnitt** entsteht.

Für das Zuschneiden der Platinen gibt es spezielle Platinenkreissägen oder auch Leiterplattenscheren. Mit einer **Laubsäge** und einem **feinen Laubsägeblatt** (Sägeblatt für Metall) funktioniert es aber fast ebenso gut. Die Schnittlinien sollten nicht mit Bleistift auf der Lichtschutzfolie vorgezeichnet werden, da sich die Folie verziehen oder sogar reißen kann. Es ist günstig, die Schnittlinien mit einem spitzen Gegenstand (Zirkelspitze, Spitzbohrer, ...) auf dem Hartpapier oder Epoxyd, also der Bestückungsseite der Platine, einzuritzen. Beim Schneiden mit der Laubsäge ist besonders darauf zu achten, dass man dabei die Lichtschutzfolie nicht verletzt.

Wichtig! Nach dem Zuschneiden müssen die **Schnittkanten** der Platine vorsichtig mit einer feinen Feile **entgratet** werden, damit beim Belichten die Platine dicht auf der Belichtungsvorlage aufliegen kann.

Belichtungsvorlage

Platinenlayout für die Fotomethode

Um die fotopositiv beschichtete Platine belichten zu können, benötigt man das Layout als **transparente Platinenvorlage**. Derartige Layouts auf Folien liegen in der Regel verschiedenen Elektronik-Heften bereits bei und können in dieser Form sofort für die Belichtung verwendet werden.

Wenn man allerdings von einer eigenen Schaltung oder einem vorgegebenen Schaltplan ein Layout entwerfen möchte, so ist ein erheblich größerer Aufwand nötig.

Um ein **qualitatives Layout** selbst zu entwerfen benötigt man einige Erfahrung und viel Geduld. Die Verwendung eines Auto-Routers am Computer gehört eindeutig in den Bereich der Industrie, da ein gutes Programm perfekt arbeiten muss und daher teuer ist. Außerdem steht der Aufwand selten in einem sinnvollen Verhältnis zum Ergebnis. Es müssen schon große Platinen sein, dass sich die Verwendung eines derartigen Programmes rechtfertigt.

Wichtiger Hinweis! Platinenlayouts dürfen nicht ohne Genehmigung des Herstellers verbreitet oder für kommerzielle Zwecke verwendet werden!

Layout - selbst hergestellt

Nachfolgend sind einige Möglichkeiten beschrieben, wie man mit begrenztem Aufwand zum Teil professionelle Layouts erstellen kann.

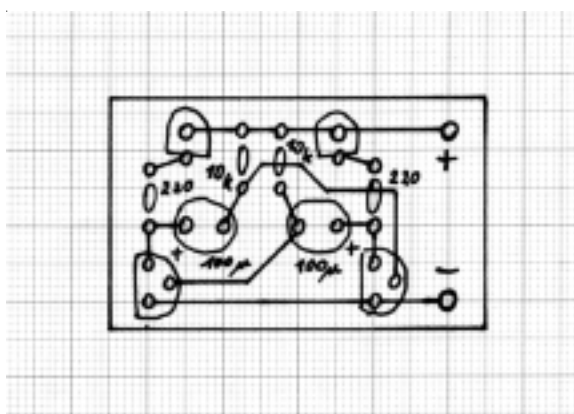
Entwurf auf dem Rasterpapier

Um ohne Autorouter in irgendeiner Form ein Layout erstellen zu können, muss dieses zuerst - relativ zeitaufwändig - auf einem Rasterpapier mit einem 1 mm - Raster entworfen werden. **Bleistift und Radiergummi** sind dabei die wichtigsten Hilfsmittel. Da die Anschlüsse von den meisten elektronischen Bauelementen im **Rastermaß von 2,54 mm** (1/10 Zoll) liegen, ist die Festlegung der Bohrungen auf dem Rasterpapier an sich kein Problem. Die geringe Abweichung von 0,04 mm zwischen Rasterpapier und Bauelemente-Norm spielt dabei keine Rolle.

Anordnung der Bauelemente

Der Entwurf erfolgt so, als würde man **von oben** auf die fertige Platine bzw. wie üblich auf den Schaltplan schauen. Die Anschlussbelegungen der Bauelemente - z.B. beim Transistor oder bei integrierten Schaltkreisen -, die nicht unbedingt der Anordnung im Schaltplan entspricht, müssen natürlich berücksichtigt werden. Für diesen Zweck gibt es jede Menge **Datenbücher**.

Die sinnvolle Anordnung der Bauelemente und deren Verbindung zueinander haben schon manche Verzweiflung ausgelöst. Im Stadium der ersten Versuche wird man feststellen, dass das Routen einer Platine einige Anforderungen an kombinatorische Fähigkeiten stellt.



Die Abbildung zeigt einen möglichen **Rohentwurf** eines „Astabilen Multivibrators“ auf Rasterpapier. Es versteht sich von selbst, dass man bei einer derart einfachen Schaltung ohne „Brücken“ auskommt. (Brücken sind Drahtverbindungen auf der Bestückungsseite.)

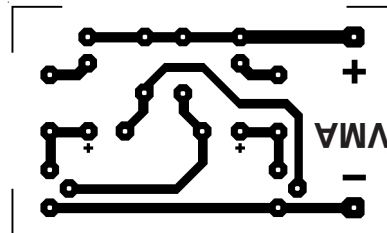
Herstellung der Belichtungsfolie

Eine eher überholte Möglichkeit der Herstellung einer Belichtungsfolie ist die **Klebetchnik**. Das Layout wird dabei mit **Anreißsymbolen** auf eine lichtdurchlässige Rasterfolie geklebt. Das Problem besteht allerdings darin, daß man Layoutfehler selten korrigieren kann.

Grundsätzlich ist es auch möglich, das Layout mit einem Stift auf eine transparente Folie zu zeichnen und diese dann zum Belichten zu verwenden.

Layoutentwurf auf dem Bildschirm

Eine moderne und professionelle Methode ist der Entwurf des Layouts auf dem Bildschirm. Neben professionellen Programmen, die z.B. auch einen Auto-Router enthalten, ist für die Erstellung eines nicht zu umfangreichen Layouts ein Zeichen- oder Malprogramm vollkommen ausreichend. Das Programm sollte unbedingt einen **Hintergrundraster** (Einstellung: 0,5 mm oder mehr) haben, damit die Bauelemente richtig positioniert werden können. **Frei gestaltbare Lötunkte** sind ebenfalls eine Grundvoraussetzung für sinnvolles Arbeiten.



„Astabiler Multivibrator“

Layout, erstellt mit einem einfachen Malprogramm

Ein **qualitativ hochwertiger Ausdruck** mit wirklich schwarzen Flächen ist eine wichtige Voraussetzung für eine geeignete Belichtungsfolie. Es gibt spezielle allerdings sehr **teure Laser-Folien**, die direkt mit dem Laserdrucker bedruckt und zur Belichtung verwendet werden können.

Eine gängige alternative Methode zur Herstellung einer Belichtungsfolie ist die Verwendung von **Kopierfolien**. Das Layout, das als Computerausdruck oder auch als Layout aus einer Fachzeitschrift vorliegen kann, wird **auf eine Folie kopiert**. Der **Schwärzungsgrad** sollte dabei beim Kopierer so eingestellt sein, dass die Bahnen möglichst gleichmäßig schwarz sind, auf den übrigen Flächen jedoch kein Grauschleier erkennbar ist.

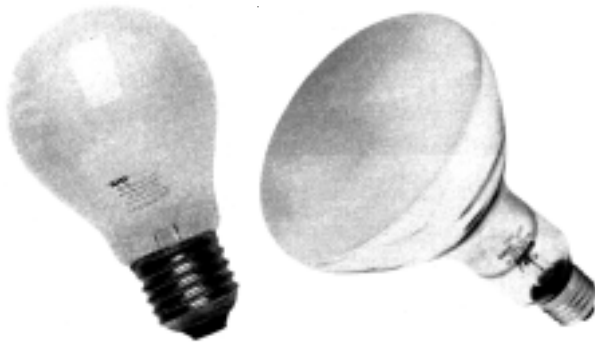
Um eine sichere **Lichtdichtheit** der Belichtungsfolie zu erreichen, ist es oft sinnvoll, eine zweite Kopie auf Folie anzufertigen. Beide Folien werden dann mit einem 2 cm breiten Rand um das Layout zugeschnitten und deckungsgleich punktwise außerhalb des Layouts verklebt. Auch beim Laserdrucker sind oft 2 Folien erforderlich.

Platinenfertigung ... Belichten und Entwickeln

Von entscheidender Bedeutung bei der Platinenfertigung ist die **richtige Belichtung**. Da der auf die Platine aufgebrauchte Fotolack empfindlich für ultraviolette Strahlen ist, eignen sich für das Belichten **UV-Lampen**. Da mehrere Arten von UV-Lichtquellen in Frage kommen, variieren **Belichtungszeit** und **Belichtungsabstand** entsprechend, aber auch das verwendete **Basismaterial** und die **Platinenart** spielen eine Rolle. Es ist daher sinnvoll, erst einige kleine **Probebelichtungen** mit kleinen Platinenresten anzufertigen, bevor man die eigentliche Platine belichtet. Schon vor dem Belichten sollte man die **Entwicklerflüssigkeit** bereitstellen.

Lampen für die Belichtung

Eine häufig verwendete preisgünstige Belichtungs-lampe ist die **OSRAM Nitraphot S 250 W**, oder die teurere **300-W-Ultra-Vitalux-Spezial-UV-Lampe**, ebenfalls von OSRAM.



Nitraphot S 250 W

300-W-Ultra-Vitalux-Spezial

Die Lampe wird in einer **Entfernung von etwa 30 cm** über der zu belichtenden Fläche montiert. Bei Verwendung einer Schreibtischlampe ist darauf zu achten, dass sich die Fassung nicht zu stark erwärmt. Die Lampe sollte je nach Leistung **nicht länger als 10 Minuten** eingeschaltet bleiben.

Die lichtdurchlässige Folie wird nun vom Platinenzuschnitt langsam abgezogen und die **Platine** mit der fotoempfindlichen Schicht nach oben auf eine **flache Unterlage** (Platte) gelegt. Darauf wird nun die transparente **Belichtungsvorlage spiegelverkehrt** so gelegt, dass die Platinenränder mit den Rändern des Layouts übereinstimmen. Darauf legt man eine **Glasscheibe**, sodass die Belichtungsvorlage (Folie) **dicht auf der Platine** aufliegt. Dann wird die Unterlage mit der Folie und der Glasplatte unter die Lampe geschoben.

Eine geeignete Unterlage mit Glasabdeckung gibt es auch als **Belichtungsrahmen** zu kaufen.

Reihenfolge der Belichtungsanordnung von unten nach oben

- 1: flache Unterlage (Platte)
- 2: Platine mit Fotoschicht oben
- 3: Belichtungsvorlage (Folie) spiegelverkehrt
- 4: Glasplatte

In jedem Fall sollte die Platine erst etwa 2 Minuten nach dem Einschalten dem Licht ausgesetzt werden, da sich erst dann die **volle Leuchtkraft** der Lampen entwickelt. (Wichtig! Beim Umgang mit UV-Licht sollte man Schutzbrillen tragen!)

Die **Belichtungszeit** ist stark vom Lampentyp, von deren Entfernung zur Platine und von der verwendeten Abdeckung (Glas) abhängig. Bei der OSRAM Nitraphot S 250 W hat sich eine Belichtungszeit von etwa 3 bis 4 Minuten bewährt. Auf jeden Fall sollte man einige Tests durchführen, um die passende Belichtungszeit zu ermitteln.

Der Fotolack ist an sich gegen Überbelichtung eher unempfindlich, während eine Unterbelichtung dazu führt, dass beim Entwickeln Lackschleier auf der Platine verbleiben.

Weitere mögliche Lampen für die Platinenentwicklung sind die Philips HPR 125, Xenon-Lampen oder superaktinische Leuchtröhren.



Eine weitere an sich preisgünstige Möglichkeit sind **Halogen-Strahler**. Je nach Leistung der Lampe sollte der Abstand bis zu einem halben Meter betragen, da auch die Wärmeentwicklung nicht zu unterschätzen ist. Die **Belichtungszeit** ist dann entsprechend anzupassen. Wie bei den anderen Lampen werden auch in diesem Fall einige Experimente notwendig sein.

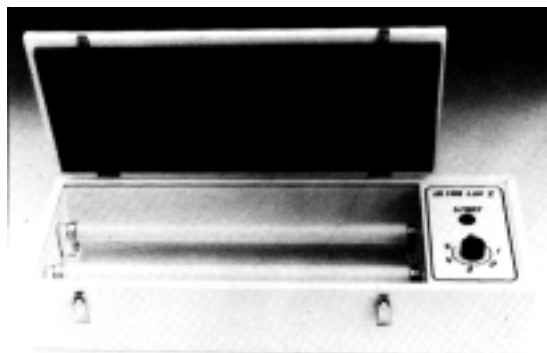
Grundsätzlich werden die beschriebenen Lampen aus Kostengründen im **Hobby-Bereich** verwendet. Bei der **professionellen Platinenfertigung** mit der Belichtungstechnik werden ausschließlich **Belichtungstische** verwendet.

Platinenfertigung ... Belichten und Entwickeln

Belichtungstisch

Für glückliche Besitzer eines Belichtungstisches ist der Belichtungsprozess ausgesprochen einfach. Der Vorteil eines derartigen Gerätes besteht darin, dass für die Belichtung **immer dieselben Bedingungen** herrschen. Die UV-Röhren sind im **richtigen Abstand zur Glasplatte** angebracht, wodurch sich eine optimale Ausleuchtung ergibt. Da die Deckel des Gerätes während der Belichtung geschlossen ist, ergeben sich auch **keine Probleme mit ultravioletten Strahlen**. Außerdem verfügen Belichtungstische über eine **Zeitschaltuhr**, sodass sich die Belichtungszeit problemlos einstellen lässt.

Zuerst wird die **Belichtungsvorlage in normaler Ansicht** - also die Ansicht von der Bestückungsseite - auf die Glasfläche des Tisches gelegt. Danach zieht man von der vorbereiteten Platine die **lichtundurchlässige Folie** ab und legt sie mit der **fotoempfindlichen Schicht nach unten** auf die Belichtungsvorlage. Dann wird der Deckel des Gerätes, der die Platine auf die Vorlage presst, geschlossen.



Belichtungstisch Ultra Lux 1
Timer: 0 - 5 Minuten, Nutzfläche: 46 x 18 cm

Mit dem **Zeitschalter** wird nun die Belichtungszeit eingestellt und damit der Belichtungsprozess gestartet. Die ideale Belichtungszeit ist normalerweise **3 - 3 1/2 Minuten**. Nach Ablauf der Belichtungszeit schaltet sich das Gerät automatisch ab und der Deckel kann geöffnet werden.

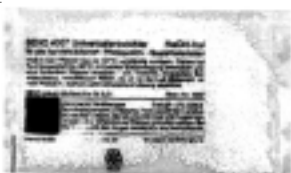
Unmittelbar nach dem Belichten kommt die Platine in die **Entwicklerflüssigkeit**.

Entwickeln der Platine

Da unmittelbar nach dem Belichten die Entwicklung der Platine erfolgen soll, muß die Entwicklerflüssigkeit vor der Belichtung vorbereitet werden.

Vorbereiten der Entwicklerflüssigkeit

Die Entwicklerflüssigkeit besteht aus **7 g Ätznatron**, das in **einem Liter Wasser bei Zimmertemperatur** aufgelöst wird. Entwickler gibt es im Elektronik-Fachhandel sehr billig in 7 g - Päckchen zu kaufen. Das ist für viele Platinen ausreichend. Außerdem läßt sich die fertige Lösung in einem verschlossenen Gefäß an einem dunklen Ort problemlos über einen **längeren Zeitraum** aufbewahren und kann immer wieder verwendet werden. Offener Entwickler ist nach einigen Stunden nicht mehr zu gebrauchen. Größere Mengen Ätznatron gibt es auch in 1 Liter - Dosen.



Universalentwickler
Seno 4007

Als **Gefäß** für die Entwicklerflüssigkeit eignet sich eine **flache Kunststoffschale** mit den Mindestmaßen 15 x 20 cm.

Wichtig! Ätznatron ist sehr aggressiv und sollte nicht mit der Haut oder mit der Kleidung in Berührung kommen.

Der Entwicklungsvorgang

Die belichtete Platine wird unmittelbar nach der Belichtung in die Entwicklerflüssigkeit gelegt; und zwar so, dass die belichtete Seite von oben sichtbar ist, damit man den Entwicklungsvorgang kontrollieren kann.



Kunststoff-Pinzette für Arbeiten im Entwicklerbad

Bei unverbrauchtem Entwickler sollte die Entwicklung nach etwa **30 bis 60 Sekunden** abgeschlossen sein. Nach 2 Minuten sollten die **Leitungsbahnen** auf jeden Fall **deutlich sichtbar** sein. Dauert es länger, wurde entweder zu kurz belichtet oder die Entwicklerlösung ist zu schwach oder zu verbraucht. Bei zu schwacher Lösung kann noch Ätznatron dazugegeben werden. Wurde zu viel belichtet oder ist die Entwicklerkonzentration zu stark, verschwimmen die Leiterbahnen. Wurde **richtig belichtet**, ergibt sich auf den belichteten Flächen bei der Entwicklung ein **Farbumschlag** von Gelbgrün nach Blaugrün, eine schlechte Belichtung erkennt man an einem rotbraunen Farbumschlag.

Unmittelbar nach der Entwicklung wird die Platine aus dem Entwicklerbad genommen und **gut mit Wasser abgespült**.

Bis zum **Ätzen** kann die Platine **nahezu beliebig lange** in dieser Form gelagert werden.

Platinenfertigung ... Ätzen der Platine

Zum Ätzen der Platine werden **Ätzmittel** verwendet, die unterschiedlich **giftig** und bei der Entsorgung wie **Sondermüll** zu behandeln sind. Auch bei der Verwendung selbst ist größte **Vorsicht** notwendig. Kommt nur ein einziger Tropfen auf ein Kleidungsstück, wird die betroffene Stelle gebleicht. Das trübt die Freude an der fertigen Platine. Zum Schutz der Haut sollten auch beim Ätzen **Kunststoffhandschuhe** getragen werden. Auch die Verwendung einer **Kunststoff-Pinzette** ist erforderlich.

Bei der Fertigung von **Kleinserien** finden hauptsächlich **3 verschiedene Ätzmittel** Verwendung. Das sind **Eisen-III-Chlorid**, **Natriumpersulfat** und eine Kombination aus **Salzsäure und Wasserstoffperoxid**.

Eisen-III-Chlorid

Eisen-III-Chlorid ist ein beliebtes Ätzmittel, auch wenn es vom Aussehen her (**gelbbraunes Granulat**) eher unsympathisch wirkt und in der Anwendung nicht ganz einfach ist. Alle Objekte, die mit Eisen-III-Chlorid in Berührung gekommen sind, nehmen mit der Zeit eine **goldgelbe Färbung** an.



250 g Eisen-III-Chlorid

Im Handel gibt es Eisen-III-Chlorid als kleine **goldgelbe Kugeln** in Packungen zu 250 g und zu 1 kg zu kaufen. Mit der **250 g - Packung** kann **1 Liter Ätzflüssigkeit** hergestellt werden. Das **Mischungsverhältnis** ist also **1 Teil Eisen-III-Chlorid zu 3 Teilen Wasser**.

Ätzen in einer Kunststoffschale

Die einfachste Möglichkeit, mit Eisen-III-Chlorid zu ätzen, ist die Verwendung einer **flachen Kunststoffschale** (Fotoentwicklerschale, ...). Da die Ätztemperatur etwa **40°C - 50°C** betragen soll, muss die Flüssigkeit erwärmt werden. Dazu gibt man die Kunststoffschale in ein **weiteres größeres Gefäß** mit Wasser, das man z.B. mit einem Kocher erwärmt. Mit einem **Thermometer** muss die Temperatur des Ätzmittels gemessen werden.

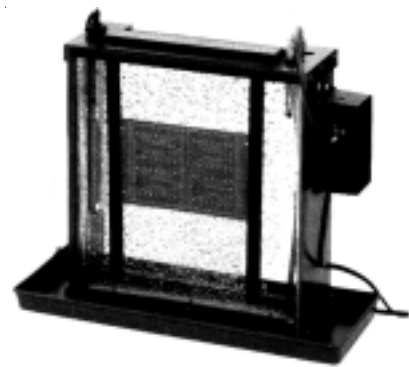
Die Platine wird mit der **Kupferseite nach oben** mit einer Kunststoff-Pinzette in das Gefäß gelegt. Während des Ätzens soll das **Ätzbad bewegt** werden, damit ständig frisches Ätzmittel über die Platine strömt. Zumeist wird der Ätzbvorgang am Rand einer Platine zuerst erkennbar.



Ätzen in der Kunststoffschale



Schaumätzgerät



Ätzgerät mit Glasküvette

Eine **Dunkelfärbung** am Beginn des Ätzbvorgangs besagt aber noch nicht, dass dort das Kupfer schon weggeätzt ist. Erst wenn das **Basismaterial** (Hartpapier, Epoxyd) sichtbar wird, hat der Ätzbvorgang erfolgreich eingesetzt. Sind die letzten Kupferinseln weggeätzt, kann die Platine aus dem Gefäß entnommen und **gut mit Wasser abgespült** werden. Der Ätzbvorgang dauert je nach Temperatur und Sättigung zwischen **10 und 30 Minuten**.

Das Ätzmittel kann in **Kunststoffkanistern** aufbewahrt und so oft verwendet werden, bis sich die Sättigung in Form einer Schlammbildung zeigt.

Wichtig! Gebrauchtes Ätzmittel ist **Sondermüll**. Eine **fachgerechte Entsorgung** ist daher gesetzlich vorgeschrieben. Zwar kann man mit 20 g **Soda** 200 g Eisen-III-Chlorid neutralisieren, aber das Ergebnis ist ebenfalls Sondermüll.

Ätzen mit einem Ätzgerät

Wesentlich eleganter ist das Ätzen mit einem Ätzgerät, bei welchem die **Heizung** bereits integriert ist und bequeme **Halterungen für die Platinen** vorgesehen sind. Zusätzlich wird **Luft** eingepumpt, was die Ätzgeschwindigkeit erhöht. Außerdem wird die Ätzflüssigkeit **automatisch umgewälzt**. Die Ätzflüssigkeit kann außerhalb der Ätzzeiten im Gerät verbleiben. Manche Geräte besitzen sogar eine digitale **Temperaturanzeige**. Der Flüssigkeitsaustausch dagegen ist oft etwas schwierig. Auch sind Metallteile am Gehäuse langfristig einer verstärkten Korrosion ausgesetzt.

Platinenfertigung ... Ätzen der Platine

Natriumpersulfat

Als Alternative zum Eisen-III-Chlorid bietet sich das teurere Natriumpersulfat an. Es handelt sich um ein **weißes Pulver**, das unter Wärmezufuhr im Wasser aufgelöst wird und das auch als verbrauchte Lösung wasserklar bleibt.



100 g Natriumpersulfat für 0,5 Liter Ätzmittel

Für **einen Liter Ätzmittel** benötigt man **200 g Natriumpersulfat**; das Mischungsverhältnis ist also **1 Teil Natriumpersulfat zu 4 Teilen Wasser**. Die ideale Ätztemperatur beträgt etwa **45°C**. Über 60°C verliert das Ätzmittel seine Wirkung. Die Temperatur muss also sehr genau gemessen werden. Die Ätzgeschwindigkeit ist allerdings bis zu zehnmal langsamer als bei Eisen-III-Chlorid, weshalb die Gefahr besteht, dass es bei den Leiterbahnen zu **Unterätzungen** kommt. Auch das Neutralisieren der verbrauchten Lösung ist erheblich aufwändiger als bei Eisen-III-Chlorid.

Mit Natriumpersulfat kann sowohl in der **Kunststoffschale** als auch mit den **Ätzgeräten** wie mit Eisen-III-Chlorid gearbeitet werden.

Auch Natriumpersulfat ist entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen zu entsorgen.

Salzsäure + Wasserstoffperoxid

Unter Hobbyelektronikern ist die Mischung aus **Wasser, Salzsäure und Wasserstoffperoxid** am beliebtesten, da dieses Ätzmittel, wenn man gewisse **Vorsichtsmaßnahmen** einhält, ausgesprochen **problemlos** ist. Außerdem ist es gegenüber anderen Ätzmitteln - was den **Umweltschutz** betrifft - besonders unproblematisch, da es wiederverwertet werden kann.

Ein wesentlicher Vorteil in der praktischen Anwendung ist, dass mit dem Ätzmittel bei **Zimmertemperatur** gearbeitet werden kann. Es genügt als eine flache Kunststoffschale, in der die Platine Platz findet, wobei ein Flüssigkeitsstand von **2 cm** Höhe ausreichend ist.

Mischungsverhältnis

Um **1 Liter Ätzflüssigkeit** herzustellen, ist folgende Mischung empfehlenswert:

770 ml	Wasser
200 ml	Salzsäure (30 - 35 %)
30 ml	Wasserstoffperoxid (30 - 35 %)

Bei der **Herstellung der Ätzflüssigkeit** ist zu beachten, dass in das Ätzgefäß **zuerst das Wasser** eingefüllt wird, **dann die Salzsäure und das Wasserstoffperoxid**.

In der **Praxis** wird es kaum vorkommen, dass man eine Menge von einem Liter Ätzflüssigkeit benötigt. Benötigt man z.B. nur 1/4 Liter Ätzflüssigkeit, so ist jeder Wert der Mischungsanteile durch 4 zu dividieren. Um die Flüssigkeitsanteile möglichst genau bestimmen zu können, benötigt man ein **Messgefäß**, idealerweise aus Glas.

Unter Elektronikern sind sogenannte „Radikalmischungen“ aus Wasser, Salzsäure und Wasserstoffperoxid allgemein bekannt. Das Ziel ist, die an sich schon zufriedenstellende **Ätzgeschwindigkeit** der Idealmischung von etwa **5 - 10 Minuten** noch erheblich zu beschleunigen.

Eine Erhöhung der Konzentration durch vermehrte Zugabe von Salzsäure bzw. Wasserstoffperoxid hat zur Folge, daß **ätzende und damit schleimhautreizende Dämpfe** vom Ätzmittel aufsteigen, die gesundheitsgefährdend sind. Außerdem kann die Ätzgeschwindigkeit derart beschleunigt werden, dass man das Ende der Ätzzeit übersieht und es dann sehr leicht zu Unterätzungen und damit zu Unterbrechungen der Bahnen kommen kann.

Aus diesen Gründen sollte das **angegebene Mischungsverhältnis möglichst genau** eingehalten werden. Man kann dann den Ätzvorgang auch sehr genau beobachten.

Zuerst erfolgt ein **Farbumschlag** der belichteten Flächen - nicht der Leiterbahnen - nach Dunkelbraun. Nach wenigen Minuten wird **an den Rändern der Platine** und an den Rändern der Leiterbahnen das Basismaterial sichtbar. Gegen Ende des Ätzvorgangs verbleiben nur mehr größere **Kupferinseln** zwischen den Leitungen. Sind auch diese weggeätzt, wird die Platine mit einer Kunststoff-Pinzette aus der Ätzflüssigkeit genommen und mit Wasser abgespült.

Die **Ätzflüssigkeit** kann in einem Kunststoffgefäß für weitere Ätzungen aufbewahrt werden. Eine **Sättigung** des Ätzmittels erkennt man daran, dass sich die Ätzgeschwindigkeit vermindert und eine intensivere Grünfärbung des Ätzmittels eintritt.

Platinenfertigung ... Reinigen - Bohren - Schutz vor Oxydation

Reinigen der Platine

Nach dem Ätzen wird von den Leiterbahnen und auch von der Vorderseite der Platine die **Fotoschicht entfernt**. Die Platine muss dazu absolut trocken sein.

Ein praktisches Reinigungsmittel dafür ist **Aceton**, aber auch **Spiritus** ist geeignet, der Auflöseprozess dauert allerdings einige Sekunden länger.

Bohren der Platine

Nach dem Reinigen der Platine kann sie gebohrt werden. Grundsätzlich ist es aber auch möglich, die Platine vor dem Bohren mit einem Korrosionsschutz zu versehen.

Für die Bohrungen eignet sich bestens eine **Mini-Bohrmaschine mit Spannzangenbohrkopf**. Preisgünstige Bohrmaschinen mit einer Betriebsspannung von **12 - 18 Volt** gibt es im Handel. Sie können z.B. mit einem **1000 mA - Steckernetzteil** betrieben werden.



Allround-Bohrmaschine: 12 - 18 Volt, 1000 mA

Als Bohrer kommen in der Regel **HSS-Typen** in Frage, obwohl es qualitativ hochwertige **Spezialbohrer für Platinen** gibt. Diese sind aber sehr teuer und brechen bei unsachgemäßer Handhabung relativ leicht.

Löcher für Standardbauelemente (Widerstände, Dioden, Kondensatoren, Kleinsignal-Transistoren, usw.) werden normalerweise mit einem **1 mm - Bohrer** gebohrt. Bei IC-Anschlüssen sollte man einen **0,8 mm - Bohrer** verwenden, zur Not tut es aber auch ein neuer 1 mm - Bohrer. Für größere Bohrungen (Trimpotentiometer, Leistungstransistoren, ...) eignet sich ein **1,5 mm - Bohrer**. Sollen Litzen in die Platine eingelötet werden, kann auch ein **2 mm - Bohrer** nötig sein.



Für **Verschraubungen** der Platine mit einem Gehäuse werden oft **M3 - Schrauben** verwendet. Dafür sollten **3,5 mm - Bohrungen** in der Platine vorgesehen werden. Diese müssen allerdings mit einer **Ständerbohrmaschine** ausgeführt werden. Größere Bohrungen sind schon im Layout durch größere Lötunkte vorzusehen.

Schutz der Platine vor Korrosion

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten des **Schutzes** der Kupferbahnen vor Oxydation **Verzinnen oder Schutzlack**.

Verzinnen

Bei einer kleinen Platine können die Leiterbahnen verzinnt werden, indem man die mit dem **Lötcolben Elektronik-Lötzinn** direkt auf die Leiterbahnen aufbringt.

Eine elegantere Methode ist das **chemische Verzinnen** im stromlosen **Tauchverfahren**. Zinn gibt es in **Fläschchen** zu 0,25 bzw. 0,5 Liter oder in **Pulverform**. Bei kühler und dunkler Lagerung reichen 0,5 Liter für etwa 60 Euro-Platinen.

Die Flüssigkeit hinterlässt auf den Kupferflächen einen **Zinnbelag**, der sehr widerstandsfähig ist und sich hervorragend verlöten lässt. Die Platine muss für das Verzinnen sauber, trocken und fettfrei sein. Als Gefäß eignet sich eine flache Kunststoff- oder Glasschale. Nach ca. **2 - 3 Minuten** kann die Platine aus dem **Zinnbad** herausgenommen und mit Wasser abgespült werden. Eine gute Verzinnung liegt dann vor, wenn kein Kupfer durch die Zinnschicht mehr durchschimmert. Eine Erwärmung des Zinnbades ist nicht notwendig.

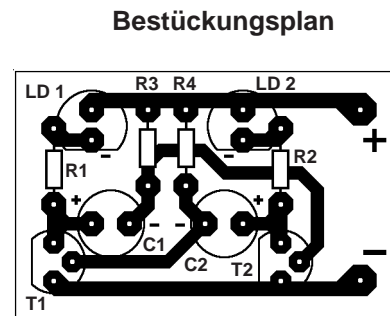
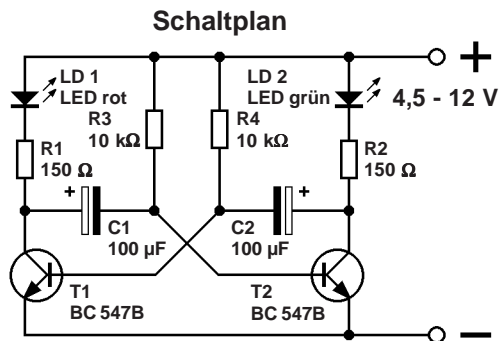
Lötack

Auch ein lötfähiger Schutz- und Überzugslack verhindert die **Oxydation**. Ein typischer Lack für diese Verwendung in der Elektronik ist der **Lötack SK 10**. Er ist außerdem ein **hervorragendes Löt Hilfsmittel**, das die Löteigenschaften der Kupferfläche verbessert. Den Lötack SK 10 gibt es in Dosen zu 100 ml, zu 200 ml und zu 400 ml.

Wird der Lack vor der Bestückung der Platine auf die Kupferseite aufgebracht, so ist zu beachten, dass er eine **gewisse Trockenzeit** - bei richtiger Handhabung ca. **15 Minuten** - benötigt, wobei er schneller trocknet, wenn die Platine erwärmt wird. Erst dann kann mit der Platine wieder weitergearbeitet werden. Deshalb ist es wichtig, dass die Platine **nicht zu stark besprüht** wird. Ein **Mindestabstand** beim Sprühen von etwa **30 cm** sollte eingehalten werden. Ein ganz **feiner Film** genügt völlig. Sinnvoll ist es, wenn mehrere Platinen nebeneinander auf Zeitungspapier gelegt und gleichzeitig besprüht werden.

Weniger Probleme mit dem Trocknen gibt es, wenn die Schaltung erst **nach ihrer Fertigstellung** mit dem Schutzlack versehen wird.

Astabiler Multivibrator ... Wechselblinker



Der astabile Multivibrator (Wechselblinker) gehört zur Familie der **Rechteckgeneratoren** und ist eine wichtige elektronische Grundschaltung. Die Schaltung erzeugt **periodische Signale**, die durch das abwechselnde Blinken zweier **Leuchtdioden** - rot und grün - angezeigt werden.

Schaltungsbeschreibung:

Zwei **gleichartig aufgebaute Transistorschalter** (T1, R1, R4, LD1 und T2, R2, R3, LD2) sind über Kondensatoren (C1 und C2) **wechselstrommäßig miteinander verbunden**. Sie steuern sich gegenseitig: Leitet T1 - sperrt T2, leitet T2 - sperrt T1.

Bei der Betrachtung der **Funktion** geht man von einem **Augenblickszustand** aus.

Angenommen, T1 ist gerade leitend geworden (LED 1 leuchtet), so ist die Kollektorspannung von T1 von nahezu Betriebsspannung schlagartig auf ca. 0,1 Volt Sättigungsspannung des Transistors T1 gefallen und damit auch der PLUS-Pol des geladenen Kondensators C1. Da sich Kondensatoren nicht schlagartig entladen, sondern langsam nach einer e-Funktion, wird dieser Spannungssprung direkt auf die Basis von T2 übertragen. Für einige Zeit befindet sich daher der negative Pol von C1 unter einer Spannung von 0 Volt; d.h., die Basis von T2 liegt für eine gewisse Zeit an einer negativen Spannung. Solange aber in die Basis kein Strom fließt, sperrt T2 und die Leuchtdiode LD 2 leuchtet nicht.

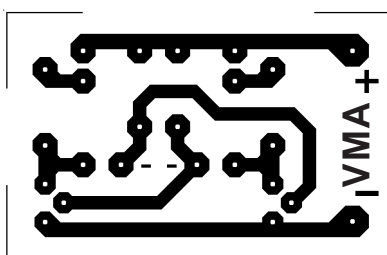
Der Kondensator C2 wurde jedoch inzwischen über LD2 und dessen Vorwiderstand R2 innerhalb kurzer Zeit geladen. Über R3 wird C1 nun langsam entladen und ein wenig in umgekehrter Richtung aufgeladen, bis die Schwellenspannung des Transistors T2 (ca. 0,65 Volt) erreicht wird und T2 zu leiten beginnt. Die Kollektorspannung von T2 fällt dann schlagartig auf 0,1 Volt; die Leuchtdiode LD2 leuchtet. Über C2 wird dieser negative Spannungssprung jetzt auf die Basis von T1 übertragen, weshalb nun T1 sperrt und die Leuchtdiode LD 1 nun nicht mehr leuchtet.

Nun läuft der beschriebene Vorgang in umgekehrter Richtung ab. Dies wiederholt sich selbstständig und ohne Beeinflussung von außen. Frequenzbestimmend sind R3 mit C1 und R4 mit C2, wobei sich bei dieser **symmetrischen Beschaltung** (R3 = R4, C1 = C2) eine Blinkfrequenz der Leuchtdioden von etwa 0,7 Hertz ergibt.

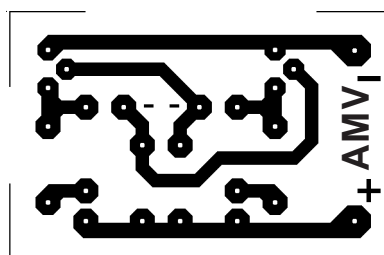
Formel zur Berechnung der Frequenz eines symmetrischen Multivibrators

$$f = \frac{1}{1,4 \cdot R \cdot C} \quad \begin{array}{l} R = R3 = R4 \\ C = C1 = C2 \end{array}$$

Vorlage für Fotomethode



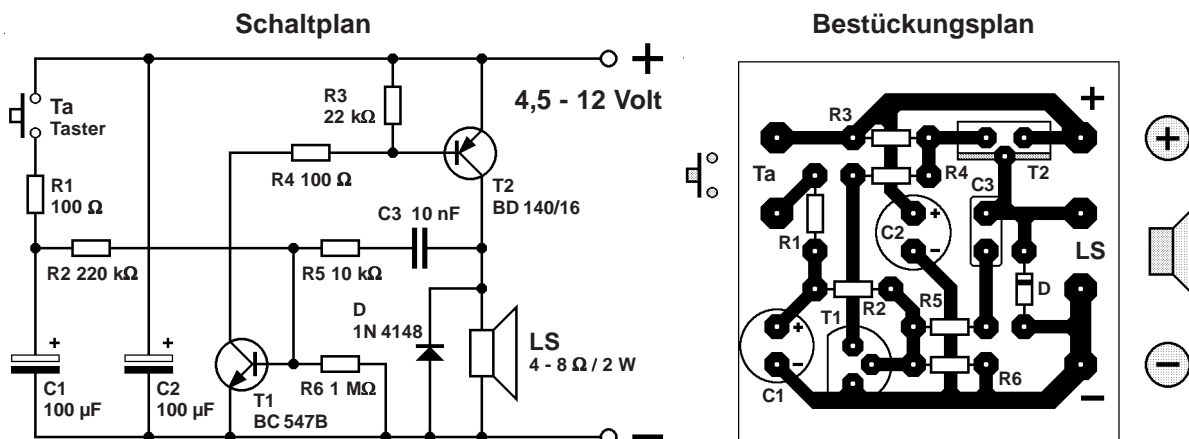
Vorlage für Zeichenmethode



Bauelemente

R1	150 Ohm
R2	150 Ohm
R3	10 kOhm
R4	10 kOhm
C1	100 µF
C2	100 µF
LD1	LED rot
LD2	LED grün
T1	BC 547B
T2	BC 547B
Lötstifte 1mm	2 Stück
Platine	50 x 32 mm

Alarmanlage ... Anti-Grapsch



Eine **Alarmanlage** mit großer Leistung ist der Anti-Grapsch. Ein **kurzer Kontakt** (Taster Ta oder externer Anschluß) löst den Alarm aus. Der Kleinleistungstransistor BD 140/16 sorgt für einen lauten durchdringenden **Heulton**, der jeden ungebetenen Gast in die Flucht schlägt. Wichtig! Im Bereitschaftszustand benötigt die Schaltung **keinen Strom**, weshalb der Anti-Grapsch auch über **längere Zeit** an der Betriebsspannung angeschlossen bleiben kann.

Schaltungsbeschreibung:

Die Transistoren T1 und T2 bilden einen komplementären Kippgenerator, wobei abwechselnd beide Transistoren gleichzeitig leiten und sperren. Die so entstehenden Impulse werden im Lautsprecher als Ton hörbar. Wird der Taster Ta gedrückt, lädt sich C1 rasch über R1 auf Betriebsspannung auf. Über R2 erhält T1 - nach Loslassen des Tasters aus C1 - einen geringen Basisstrom.

T1 leitet vorerst schwach, folglich auch T2, der über R4 angesteuert wird. Ein geringer Stromfluss in T2 bewirkt jedoch, dass sich sein Kollektor ein wenig nach PLUS bewegt. Dies überträgt sich über C3 und R5 auf die Basis von T1, der deshalb noch mehr Basisstrom an T2 liefert.

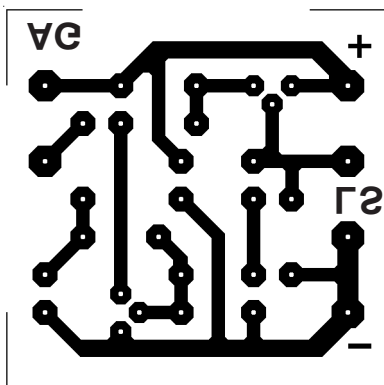
Transistor BD 140/16

Beim Kleinleistungstransistor T2 (BD 140/16) ist auf die Einbaurichtung zu achten. Die dunkle Seite (unten) kennzeichnet die Metallseite des Transistors.

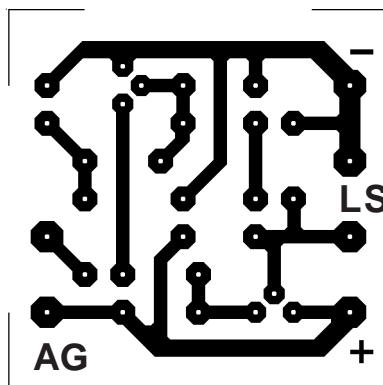
Durch diese starke Mitkopplung leiten beide Transistoren schlagartig; so lange, bis C3 über R5 umgeladen ist. Durch die Rückstellkraft der Lautsprecher-Membrane entsteht eine Induktionsspannung in der Lautsprecherspule, die umgekehrt zur Betriebsspannung gepolt ist. Dies überträgt sich über C3 und R5 auf die Basis von T1 T1 sperrt sofort, folglich auch T2. Somit bewegt sich die Kollektorspannung von T2 endgültig nach MINUS.

C3 lädt sich über R2 und R5 wieder um, bis die Schwellspannung von T1 erreicht ist. Dann wiederholt sich der beschriebene Vorgang. Dies dauert bei abnehmender Tonfrequenz ca. 1 Minute. Dann ist C1 so weit entladen, dass er keinen Strom mehr liefern kann und beide Transistoren sperren. C2 dient als Pufferkondensator und verlängert die Verwendungsdauer der Batterie.

Vorlage für Fotomethode



Vorlage für Zeichenmethode



Bauelemente

R1	100 Ohm
R2	220 kOhm
R3	22 kOhm
R4	100 Ohm
R5	10 kOhm
R6	1 MOhm
C1	100 µF
C2	100 µF
C3	10 nF
D	1N 4148
T1	BC 547B
T2	BD 140/16
Lötstifte 1mm	6 Stück
Platine	50 x 50 mm
Lautsprecher	4-8 Ω/2W

Klein-Ladegerät für NiCd- und NiMH-Akkus

Häufige Bauformen von Akkus



Nickel-Cadmium-Akkus (NiCd) und Nickel-Metallhybrid-Akkus (NiMH) ersetzen heutzutage in vielen Fällen Batterien, da sie in gleicher Bauform wie Batterien erhältlich sind und nach der Entladung wieder geladen werden können. Zwar ist z.B. das Cadmium in den Akkus giftig, doch wegen der längeren Nutzungsdauer der Akkus - bei vernünftiger Handhabung kann man mit bis zu **1000 Ladungen** rechnen - sind sie weitaus umweltfreundlicher, als wenn dafür hunderte Batterien weggeworfen werden müssen. Klar, dass Akkus auf Grund ihrer langen Lebensdauer die Geldbörse erheblich weniger belasten, obwohl sie etwa 2 - 4 mal so teuer wie Batterien sind.

Neben den bedeutend günstigeren Gesamtkosten besitzen Akkus noch weitere nicht zu verachtende Vorteile. Sie sind **auslaufsicherer** als Batterien, sie haben einen **niedrigeren Innenwiderstand** und liefern nahezu bis zum Entladeende eine konstante Spannung. Nicht nur der Elektroniker weiß diese Eigenschaften zu schätzen. Gegenüber frischen **Batterien mit 1,5 Volt** Anfangsspannung bringt es ein frisch geladener **Akku** allerdings nur auf etwa 1,35 Volt und pendelt sich bei der Entladung auf etwa **1,20 - 1,25 Volt** ein; dies aber fast bis zur völligen Entladung. Trotz dieses Spannungsunterschiedes können Batterien in der Regel ohne Probleme durch Akkus ersetzt werden. Von Vorteil ist dabei auch, dass es Akkus und Batterien in gleichen Baugrößen gibt.



6 Zellen ... 7,2 Volt

4 Zellen ... 4,8 Volt

Richtiges Laden von Akkus

Akkus werden nach der Entladung wieder geladen. Dies sollte mit einem konstanten Strom geschehen. Handelsübliche Ladegeräte erfüllen normalerweise diese Bedingung. In der Regel ist es so, dass ein Akku mit **10 % der Nennkapazität** für eine Dauer von **14 Stunden** (= das 1,4-fache des entnommenen Stroms) wieder geladen wird.

Dazu ein **Beispiel**: Eine Babyzelle mit **1,8 Ah** (Ah = Ampere-Stunden) wird bei einer Normalladung mit einem Strom von **180 mA** 14 Stunden lang geladen; eine Mignon-Zelle mit **500 mAh** wird mit **50 mA** ebenfalls 14 Stunden lang geladen, ein 9-V-Akkublock (**110 mAh**) mit **11 mA** dieselbe Zeit. Nach diesem Muster kann der **Ladestrom I** für alle anderen Akkukapazitäten, die fast immer auf dem Akku selbst angegeben sind, ermittelt werden.

Berechnung des Ladestroms I

$$I \approx \frac{\text{Kapazität}}{10}$$

Wird die **Ladezeit bei der Normalladung überschritten** oder war der Akku vor der Ladung nicht ganz entladen, so ist eine Überladung bei einem Strom berechnet mit 10 % der Nennkapazität **nicht weiter tragisch**. Das verkraften Akkus ganz gut. Jedoch dürfen Akkus beim Laden (auch bei der Entladung) **nicht parallel geschaltet** werden; auch sollte man nicht verschiedene Akkugrößen beim Laden in Reihe schalten.

Akkuzellen gleicher Kapazität können, sofern nicht eine Zelle defekt ist, sowohl beim Laden als auch beim Entladen für die jeweils erforderliche Spannung wie Batterien in Reihe geschaltet werden. Zu beachten ist jedoch, daß man nicht neue Akkus mit Uralt-Typen mischt.

Grundsätzlich sollten speziell **NiCd-Akkus** vor dem Laden mit einem Ladegerät **vorher entladen** werden. Dies geschieht normalerweise über einen Lastwiderstand, der zum Akku parallelgeschaltet wird. Der Widerstand kann so dimensioniert werden, dass der Entladestrom der Nennkapazität entspricht; bei einem 500 mAh - Akku sind das also 500 mA. Die Praxis zeigt jedoch, dass gerade NiCd-Akkus selten vor dem Laden völlig entladen werden.

Akkus sind aber auch schnellladefähig; d.h., dass sie mit einem erheblich **höheren Ladestrom** als 10 % der Nennkapazität geladen werden können. Beim Elektro-Modellflug wird dies erfolgreich praktiziert (Ladung in ca. 15 Minuten) aus verständlichen Gründen. Die **Gefahr der Überladung** mit einem hohen Strom ist dabei nicht zu unterschätzen; außerdem verkürzt sich bei höheren Ladeströmen die Lebensdauer der Akkus. In der **Praxis** hat sich folglich die Ladung mit **10 %** der Nennkapazität am problemlosesten erwiesen, speziell deshalb, weil man das Ende der Ladezeit auch ohne schlechtes Gewissen einmal übersehen kann.

Klein-Ladegerät für NiCd- und NiMH-Akkus

Akku-Ladegerät

Die Abbildung rechts zeigt einen **Schaltplan** für ein kleines **Ladegerät**, das den Anforderungen entspricht und das an alle üblichen Akkukapazitäten angepasst werden kann. Voraussetzung ist ein handelsübliches **300 mA** - Steckernetzteil; bei einem Ladestrom von mehr als 200 mA empfiehlt sich ein Netzteil mit 500 oder 1000 mA. Natürlich eignet sich auch ein entsprechendes Netzgerät, das den notwendigen Ladestrom liefert.

Dieses kleine Ladegerät, das einen **konstanten Ladestrom I** abgibt, ist gegen falsche Polung der Betriebsspannung gesichert. Außergewöhnliche Bauelemente werden nicht verwendet.

Der Ladestrom wird mit einer Konstantstromquelle (BC 547B + BD 139/16) erzeugt, wobei der **Widerstand R1 den Ladestrom bestimmt**. Der **Wert des Widerstandes R1** berechnet sich aus dem Spannungsabfall über R1 mit etwa **0,65 Volt** und aus dem gewünschten **Ladestrom I**.

Berechnung des Widerstandes R1

$$R1 = \frac{0,65 \text{ V}}{\text{Ladestrom I}}$$

Ab einem Ladestrom von 50 mA empfiehlt sich eine **Kühlung** des Kleinleistungstransistors BD 139/16. Dafür eignet sich ein Stück **Alu-Blech** (ca. 5 x 5 cm) nach dem Motto je größer und dicker, desto besser, oder ein handelsüblicher Kühlkörper. Dieser wird mit einem **M3-Schrauben** am Transistor (Metallfläche am Gehäuse) befestigt. Wird zwischen Kühlkörper und Transistor eine **Wärmeleitpaste** verwendet, so verdoppelt sich zusätzlich der Wirkungsgrad der Kühlung. Insbesondere bei Mono-Zellen (Ladestrom 400 mA) ist ein **großer Kühlkörper** und die Verwendung einer **Wärmeleitpaste** unbedingt notwendig.

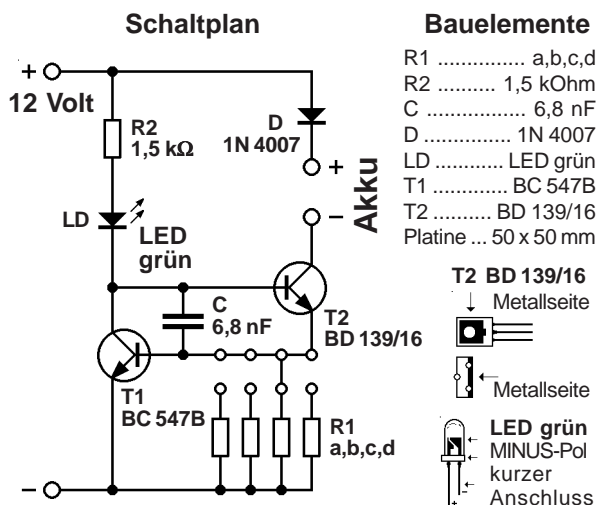
Bei einer an der **Stromversorgung U** eingestellten Spannung von **12 Volt** können bis zu **7 Zellen** (in Reihe geschaltet) geladen werden.

Unstabilisierte Steckernetzteile - falls ein solches verwendet wird - haben außerdem die „zweifelhafte Eigenschaft“, bei geringerer Stromentnahme eine wesentlich höhere Spannung als die eingestellte zu liefern. Dafür erwärmen sie sich bei höherer Stromentnahme auch ganz schön kräftig. Bei weniger Zellen kann man zwecks Verringerung der Verlustleistung im BD 139/16 (Wärme) das Netzteil auf eine geringere Spannung einstellen.

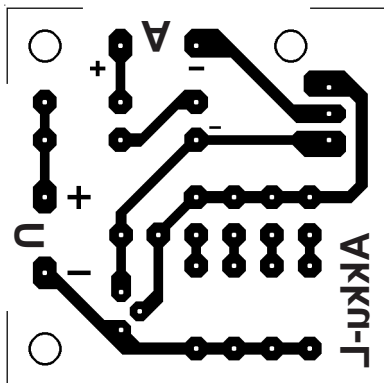
Mit einem 4-fach **Stufenschalter** können 4 verschiedene Ladeströme, die je nach Widerstandswert festgelegt sind, eingestellt werden. Wird nur ein Ladestrom benötigt, genügt der Einbau des entsprechenden Widerstandes mit der Brücke.

Vorschläge für die Wahl des Widerstandes R1 (Berechnung mit der Formel)

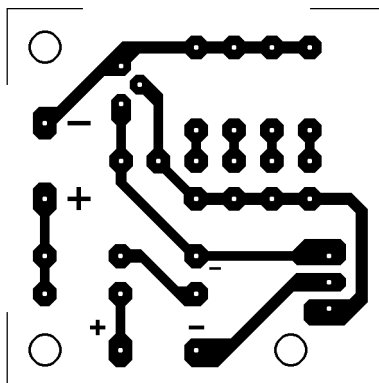
110 mAh ... Ladestrom	11 mA ... R1 =	56 Ω
500 mAh ... Ladestrom	50 mA ... R1 =	12 Ω
1800 mAh ... Ladestrom	180 mA ... R1 =	3,9 Ω
4000 mAh ... Ladestrom	400 mA ... R1 =	1,8 Ω



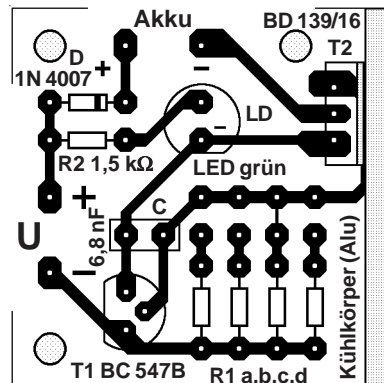
Vorlage für Fotomethode



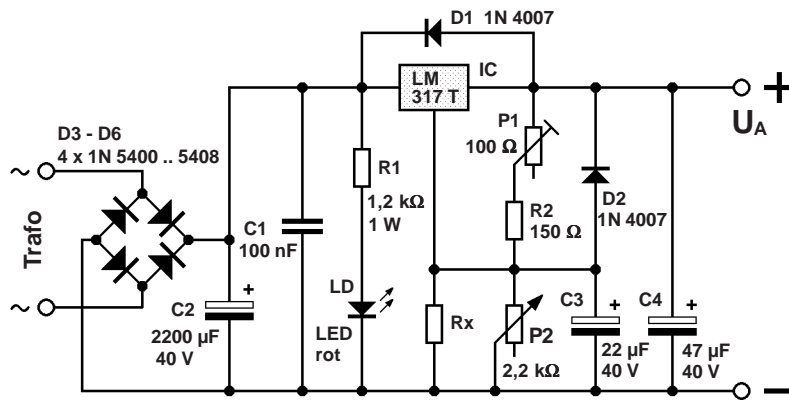
Vorlage für Zeichenmethode



Bestückungsplan



Netzgerät LM 317



Bauelemente

R1	.....	1,2 kOhm/1W
R2	.....	150 Ohm
P1	.....	100 Ohm (Trimpot.)
P2	.....	2,2 kOhm (Potentiometer)
C1	.....	100 nF
C2	.....	2200 µF/40V
C3	.....	22 µF/40V
C4	.....	47 µF/40V
LD	.....	LED rot
D1+ D2	.....	1N 4007
D3 - D6	.....	1N 5400
IC	.....	LM 317T
Lötstifte (1 mm)	.....	4 Stück
Platine	.....	80 x 50 mm

Mit dem **Spannungsregler-IC LM 317T** lässt sich ein vielseitig verwendbares **Netzgerät** aufbauen. Die Ausgangsspannung kann je nach verwendetem Transformator zwischen **1,25 Volt** und maximal **37 Volt** bei einem Strom von **1,5 Ampere** eingestellt werden. Dazu werden im Prinzip nur die Widerstände R2 und eventuell Rx, das Trimpotentiometer P1 und das Potentiometer P2 benötigt. Der LM 317 T verfügt über ein besseres Regelverhalten als die Festspannungsregler und ist intern **gegen Überlastung** geschützt.

Einige zusätzliche Bauelemente dienen noch zur Verbesserung der ohnehin sehr guten Eigenschaften. C1 dient als Entkoppelkondensator direkt am Reglereingang. C3 entkoppelt die interne Referenzspannung und verbessert dadurch die Brummunterdrückung. Durch den parallel zum Ausgang geschalteten Kondensator C4 werden Spannungsspitzen durch impulsförmige Laständerungen weitgehend abgeflacht.

Die Schutzdiode D2 sorgt bei Kurzschlüssen am Ausgang für eine schnelle Entladung von C3. Wird z.B. beim Laden eines Akkus die Stromversorgung an der Primärseite des Transformators unterbrochen, ohne dass vorher der Akku abgeklemmt wird, so kann der Strom über D1 um den LM 317 herumfließen. Auch C4 kann sich so beim Ausschalten des Netzteils über D1 entladen.

Formel zur **Berechnung** der maximal möglichen **Ausgangsspannung**

$$U_A = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{P2}{(P1 + R2)}\right)$$

Wird zum Potentiometer P2 der Widerstand Rx parallelgeschaltet, so ist diese Parallelschaltung bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Die **Spannungseinstellung** wird mit dem Potentiometer P2 vorgenommen. Sollte P2 einen geringfügig zu großen Wert haben - z.B. 2,5 kOhm anstatt 2,2 kOhm -, so ist der Widerstand Rx zur Anpassung vorgesehen (z.B. 10 kOhm). Wird Rx eingebaut, so ist die Spannungseinstellung nicht mehr linear, sondern weicht geringfügig von einer Geraden ab.

Um die **maximal mögliche Ausgangsspannung** an die vorhandene Eingangsspannung (Trafo, Akku) optimal und in einem weiteren Bereich anpassen zu können, ist der Strom über der internen Referenzspannung (1,25 Volt) innerhalb bestimmter Grenzen mit P1 einstellbar. In der angegebenen Schaltung erstreckt sich dieser Bereich von etwa 12,25 Volt bis 19,6 Volt.

Werden andere Bereiche gewünscht, so ist P2 entweder zu verkleinern (1 kOhm) oder zu vergrößern (4,7 kOhm). Mit der angegebenen Formel lässt sich die **Ausgangsspannung U_A** berechnen.

Kühlung des Spannungsreglers LM 317T

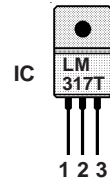
Die über dem LM 317T abfallende Verlustleistung wird im IC in Wärme umgesetzt, die abgeführt werden muss. Dazu ist der Spannungsregler mit einem M3-Schrauben auf einem geeigneten **Kühlkörper** zu montieren. Auch ein selbstgefertigtes Kühlblech aus Aluminium (Stärke: 3 - 5 mm) mit einer Fläche von mehr als 100 cm² als Gehäuse-rückwand ist in den meisten Fällen ausreichend. In jedem Fall muss zur Erhöhung des Wärmeleitwertes zwischen IC und Kühlblech Wärmeleitpaste verwendet werden.

Kabelverbindungen

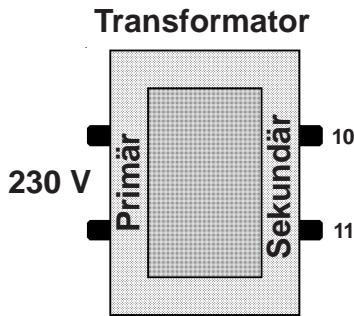
Die Kabelverbindungen von der Platine zum LM 317T sind aus einer **dicken Litze** herzustellen und sollten so **kurz** wie möglich sein. Dasselbe gilt für die Verdrahtung vom Transformator zur Schaltung und von der Schaltung zu den Anschlussbuchsen. Ansonsten sind dünne Litzen ausreichend.

Netzgerät LM 317

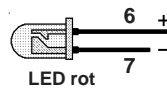
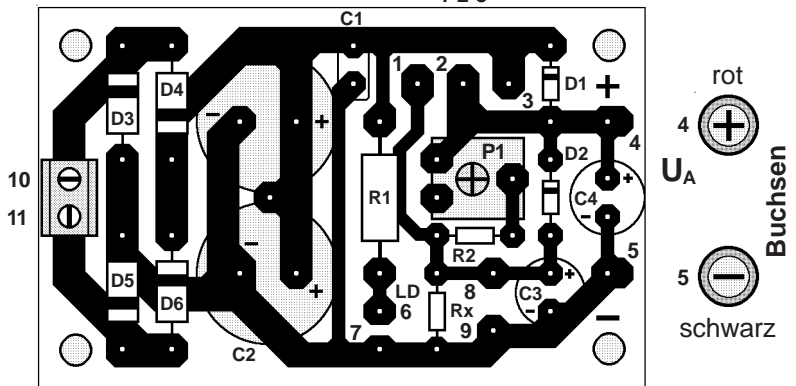
Transformator: Die maximale Ausgangsspannung U_A des Netzgerätes hängt von der **Sekundärspannung** des Transformators U_N ab. Näherungsweise ergibt sich U_A mit folgender Formel: $U_A = 1,3 \cdot U_N - 4$
Die Sekundärspannung des verwendeten Transformators sollte 24 Volt nicht überschreiten.



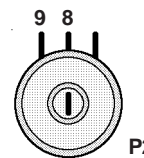
Der IC wird in der abgebildeten Anschlussfolge (1 - 2 - 3) mit **kurzen dicken Litzen** mit der Platine verbunden.



Primär- und Sekundärseite eines Trafos dürfen nicht verwechselt werden. Daher müssen die Spulenwiderstände mit dem Multimeter gemessen werden. Die **Primärseite** (230 Volt) hat einen **höheren Spulenwiderstand** als die Sekundärseite.

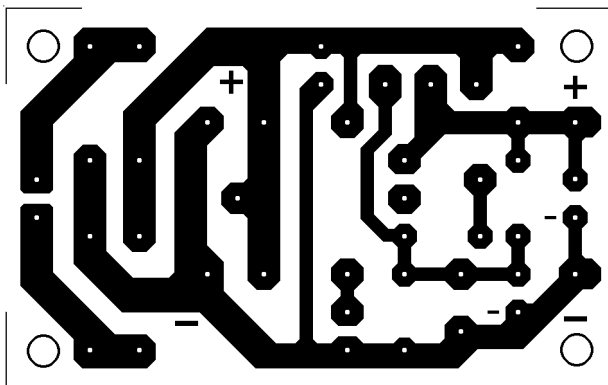


Beim Anschluss der LED ist auf die richtige Polung zu achten.

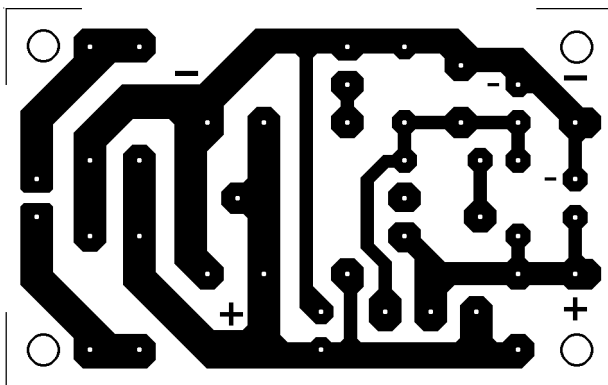


Die Abbildung zeigt die Rückseite des Potentiometers P2.

Vorlage für Fotomethode



Vorlage für Zeichenmethode



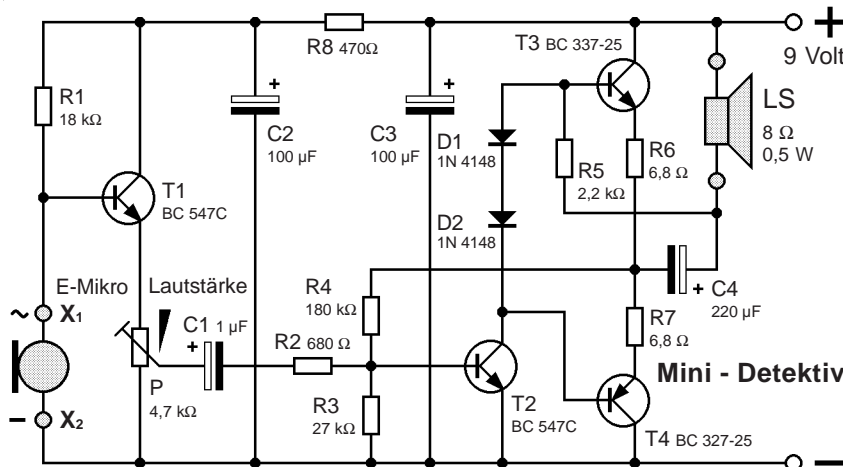
Der ideale Transformator für diese Netzteil sollte eine Sekundärspannung von 15 Volt haben und dabei einen Strom von 2,2 Ampere liefern. Der **Ladekondensator C2** ist so zu dimensionieren, dass auf einen Strom von **1 mA** etwa **1 - 2 µF** Kondensatorkapazität entfallen. Bei 1000 mA genügen also 1000 - 1500 µF. Die Platine ist so ausgelegt, dass für **C2** auch **zwei Kondensatoren parallel** geschaltet werden können.

Hinweise zum Aufbau des Netzgerätes

Das Netzteil mit dem Transformator muss in ein **geeignetes Gehäuse** eingebaut werden. An der Primärseite des Transformators ist ein Schalter für die Netzspannung vorzusehen, ebenfalls eine Sicherung (flink) in Abhängigkeit vom verwendeten Transformator.

Beim Einstellen der maximal möglichen Ausgangsspannung ist zu beachten, dass dies bei geöffnetem Gehäuse, in dem die Netzspannung offen zugänglich ist, geschieht. Dabei sind die entsprechenden **Sicherheitsbestimmungen** zu beachten. Derartige Arbeiten, sowie die Verdrahtung mit der Netzspannung, sind daher nur vom Fachmann durchzuführen.

Eine **andere Möglichkeit der Stromversorgung** ist ein **Wechselspannungs-Stecker-Netzteil**. Das Problem mit der Netzspannung von 230 Volt entfällt in diesem Fall. Das Stecker-Netzteil sollte allerdings mindestens einen Strom von 1 Ampere liefern können.



Bauelemente-Stückliste

R1	.....	18 kOhm
R2	.....	680 Ohm
R3	.....	27 kOhm
R4	.....	180 kOhm
R5	.....	2,2 kOhm
R6, R7	.....	6,8 Ohm
R8	.....	470 Ohm
P	.....	4,7 kOhm
C1	.....	1 µF
C2, C3	.....	100 µF
C4	.....	220 µF
D1, D2	.....	1N 4148
T1, T2	.....	BC 547C
T3	.....	BC 337-25
T4	.....	BC 327-25

Der Mini-Detektiv ist eine einfache aber sehr wirkungsvolle **Verstärkerschaltung**. Er kann als **Abhöranlage**, zur **Babyüberwachung**, aber auch, wenn man zwei Schaltungen baut, als sehr praktische **Gegensprechanlage** verwendet werden. Als Schallaufnehmer dient ein 2-poliges **Elektret-Mikrofon**, das bereits einen Verstärker eingebaut hat. Über T1, das Trimpotentiometer P, C1 und R2 gelangt das Signal auf die Basis des Transistors T2, der das Signal verstärkt. T2 steuert eine **Gegentakt-Endstufe** - T3 und T4 -, wobei der Widerstand R5 die Verstärkung noch einmal erhöht. Über C4 wird das mittels der Endstufen-transistoren verstärkte Signal an den Lautsprecher ausgekoppelt.

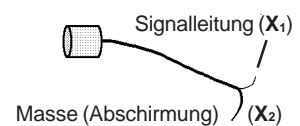
Mit dem **Trimpotentiometer P** wird die Lautstärke eingestellt. Wenn Lautsprecher und Mikrofon zu eng beieinander liegen, kann es zu Rückkopplungen (Pfeifen im Lautsprecher) kommen. In diesem Fall sollte die Lautstärke so weit zurückgedreht werden, bis das Pfeifen verschwindet.

Das **Elektret-Mikrofon** wird mit den beiden Anschlüssen richtig gepolt an die Punkte **X1** und **X2** gelötet. Die Mikrofonzuleitung sollte nicht verlängert werden. Die beiden **Verbindungskabel** von den Lautsprecheranschlüssen bis zum Lautsprecher können ohne Probleme **bis zu 50 m** lang sein.

Die **Ruhestromaufnahme** der Schaltung liegt bei etwa **5 mA**. Als Stromversorgung eignet sich eine **Batterie** oder ein **elektronisch stabilisiertes Netzgerät**.

- Elektret-Mikrofon 2-polig
- Lautsprecher 8 Ω / 0,5 W
- Lötstifte (1 mm) 6 Stück
- Platine 50 x 50 mm

Elektret-Mikrofon

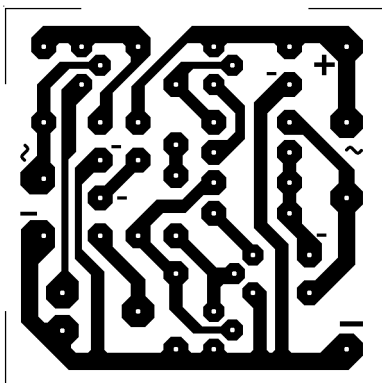


Platinenlayout

Vorlage für die Fotomethode

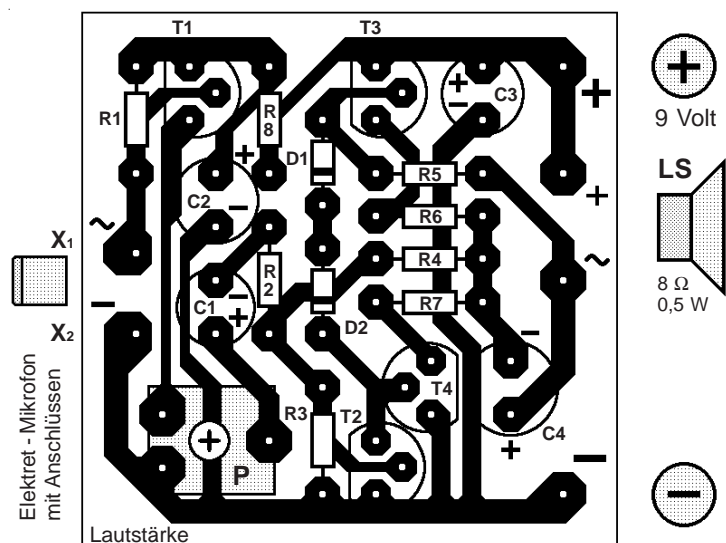
Das Layout der Schaltung ist so abgebildet, als würde man **von oben** - also von der **Bestückungsseite** - auf die Schaltung blicken.

Es kann mit einem Kopierer auf eine Kopierfolie, die dann zum Belichten verwendet wird, übertragen werden.

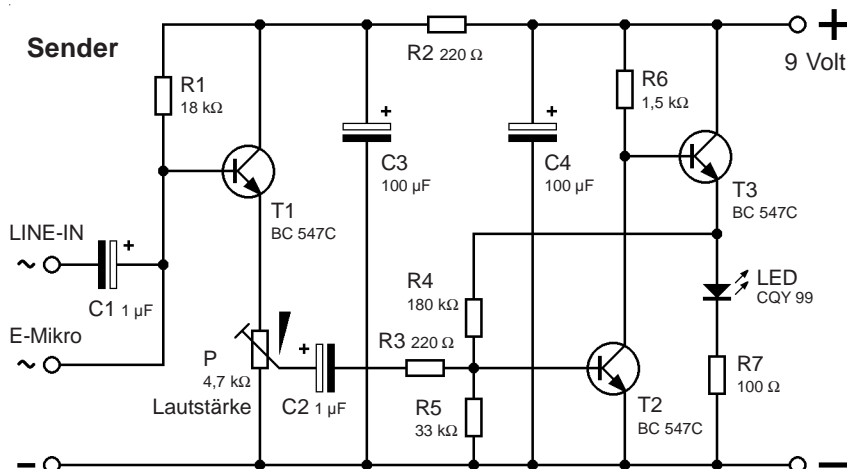


Bestückungsplan

Der Bestückungsplan ist vergrößert und mit Blick auf die Bauelemente-**seite** dargestellt. Beim **Einbau der Bauelemente** ist auf deren **richtige Polung** entsprechend der Abbildung zu achten.



Infrarot - Signalübertragung Sender



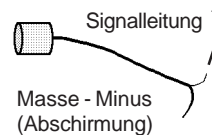
Bauelemente-Stückliste

R1.....	18 kOhm
R2.....	220 Ohm
R3.....	220 Ohm
R4.....	180 kOhm
R5.....	33 kOhm
R6.....	1,5 kOhm
R7.....	100 Ohm
P.....	4,7 kOhm
C1,C2.....	1 µF
C3,C4.....	100 µF
LED.....	CQY 99
T1,T2,T3.....	BC 547C
Elektret-Mikrofon.....	2-polig
Klinkenstecker.....	3,5 mm
Reflektor für LED.....	5 mm
Lötstifte (1 mm).....	5 Stück
Platine.....	50 x 50 mm

Der Infrarot-Sender wandelt ein **akustisches** in ein **optisches Signal** um. Die Signalaufnahme kann über ein Elektret-Mikrofon (Eingang: E-Mikro) oder aus einem Radio, Walkman, CD-Player, ... (LINE-OUT ... LINE-IN) erfolgen. Das optische Signal wird im infraroten Bereich vom Sender (CQY 99) abgestrahlt, wobei die Reichweite bis zu 10 m und mit zusätzlichen Reflektoren auch noch mehr betragen kann. Die größte Reichweite erzielt man beim Anschluss eines Gerätes an den LINE-IN - Eingang.

Das **Eingangssignal** wird durch den Impedanzwandler T1 strommäßig verstärkt, wobei mit P die Lautstärke für den Empfänger eingestellt werden kann. Über C2 und R3 gelangt das Signal an die Basis des Transistors T2, der über R4 und R5 so eingestellt ist, dass sich am Emitter von T3 ohne Eingangssignal eine Spannung von **5 Volt** einstellt. Im Ruhezustand leuchtet die Sendediode CQY 99 also mit mittlerer Helligkeit. Liegt ein Eingangssignal an, leitet T2 in Abhängigkeit von dieser Frequenz. T2 steuert mit R6 den Transistor T3, der die Sendediode mit Strom versorgt. Ein Reflektor für die Sendediode erhöht die Leuchtintensität. Als Stromversorgung eignet sich eine elektronisch stabilisierte Spannung von **9 Volt** oder eine 9 Volt - Batterie. **Stromaufnahme** der Schaltung: ca. **40 mA**.

Elektret-Mikrofon



Elektret-Mikrofon- und Klinkenstecker-Anschluss (LINE-IN) dürfen **nicht gleichzeitig** am Eingang der Schaltung in Betrieb sein.

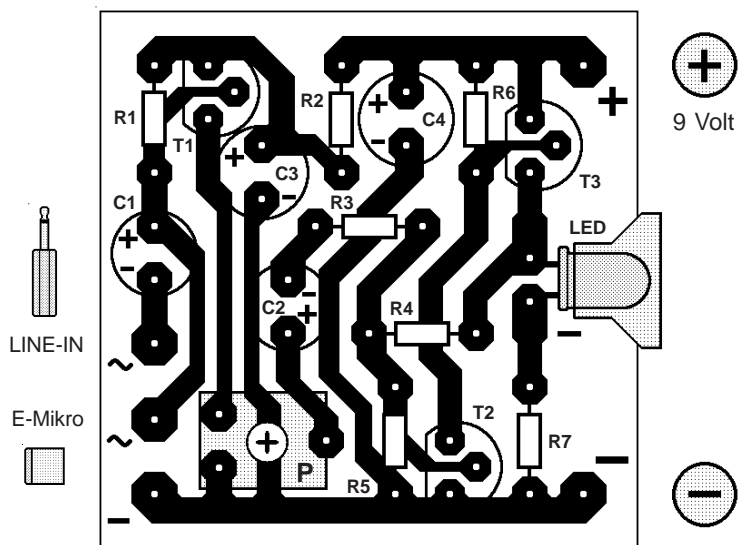
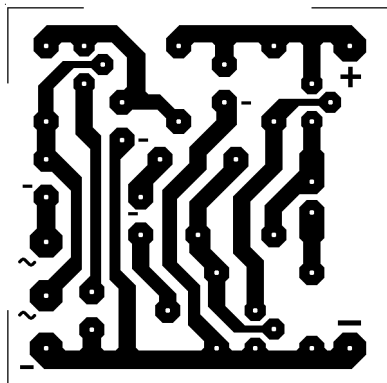
Beim Einbau der LED ist auf die Polarität zu achten. Der **kurze Anschluss** liegt auf **MINUS (-)**. Außerdem muss sie auf den Empfänger ausgerichtet werden.

Vom **Klinkenstecker** führt eine dünne Doppellitze von etwa 50 cm zum LINE-IN - Eingang. Der MINUS-Pol der Schaltung wird mit dem Außenanschluss (= langer Streifen) im Stecker verbunden.

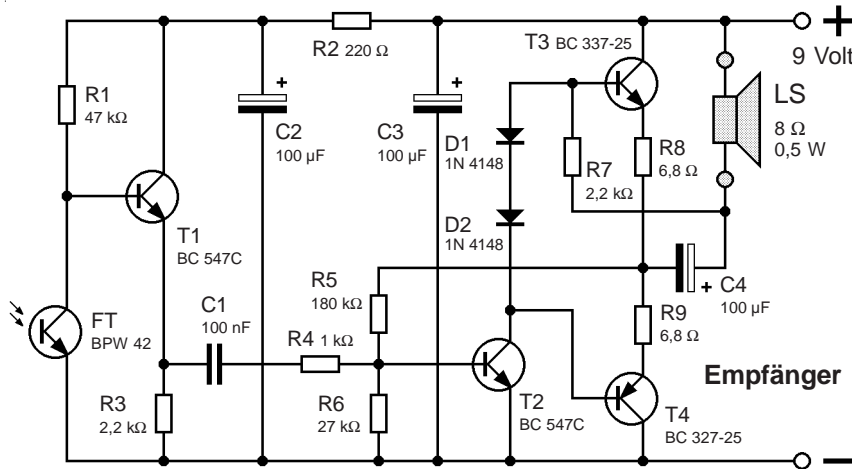
Bestückungsplan

Der Bestückungsplan ist vergrößert und mit Blick auf die Bauelementeseite dargestellt. Beim **Einbau der Bauelemente** ist auf deren **richtige Polung** entsprechend der Abbildung zu achten.

Platinenlayout Vorlage für die Fotomethode



Infrarot - Signalübertragung Empfänger



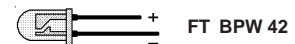
Bauelemente-Stückliste

R1.....	47 kOhm
R2	220 Ohm
R3	2,2 kOhm
R4	1 kOhm
R5	180 kOhm
R6	27 kOhm
R7	2,2 kOhm
R8,R9	6,8 Ohm
C1.....	100 nF
C2,C3,C4	100 µF
D1,D2	1N 4148
T1,T2	BC 547C
T3	BC 337-25
T4	BC 327-25
FT	BPW 42
Reflektor für LED	3 mm
Lautsprecher	8 Ω / 0,5 W
Lötstifte (1 mm)	4 Stück
Platine	50 x 50 mm

Der Infrarot-Empfänger wandelt ein **optisches** in ein **akustisches Signal** um. Das Signal vom Sender wird vom Fototransistor FT (BPW 42) empfangen und vom Impedanzwandler T1 strommäßig verstärkt. Über C1 und R4 gelangt das Signal an die Basis des Transistors T2, der als Spannungsverstärker geschaltet ist. T2 steuert die Gegentakt-Endstufe - T3 und T4 -, wobei R7 die Verstärkung noch einmal erhöht. Über C4 wird das mittels der Endstufentransistoren verstärkte Signal an den Lautsprecher ausgekoppelt. C2 und C3 sorgen mit R2 für eine ausreichende Unterdrückung von Spannungsschwankungen.

Der Fototransistor FT muß mit dem Reflektor genau auf den Sender ausgerichtet werden. Besonders wichtig ist die **Abschirmung des Fototransistors** vor **zu starker Beleuchtung** und vor Beleuchtung durch Lampen, die an der **Netzspannung** liegen, da dadurch ein intensives **100 Hertz - Brummen** im Lautsprecher entstehen kann. Als Abschirmung eignet sich ein **Rohr aus schwarzem Tonpapier** mit einer **Länge** von etwa **5 cm** und einem **Durchmesser** von genau **1,2 cm**, der dem Reflektordurchmesser entspricht. Dieses Rohr wird vorsichtig außen am Reflektor angeklebt.

Als Stromversorgung eignet sich eine elektronisch stabilisierte Spannung von **9 Volt** oder eine 9 Volt - Batterie. **Ruhestromaufnahme** der Schaltung: **5 mA**.

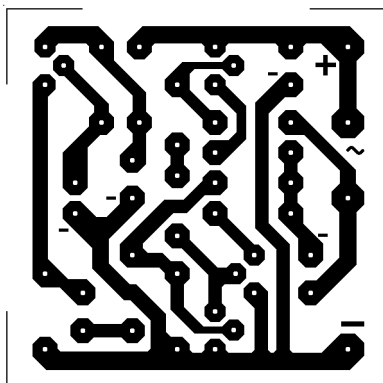


Beim Einbau des **Fototransistors** FT (BPW 42) ist auf die Polarität zu achten. Der **lange Anschluss** liegt auf **MINUS (-)**. Außerdem muss der FT auf den Sender - also nach links - ausgerichtet werden.



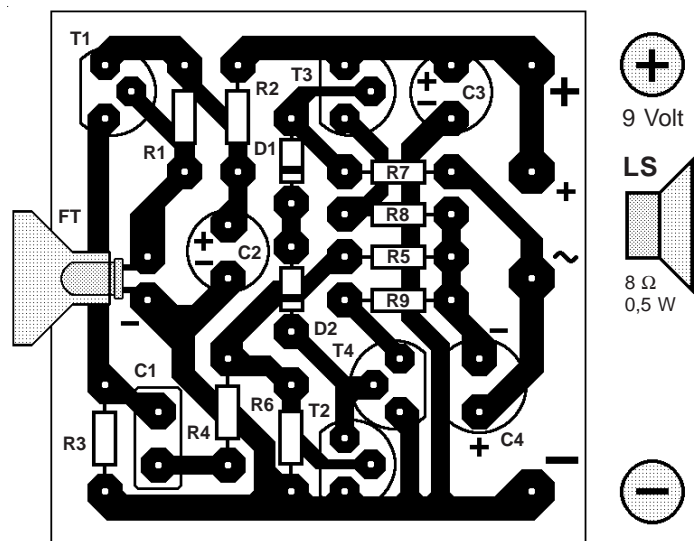
Rohr aus schwarzem Tonpapier zur Abschirmung des Fototransistors BPW 42 vor zu starker Beleuchtung und vor 100 Hertz - Frequenz.

Platinenlayout Vorlage für die Fotomethode



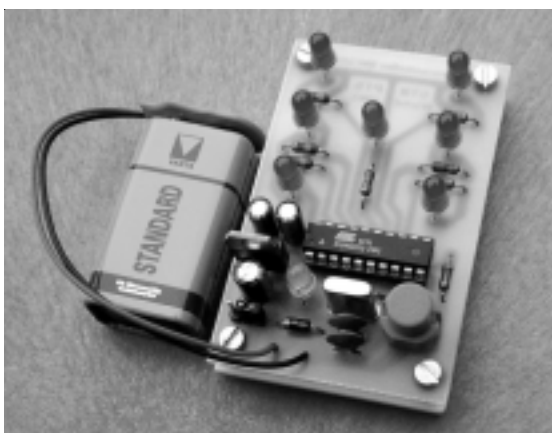
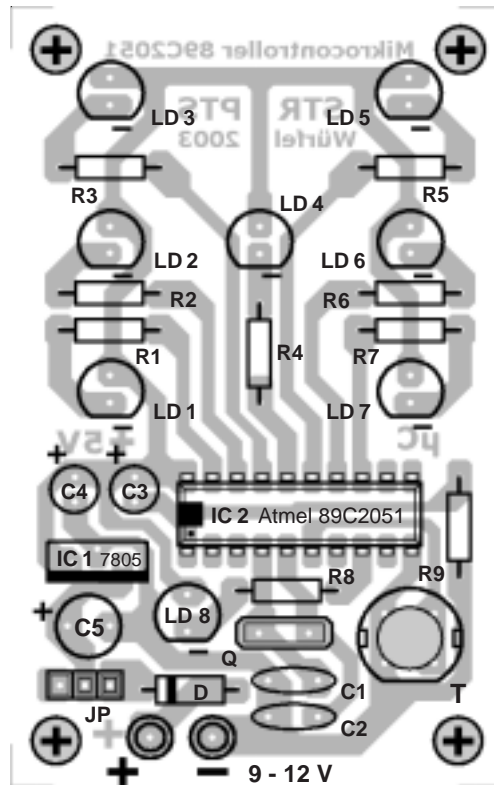
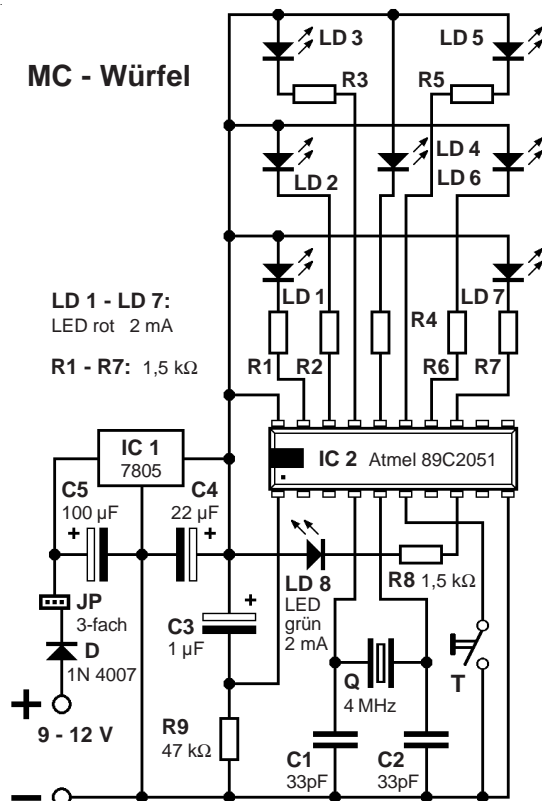
Bestückungsplan

Der Bestückungsplan ist vergrößert und mit Blick auf die Bauelementeseite dargestellt. Beim **Einbau der Bauelemente** ist auf deren **richtige Polung** entsprechend der Abbildung zu achten.



MC - Würfel

Dieser elektronische Würfel ist mit einem Mikrocontroller aufgebaut und benötigt daher sehr wenige zusätzliche Bauelemente. Der Vorteil besteht zusätzlich noch darin, dass die Funktion der Schaltung über die Software, die sich im Mikrocontroller befindet, verändert werden kann, ohne dass Änderungen an der Hardware durchgeführt werden müssen.



Bauelemente - Stückliste

R1 - R8	1,5 kOhm	Q	Quarz 4 MHz
R9	47 kOhm	T	Taster
C1, C2	33 pF	JP	Jumper
C3	1 μF	IC-Fassung	20-polig
C4	22 μF	Platine	80 x 50 mm
C5	100 μF	4 Schrauben	M3 - 12 mm
D	1N 4007	4 Muttern	M3
LD1 - LD7	LED rot 2mA	4 Distanzscheiben	
LD8	LED grün 2mA	Kunststoffplatte	80 x 50 mm
IC1	M 7805	Batterieclips	9 Volt
IC2	89C2051	Batterie	9 Volt

Mikrocontroller:

Ein Mikrocontroller ist ein komplettes System, bestehend aus der CPU (Recheneinheit/Mikroprozessor), dem Programmspeicher (Flash oder Eprom) dem Arbeitsspeicher (RAM) und der Ein/Ausgabe auf einem Chip. Diese Bausteine werden in vielen Geräten als „Mini-PCs“ eingesetzt und steuern z.B. Heizungen, Drucker, Wecker, Garagentore,

Daten des Atmel 89C2051:

... Flash-Programmspeicher mit 2 kByte
 ... 128 Bytes integriertes RAM
 ... Taktfrequenz von 0 Hz bis 24 MHz
 ... 15 programmierbare Ein-/Ausgänge
 ... zwei 16-Bit Timer
 ... LED Treiber Ausgänge
 ... 3,0 bis 6,0 Volt Betriebsspannung

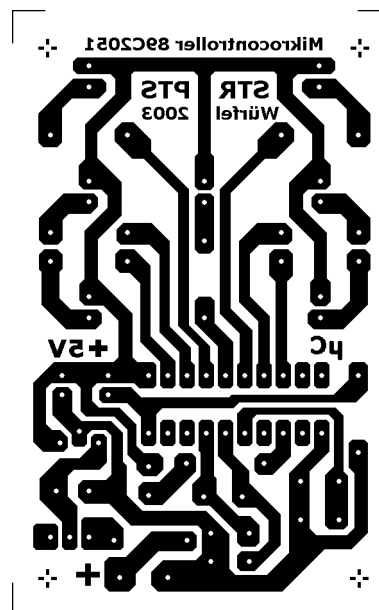
Platinenlayout Vorlage für die Fotomethode

Das **Layout der Schaltung** ist so abgebildet, als würde man von **oben** - also von der **Bestückungsseite** - auf die Schaltung blicken.

Das **Layout** kann mit einem guten Kopierer auf eine Kopierfolie, die dann **zum Belichten** verwendet wird, übertragen werden. Auch der Ausdruck mit einem Laserdrucker bringt gleich gute Ergebnisse.

In beiden Fällen ist zu beachten, dass **eine Kopie** oder **ein Ausdruck** normalerweise **nicht ausreicht**, da diese zumeist zu wenig lichtdicht sind. Üblicherweise genügen jedoch **zwei Folien**, die **deckungsgleich** übereinandergeklebt werden müssen.

Die **Belichtungszeit** ist abhängig vom Belichtungsgerät und auch von der Qualität der fotopositiv beschichteten Platine. Es empfiehlt sich, kleine Probestücke zu belichten und zu entwickeln. Gegebenenfalls ist die Belichtungszeit so lange zu verringern, bis reine Kupferflächen entstehen. Die Qualität der Platine ist bereits nach dem Entwickeln erkennbar.



Das **Layout (1 zu 1)** kann auf Folie ausgedruckt oder kopiert werden. Der freie Rand um das Layout ist für das Verkleben der beiden notwendigen Folien.

Schaltungsbeschreibung ... MC-Würfel

Der MC-Würfel ist grundsätzlich sehr einfach aufgebaut. Seine **Intelligenz** liegt in der **Software**, die im Mikrocontroller gespeichert ist. Diese Software kann **nachträglich** nahezu **beliebig verändert** und **erweitert** werden, ohne die Hardware ändern zu müssen.

Da der Mikrocontroller nur in einem Spannungsbereich von 3 - 6 Volt arbeitet, ist dem MC ein **Spannungsregler mit 5 Volt** vorgeschaltet, wobei die gesamte Schaltung mit der **Diode D** gegen falsch gepolte Betriebsspannung geschützt ist. Mit dem **Jumper JP** kann die Stromversorgung unterbrochen werden. Bei geschlossenem Jumper leuchtet die **grüne LED**. Damit ist eine Kontrolle für den Anschluss der Stromversorgung vorhanden. Anstatt des Jumpers JP kann natürlich auch ein Schalter, der in ein Gehäuse eingebaut werden kann, verwendet werden.

Nach dem **Anschluss der Betriebsspannung** (Jumper JP rechts) bewirken C3 und R9 einen **Reset** und sorgen somit für einen definierten Anfangszustand der Schaltung. Als **Taktgeber** für den Programmablauf fungiert ein **4 MHz - Quarz** mit den beiden 33 pF - Kondensatoren.

Wird der **Taster T** betätigt, zählt der MC mit hoher Geschwindigkeit immer wieder von 1 bis 6. Der Zeitpunkt, zu dem man den Taster losläßt, kann man somit nicht kontrollieren. Wird der Taster also losgelassen, dann bleibt der Würfel scheinbar zufällig bei irgendeinem Zählerstand stehen. Das ist dann die gewürfelte Zahl. Um alle Zahlen des Würfels vollständig darstellen zu können, benötigt man natürlich **7 Leuchtdioden**.

Grundsätzlich sind die einzelnen Ausgänge des MC in der Lage, im low-Zustand (Ausgang = 0) einen Strom von 20 mA zu liefern. Insgesamt sollten laut Datenblatt alle Ausgänge jedoch nicht mit mehr als 80 mA belastet werden. Bei einem 6-er würden sich somit 120 mA ergeben. Aus diesem Grund und um die Stromquelle, zumeist wird eine 9 Volt - Batterie verwendet, nicht zu sehr zu belasten, werden rote Leuchtdioden mit einem **maximalen Strom von 2 mA** (= low current) verwendet. Deren Leuchtstärke ist zumindest genau so groß wie die der Standard-LEDs. Dasselbe gilt auch für die **grüne Kontroll-LED**, die nach dem Einschalten und während des Würfel-Vorgangs aufleuchtet.

Elektronischer Würfel mit Atmel 89C2051 Musterprogramm

Beim nachfolgenden Programm handelt es sich um ein Musterprogramm für einen elektronischen Würfel, der die Zahlen 1 bis 6 zufällig in Abhängigkeit vom Tastendruck darstellt. Dieses Programm kann nur mit der dazupassenden in den vorangegangenen Seiten beschriebenen Hardware verwendet werden, da die Pinbelegungen mit der Programmierung übereinstimmen müssen (z.B. die Belegung der 7 LED-Ausgänge für die Würfel-Anzeige, Betriebsanzeige grüne LED, Belegung des Start-Tasters).

Für die Leuchtdioden sind ausnahmslos Typen mit einem maximalen Strom von etwa 2 mA zu verwenden (low current LED) oder ultrahelle LED, die mit max. 2 mA betrieben werden.

'Der Würfel wird per Tastendruck gestartet (geworfen) und zeigt
'dann die gewürfelte Zahl über LEDs in der Form wie bei einem
'normalen Würfel an. Zusätzlich schaltet er sich nach ca. 30
'Sekunden ohne Tastendruck automatisch in den Stromsparmodus.
'Darin benötigt die Schaltung bei 4MHz unter 1 mA.

'Da der MC keine Zufallswerte kennt, wird die Zahl durch einen
'kleinen Trick erzeugt. Betätigt man den Taster, zählt der MC
'mit hoher Geschwindigkeit immer wieder von 1 bis 6.
'Wenn man den Taster loslässt, wird die aktuelle Zahl angezeigt.
'Da man als Mensch nie im Mikrosekundenbereich gleichmäßig
'lange den Taster betätigen kann, kommen zufällige Werte heraus.

'Informationen sowie weitere Hinweise zu Hard- und Software
'gibts unter www.batronix.de bzw. unter www.cquadrat.net .

' Port 1.1-1.7: Die 7 LED's des Würfel's

'Definitionen:

INCLUDE 89C2051.mc

Taster EQU P3.2

Neu BIT 00h

'Start:

LJMP Initialisierung 'Springe nach einem Reset direkt zur Initialisierung

'Interruptadresse für den Externen Interrupt 0 (Taster betätigt):

(0003h):

MOV P1,#11111111b

CLR P3.4 'grüne LED ... Betriebsanzeige leuchtet

Hochzählen:

INC R0

IF R0 = #07 THEN MOV R0,#01 'Überlauf des Würfelzählers

'Wiederhole bis der Taster nicht mehr betätigt (1) ist:

IF NOT BIT Taster THEN AJMP Hochzählen

SETB Neu 'Im Bit Neu merkt sich das Programm den neuen Wurf

SETB P3.4 'grüne LED ... dunkel bei aktiver Anzeige (= Würfelvorgang)

'Würfelzahl darstellen:

```
IF R0 = #01 THEN MOV P1,#11101111b      'Würfelzahl 1
IF R0 = #02 THEN MOV P1,#01110111b      'Würfelzahl 2
IF R0 = #03 THEN MOV P1,#01100111b      'Würfelzahl 3
IF R0 = #04 THEN MOV P1,#01010101b      'Würfelzahl 4
IF R0 = #05 THEN MOV P1,#01000101b      'Würfelzahl 5
IF R0 = #06 THEN MOV P1,#00010001b      'Würfelzahl 6
RETI                                     'Springe zurück aus der Interrupt-Routine in
                                         'den normalen Programmablauf. In diesem Fall
                                         'also zum Befehl nach dem, der den MC in den
                                         'Idle-Zustand gesetzt hat.
```

Initialisierung:

```
MOV P1,#FFh
SETB EA                                'Interruptbehandlung einschalten
SETB EX0                               'Externen Interrupt 0 aktivieren
CLR P3.4                               'grüne LED ... Betriebsanzeige nach dem Einschalten
MOV PCON,#01                           'Setze IDLE (Stromspar) Modus, Taktsignal
                                         'zur CPU wird abgeschaltet. Der MC kann
                                         'diesen Zustand durch einen Interrupt wieder
                                         'verlassen. In diesem Programm verläßt er
                                         'den Stromsparmmodus durch Betätigen des Tasters.
LCALL Warte                             'Nach Verlassen der Interrupt-Routine ist
                                         'dies der nächste Befehl.
LJMP Initialisierung                    'Springe wieder zur Initialisierung
```

'Diese Warte-Routine ist dafür da, den MC ca. 30 Sekunden
'(bei 4 MHz Taktfrequenz) mit dem Herunterzählen der Register zu beschäftigen.

Warte:

```
CLR Neu
For R5 = #0 to #22
  For R6 = #0 to #255
    For R7 = #0 to #255
      JB Neu,Warte                      'Wenn ein neuer Wurf bei der Abarbeitung
                                         'dieser Schleife auftrat, beginne von vorne.
    Next R7
  Next R6
Next R5
RET
```

Natürlich sind noch viele Raffinessen und nette Spielereien mit der Programmierung möglich, ohne dass die Hardware geändert werden muss. Dies soll nur ein Beispiel sein, wie einfach und mit wie wenig Aufwand sich ein Würfel realisieren läßt.

Für eine **Programmänderung** benötigt man ein einfaches **Programmiergerät** und die dazugehörige **Software**. Beides gibt es kostengünstig unter www.batronix.de, wobei das Demoprogramm für eine Dateigröße von maximal 256 Byte ausreicht. Damit lassen sich bereits einfache Aufgabenstellungen zufriedenstellend lösen. Am preisgünstigsten und gängigsten ist der **Mikrocontroller Atmel 89C2051** mit 2 kByte Programmspeicher.