

Platinenherstellung

[Einleitung](#)

[Material und Hilfsmittel](#)

[Layouterstellung](#)

[Layout ausdrucken](#)

[Leiterplattenmaterial](#)

[Belichtung der Platine](#) / [Belichtungsgerät](#)

[Entwickeln](#)

[Ätzen](#)

[Oberflächenbehandlung](#) / [Verzinnen](#)

[Bohren](#)

[Löten](#)

[Versiegeln](#)

Einleitung

Ich will niemandem vorschreiben, wie er seine Leiterplatten herzustellen hat, jeder findet dabei sein eigenen optimalen Weg. Aber im Interesse des Austauschs folgt nun mein Weg einfach, schnell und billig zur gedruckten Schaltung zu kommen.

In einer Fernsehdokumentation zum Thema 'Geldnoten und Geldnotenfälschung' hörte ich einmal den Satz: "*Ziel der Notenbanken war es, jeden Schritt der Geldherstellung so kompliziert wie möglich zu machen und damit den Fälschernd das Handwerk zu erschweren.*" Das erinnerte mich ein wenig an die Herstellung von Platinen. Diese Herstellung erfolgt in einer Reihe von Schritten, und bei keinem der Schritte kann man sich Nachlässigkeit leisten. Man muß jeden Schritt absolut sorgfältig ausführen, nur dann wird man am Ende mit einer guten Platine belohnt.

Material und Hilfsmittel

Um eine Leiterplatte in guter Qualität herzustellen benötigt man folgende Ausrüstung:

Layouterstellung	<ul style="list-style-type: none">• Personalcomputer mit einem einfachen Vektorzeichenprogramm (z.B. CorelDraw 3 von der HP-BigCD)• fotofähiger Tintenstrahldrucker (720 dpi oder besser) und Transparentfolie für Tintenstrahldrucker oder• Laserdrucker und Pergamentpapier
Zum Belichten	<ul style="list-style-type: none">• Schaumstoff (0,5 cm bis 2 cm dick)• Glasplatte• Fotolampe oder anderer UV-Strahler (Höhensonne)
Zum Entwickeln und Ätzen	<ul style="list-style-type: none">• zwei Fotoschalen• Fotozange• Entwickler (Natriumhydroxid)• Ätzmittel (Eisen-III-Chlorid)• Wasser, Belüftung, Gummihandschuhe
Material/Hilfsmittel/Werkzeug	<ul style="list-style-type: none">• fotobeschichtetes Leiterplattenmaterial• Tesafilm• Stoppuhr• Laubsäge• schnelldrehende Bohrmaschine• Bohrer 0,8 mm, 1 mm, 1,5 mm
Zeit	<ul style="list-style-type: none">• Layoutentwurf: je nach Problem• vom Layoutdruck bis zur fertigen Platine: 1 Stunde bis 2 Stunden

Layouterstellung

Zur Layoutentwicklung benötigt man nicht unbedingt teure CAD-Software. Der eigene Kopf und ein Standard-Zeichenprogramm genügen auch.

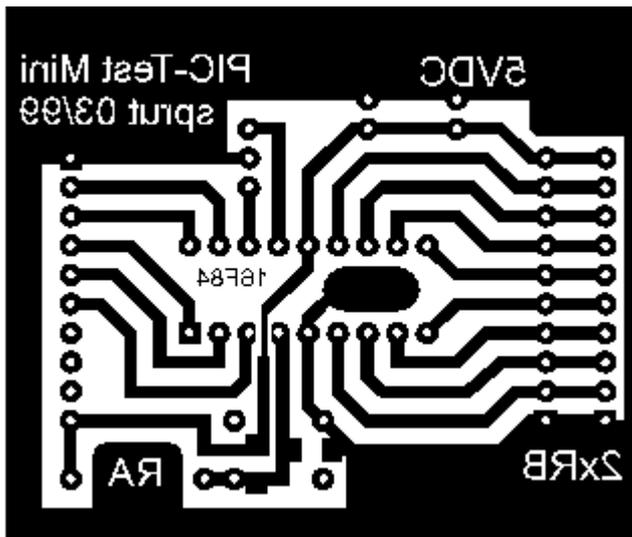
Natürlich habe ich schon mit moderner Software Platinen entwickelt und hergestellt, bzw. herstellen lassen. Für die industrielle Serienproduktion ist das der einzige Weg, Layoutfehler zu vermeiden und einen standardisierten Datenaustausch zwischen Entwickler und Produzent zu garantieren. Wer's probieren will, findet im Web bei CadSoft eine [abgespeckte Light Version von Eagle zum kostenlosen Download](#). Die ist auf 100mmx80mm große Platinen (halbes Europakartenformat) und zwei Leiterbahnebenen beschränkt, was zum Ausprobieren oder für kleine Projekte schon reicht. Auch bei Conrad gibt es ein eigenes Layout-Entwurfsprogramm (Target) zum Download. [Target](#) ist ein weiteres Layoutprogramm, dessen voll funktionsfähige Demoversion auf 100 Pins/Pads sowie auf 2 Ebenen begrenzt ist.

Ich bin wieder zum manuellen Layoutentwurf übergegangen. Warum?

1. Die Zeit, die man mit einem großen Leiterplattenentwurfsprogramm beim Routen (also dem Verlegen der Leiterbahnen) spart, steckt man in der Schaltungsentwurfsphase in das Programm hinein. Jedes Bauelement muß mit der zugehörigen Gehäusebauform eingegeben werden, Gehäuse die dem Programm unbekannt sind müssen erst mit einem speziellen Zeichenprogramm entworfen werden.
2. Die Grundeinstellung für Leiterbahnbreiten, Lötäugen und Durchkontaktierungen sind für chemisch durchkontaktierte Platinen optimiert. Es ist also nicht daran gedacht worden, daß man als Hobbyelektroniker an einer Durchkontaktierung auch noch löten muß. Also muß man alle Grundeinstellungen anpassen.
3. Routing-Programme sind recht hilflos, wenn man ihnen nur einseitige Leiterplatten anbietet. Versucht man es mit zweiseitigen Platinen, so benutzen sie reichlich Durchkontaktierungen. Das ist der Industrie egal, aber ich müßte an jeder Durchkontaktierung 2 mal löten. Da kann ich auch gleich einen Draht ziehen, anstatt eine zweite Leiterplattenseite zu benutzen.
4. Ein Router beachtet nicht, daß Leiterbahnen auf der Bestückungsseite so an ein Bauelement herangeführt werden müssen, daß man da auch noch mit dem LötKolben gut herankommt.
5. Ein Profiprogramm denkt nicht daran, in der Mitte eines Bauelementeanschlusses oder einer Durchkontaktierung ein Loch zu machen. Dafür ist die automatische Bohrmaschine zuständig, die ein entsprechendes Drill-File bekommt. Ich brauche dieses "Loch" im Kupfer aber als Führung für meine Handbohrmaschine, die mit Drill-Files überhaupt nichts anfangen kann.

Solange sich der Bauelementeaufwand also in Grenzen hält nutze ich lieber meinen Kopf und ein Standard-Vektor-Zeichenprogramm.

Einen Vorteil der "großen" Lösung will ich aber nicht verschweigen. Mit einem Spezialprogramm wie Eagle oder Orcad kann man keinen Leiterzug vergessen oder falsch ziehen. Mit meiner manuellen Methode passiert mir das schon mal.



Als Zeichenprogramm für meine Leiterplatten benutze ich übrigens CorelDraw 3. Das klingt etwas altbacken, für maßhaltige schwarze Linien, Kreise und Flächen (also Leiterbahnen) ist das aber völlig ausreichend, und dieses Programm gibt es inzwischen fast umsonst: z.B. auf der BIG-CD, die es manchmal zu HP-Druckpatronen dazugibt.

Layouts entwerfe ich positiv (Kupfer = schwarz, kein Kupfer = nichts = weiß) und in der Ansicht von der Bestückungsseite her. Dadurch vermeidet man Verwechslungen bei IC-Pin-Belegungen. Der Entwurf ist damit spiegelbildlich, was für den folgenden fotochemischen Prozeß ohnehin nötig ist. Man sollte unbedingt etwas Text (spiegelbildlich!) im Layout vorsehen. Dadurch erkennt man später auf einen Blick die Vorder- und Rückseite des Layouts. Wie ich solche CDR-Dateien erstelle sieht man am linken Bild oder an Beispielen aus der [Projekte](#)-Seite.

Grundregeln:

- Das Zeichenprogramm auf die Maßeinheit "Inch" umstellen. Schaltkreisanschlüsse liegen nicht im 2,5 mm-Raster sondern im 1/10-Zoll-Raster (ca. 2,54 mm).
- In den Lötäugen ein Zentrierloch zum Bohren vorsehen
- Beschriftungen (seitenverkehrt!) nicht vergessen
- Leere Bereiche mit schwarzen Masse-Flächen auffüllen (beschleunigt das Ätzen).
- Leiterplattenmaterial gibt es in Standardgrößen zu kaufen (75x100mm, 160x100 mm), wenn man sich beim Layout schon auf so eine Größe festlegt, erspart man sich später das Sägen.

Layout ausdrucken

Für die fotochemische Platinenherstellung braucht man einen Ausdruck des Layouts auf einem transparenten Medium: Transparentpapier oder Transparentfolie. Welchen Weg man hier wählt, hängt von der eigenen technischen Ausstattung ab. Prinzipiell eignen sich Tintenstrahldrucker und Laserdrucker.

Die besten Ausdrücke habe ich mit einem hochauflösendem Tintenstrahldrucker (Epson Stylus Foto) auf HP-Transparentfolie (HP Premium Inkjet Transparency Film, HP C3835A) erhalten. Diese Folie fühlt sich auf einer Seite rau an. Diese Seite ist zu bedrucken. Die raue Oberflächenstruktur verhindert das Verlaufen der Tinte. Es ist unbedingt im Druckertreiber als Druckmedium "Photo Quality Glossy Film" einzustellen und die höchste Ausdruckqualität auszuwählen, ansonsten werden die schwarzen Flächen nicht blickdicht. (In der Einstellung "Ink Jet Transparencies" schaltet der Drucker dagegen auf 360 dpi herunter, was zu nichtdeckender Tintenauftragung führt.) Ein Düsentest vor dem Ausdruck vermeidet unangenehme Überraschungen in Form von horizontalen weißen Linien.

Wer einen anderen Drucker benutzt sollte wenigstens 600 DPI einstellen können. Keinen Erfolg hatte ich mit einem Billig-HP-Deskjet, der nur 300 DPI kann. Der Tintenauftrag war je nach Treibereinstellung nicht flächendeckend oder mit grüner Tinte vermischt. (Das mag ja auf Papier Sinn machen, aber nicht bei Belichtungsvorlagen.) Auch ein HP-Deskjet 600 (300 DPI) brachte nur mäßige Ergebnisse (Beste Ergebnisse in der Einstellung Spezialpapier, aber nicht blickdicht). (Die alte Tintenstahler-Druckerfolie HP51630S-CX JetSeries Transparency Film ist übrigens völlig ungeeignet, da hier die Farbe abperlt.)

Wer mit der Transparentfolie keine blickdichten Ausdrücke erzielt (oder falls die Transparentfolie zu teuer ist), kann alternativ folgende preiswerte Lösung versuchen. Man druckt auf normalem Papier mit bestmöglicher Auflösung. Durch das Aufsaugen/Verlaufen der Tinte ist ein blickdichter Ausdruck viel einfacher zu erzielen. Der getrocknete Ausdruck wird dann mit Sonnenblumenöl (man kann auch Pausklar aus der Spraydose von Conrad verwenden) eingerieben, wodurch die unbedruckten Stellen für das UV-Licht transparent werden. (danke Bodo)

Ein Laserdrucker liefert nicht ganz so gute Ergebnisse wie der Epson-Stylus-Foto, ist aber ausreichend. Dazu druckt man auf Transparentpapier. Ein Stück dieses dünnen Transparentpapiers wird dazu mit Tesa-Film auf einem normalen Blatt Druckerpapier fixiert, ansonsten gibt es Papierstau. Der Tesa-Film übersteht die Fixierwalzen des Druckers überraschend gut. Es empfiehlt sich, zunächst einen Probedruck auf ein normales Blatt Papier anzufertigen, dann in der nötigen Größe Transparentpapier zuzuschneiden. Dieses Transparentpapierstück wird dann auf einem neuen Blatt Papier an der Position des Layout-Probeausdrucks fixiert. Dazu nur einen Streifen Tesa am oberen Ende des Transparentpapiers benutzen. Das untere Ende des Transparents bleibt locker (vermeidet Falten). Nun wird das Blatt noch mal in den Drucker eingeführt und der Ausdruck (nun auf dem Stück Transparentpapier) wiederholt.

Alle Druckertreibereinstellungen, die das Schwarz noch "schwärzer" machen sollte man nutzen. Trotzdem wird man ein Ergebnis erhalten, das etwas Licht durchscheinen läßt. Es empfiehlt sich mit einem schwarzen Tuschestift nachzuarbeiten.

Falls das Druckergebnis bei Tintenstrahl oder Laserdrucker trotz aller Mühe nicht blickdicht wird, kann man das Layout auch mehrfach drucken, und die Ausdrücke paßgenau übereinander legen. Das funktioniert für einfache Layouts gut. Bei sehr filigranen Layouts ist das aber nicht einfach, da keine zwei Ausdrücke exakt deckungsgleich sind. Das ist wohl weniger ein Problem der Druckermechanik als der bedruckten Blätter. Papier dehnt sich aus und schrumpft je nach Feuchtigkeit, Folien werden wahrscheinlich durch die heißen Fixierwalzen des Laserdruckers verzerrt. Mit Öl getränktes Papier wird mit Sicherheit auch quellen.

Ein weiteres Problem der mehrfach-Layouts ist, das die Farbschichten der einzelnen Ausdrücke nicht direkt aufeinander liegen, sondern durch eine Papier- oder Folie-Schicht getrennt sind. Dort kann sich Streulicht ausbreiten..

Trotzdem liefert diese Technik für nicht allzu filigrane Layouts gute Ergebnisse.

Mit sogenannter Transferfolie für Laserdrucker habe ich keine so guten Erfahrungen gemacht. Vielleicht hatte ich da die Tricks noch nicht so raus, vielleicht verspricht hier auch die Werbung zuviel. Ich bleibe bei der Fotochemie.

Leiterplattenmaterial

Am streßfreiesten arbeitet man mit schon vom Hersteller fotobeschichtetem Basismaterial, also mit Leiterplatten auf denen Fotopositivlack aufgetragen und eine lichtundurchlässige Schutzfolie aufgeklebt ist. Ich lagere diese Platinen im Kühlschrank problemlos bis zu einem Jahr.

Es gibt sie in verschiedenen Abmaßen und Ausführungen:

- aus [Hartpapier](#) (undurchsichtig, gelb bis braun, Pertinax) oder [Glasfasermaterial](#) (durchscheinend, hellgelb, Epoxyd),
- einseitig oder zweiseitig mit Kupfer beschichtet,
- von 0,5 mm bis 1,5 mm Dicke
- mit 35µm oder 70 µm Kupferdicke.
- 100x60, 100x75, 100x160 ... mm groß

Hartpapier (Pertinax) läßt sich leicht zuschneiden bzw. nach beidseitigem Anritzen auch einfach auf die gewünschten Maße brechen. Im Vergleich zu Glasfasermaterial hält aber die Kupferschicht schlechter. Das fällt vor allem beim mehrmaligen oder zu heißem Löten auf. Außerdem reißt das Material leicht bei starken Schlägen, z.B. beim Ankörnen vor dem Bohren. Das Bohren selbst ist aber wieder leicht, wenn man mit wenig Druck arbeitet. Zu großer Druck führt zu "kraterförmigen" Ausbrüchen an der Platinenunterseite.

Glasfaser (Epoxyd) zu sägen und zu bohren ist langwieriger und materialverschleißend. Trotzdem bevorzuge ich Glasfaser.

Für die meisten Anwendungen reichen einseitige Platinen. Oft kann eine zweite Platinenseite vermieden werden, wenn man sich nicht scheut einige Drahtbrücken zu verwenden. Wer extreme Miniaturisierung betreibt, kann eine zweiseitige Platine beidseitig mit SMD-Bauteilen bestücken und dadurch viel Platz sparen. Dabei sind dann auch die Ansprüche an die Paßgenauigkeit der beiden Seiten nicht so hoch.

Dünne Platinen sind preiswerter, können sich aber verbiegen, was Leiterbahnen und Bauelemente belastet, ich nutze 1,5 mm dickes Material.

Eine Kupferschichtdicke von 35 µm klingt wenig, ist aber normalerweise völlig ausreichend. Nur bei Hochstromschaltungen (Motorregler, Transverter ...) machen 70 µm Sinn.

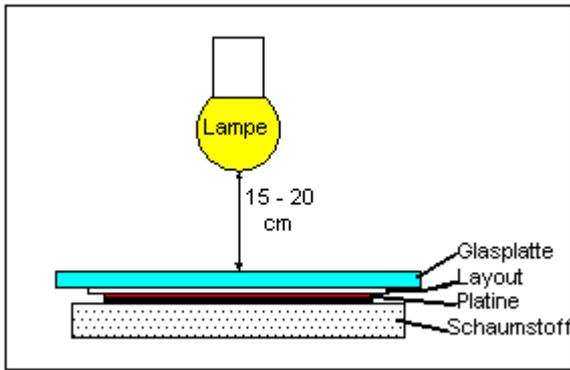
Belichtung der Platine

Das ausgedruckte Layout muß mit UV-Licht auf den Fotopositivlack der Platine übertragen werden. dazu benötigt man entweder ein [Belichtungsgerät](#) oder

- eine Lage Schaumstoff (0,5 .. 2 cm dick), die größer als die Platine ist
- eine Glasplatte, die größer als die Platine ist
- eine Lichtquelle mit hohem UV-Anteil

Schaumstoff und Glasplatte haben bei mir die Abmessungen 15 cm x 20 cm. Das reicht für übliche Layouts. Als Lichtquelle verwende ich eine 250 W Fotolampe (Nitraphot S250W) aus dem Conrad -Katalog (Best.Nr.52 91 41-66). So eine 250W-Lampe entwickelt mehr Wärme, als die meisten Lampenfassungen verkraften. Man sollte hier unbedingt auf eine Porzellan/Keramik-Lampenfassung zurückgreifen, und im Zweifelsfall 'häppchenweise' belichten (1 Minute belichten immer im Wechsel mit 2 Minuten Abkühlzeit).

Eine Glasplatte aus Quarzglas verschluckt weniger UV-Licht als normales Glas und ist deshalb besser geeignet. Mit normalem Glas lassen sich aber die gleichen Ergebnisse erreichen - die Belichtungsdauer ist dann etwas länger.



Die Platine wird zunächst auf das benötigte Maß zurechtgeschnitten, und dann vom zugeschnittenen Stück die Schutzfolie entfernt. Da der Lack kaum tageslichtempfindlich ist, kann das (wenn man schnell arbeitet) bei normaler Beleuchtung geschehen.

Die Platine wird mit der Fotolackschicht nach oben auf den Schaumstoff gelegt. Das spiegelbildlich ausgedruckte Layout wird mit der Druckseite auf die Platine gelegt. Damit ist das Layout wieder seitenrichtig, und zwischen Fotolack und Druckerfarbe ist kein Abstand für störendes Streulicht. Darauf kommt nun die **saubere** Glasplatte. Sie hat die Aufgabe, dafür zu sorgen, daß das Layout plan auf der Platine aufliegt und nicht verrutscht.

Für Platinen bis zu ca. 8cm x 8cm kann man auch eine leere CD-Hülle benutzen. Der runde CD-Halter in der Mitte der Hülle wird herausgebrochen. Nun legt man in die Hülle eine dünne Lage Schaumstoff, darauf die Platine und darauf das Layout. Nun schließt man die CD-Hülle. Hat der Schaumstoff die korrekte Dicke, dann presst der CD-Hüllen-Deckel das Layout auf die Platine.

Nun folgt der kritischste Abschnitt der Platinenerstellung - die Belichtung. Kritisch ist dabei die Belichtungszeit. Ich befestige die Lampe ca. 15 cm über der Platine und belichte dann 6 Minuten. Das ist des Ergebnis einer Belichtungstestreihe. Diese Zeit hängt aber von vielen Faktoren ab, und muß deshalb von jedem selbst ausprobiert werden.

- Der Abstand der Lampe zur Platine ist wichtig. Ein verdoppelter Abstand viertelt die UV-Strahlung! Deshalb immer mit dem gleichen Abstand arbeiten.
- Die Glasplatte verschluckt einen Teil des UVs. Also immer die gleiche Glasplatte benutzen.
- Die Layoutvorlage ist je nach Herstellungsverfahren (Tinte+Folie oder Toner+Transparentpapier) unterschiedlich UV-transparent.
- Je nach Alter und Lagertemperatur sind die Platinen unterschiedlich empfindlich.

So können manchmal auch schon 3 Minuten ausreichend sein. Mir ist aufgefallen, daß noname-Material eine sehr unterschiedliche Belichtungszeit aufweist, und auch verschieden empfindlich auf Entwickler reagiert. Wer die Belichtungsexperimente im Rahmen halten möchte sollte auf Marken-Platinen (Bungard) zurückgreifen. Die sind etwas teurer, lassen sich aber immer gleich gut verarbeiten.

Aufgrund der hohen Lichtleistung der Lampe verbietet sich es von selbst, beim Belichten in die Lampe zu schauen. Das ist auch gut so, da **der hohe UV-Anteil für die Augen schädlich** ist. Also beim Belichten weg schauen, es gibt da sowieso nichts zu entdecken. Eine moderne Sonnenbrille mit UV-Blocker erhöht die Sicherheit für die Augen.

Muß es doch mal eine zweiseitige Platine sein, müssen beide Layouts ausgedruckt und präzise zu einer Tasche verklebt (Tesa) werden. In diese Tasche wird die Platine zum Belichten eingelegt, und mit Tesa fixiert. Dann lassen sich nacheinander beide Seiten belichten.

Wer mit Sonnenblumenöl-Layouts arbeitet, sollte die Platine vorsichtig abwaschen, falls Öl auf die Platine gekommen ist.

Noch mal zum Abstand zwischen Lampe und Platine:

Die Dichte der UV-Strahlung, die an der Platine ankommt ist extrem von der Entfernung zur Lampe abhängig (1/quadratisch). Ein halbieren des Abstandes vervierfacht die Strahlungsleistung, und viertelt die nötige Belichtungsdauer. Aus drei Gründen sollte man aber nicht zu dicht mit der Lampe an die Platine herangehen.:

- Alle Bereiche der Platine sollten etwa gleich belichtet werden. Ist die Lampe aber zu dicht, dann ist ihr Abstand zur Platinenmitte viel geringer als der Abstand zum Platinenrand (besonders bei größeren Platinen). Das Ergebnis ist dann Überbelichtung in der Platinenmitte oder Unterbelichtung am Rand. Ein größerer Abstand verringert den Entfernungsunterschied.
- Die Lampe erzeugt etwa 250 W Hitze, die zu einem großen Teil abgestrahlt wird. Ist die Platine zu dicht an der Lampe, dann erwärmt sie sich merklich. Ob das der Chemie zuträglich ist, waage ich zu bezweifeln.
- Je tiefer die Lampe angebracht ist, desto schräger werden die Randbereiche der Platine angestrahlt. Damit steigt die Gefahr, das UV den Weg zwischen Layoutfolie und Platinenrand findet. Die Folge wären Unterätzungen.

Die Industrie und die Semiporfis verwenden Beleuchtungskästen, in denen Leuchtstofflampen flächig und kalt strahlen. Für viele Zwecke ist die einfache UV-Lampe jedoch ausreichend.

Zum Ausprobieren kann man auch eine normale 100W-Glühbirne verwenden. Bei 15 cm Abstand zur Leiterplatte ergeben sich aber Belichtungszeiten von ca 30 Minuten.

Ideal ist ein [Belichtungsgerät](#), das man für über 200 € kaufen kann, oder das man sich [aus einem alten Scanner und ein paar UV-Leuchtstofflampen selber baut](#).

Entwickeln

Die belichtete Platine muß nun entwickelt werden. In einem chemischen Prozeß werden dabei die belichteten Lackteile aufgelöst und abgespült. Dazu benötigt man eine Fotoschale und Entwickler. Je nach verwendetem Entwickler dauert die Entwicklung 10 Sekunden bis zu 4 Minuten. Ich habe genug Zeit, und benutze Natriumhydroxid-Lösung (NaOH), die ist gut, billig, und beim Entwickeln kommt keine Hektik auf. Zum Herstellen der Lösung gibt man ca. 10 g (1 Meßlöffel) Natriumhydroxid-Pulver (Conrad-Katalog) in 1 Liter Wasser. Entwicklerlösung hält sich an der Luft nicht lange, und ist auch schnell erschöpft. Sie aufzuheben lohnt nicht.

Im Entwicklerbad werden die belichteten Stellen des Fotolacks aufgelöst. Das ist bei vielen Platinen-Fabrikaten (aber nicht bei allen) zunächst mit einer Violettverfärbung der belichteten Lacks verbunden. Dieser violette Lack löst sich dann im Entwicklerbad auf.

Nach ca. 1 Minute entnehme ich die Platine aus dem Entwicklerbad und spüle sie unter dem Wasserhahn ab, dabei tritt das Layout der zukünftigen Leiterplatte hervor. Allerdings nicht farblich (wie beim Entwickeln von Filmmaterial) sondern eher plastisch: farbloser Lack auf nacktem Kupfer.

Es ist wichtig, daß aller Lackreste von den belichteten Stellen entfernt werden. Dazu kann man die Platine unter fließendem Wasser vorsichtig abreiben (mit den Fingern oder einem sauberen weichen Lappen). Danach tauche ich die Platine noch mal für kurze Zeit in das Entwicklerbad, um letzte Reste des belichteten Lacks zu lösen. Danach wird wieder abgespült und dabei vorsichtig abgerieben.

Falls nicht aller Lack in den belichteten Bereichen weg ist, dann lieber noch etwas nachentwickeln. Bis zu 4 Minuten widerstehen die unbelichteten Abschnitte der Entwicklerlösung meist problemlos. (bei Tintenstrahldrucker-Layouts)

Sollte das Layout schon sofort nach dem Eintauchen der belichteten Platine in den Entwickler deutlich sichtbar sein, und der Entwicklungsprozeß schon nach 20 Sekunden abgeschlossen sein, so ist vermutlich die Belichtungszeit zu lang gewesen. Nun ist äußerste Sorgfalt geboten um die Platine noch zu retten. Die unbelichteten Zonen können nun beim Ätzen leicht angegriffen werden, was sich später in vielen kleinen Löchern in der Kupferschicht zeigt. Also das Ätzen überwachen, und die Platine sofort nach dem Ätzen aus dem Ätzbad nehmen.

Ätzen

Ich ätze nun mit Eisen-III-Chlorid die ungeschützten Kupferbereiche von der Platine ab. Dazu benötigt man eine zweite Fotoschale sowie Plastikzangen (aus dem Fotobedarf), um die Platine im Ätzbad zu fassen. Eisen-III-Chlorid ist keine konzentrierte Salzsäure, also kann man es ungefährdet handhaben, wenn man übliche Regeln der Vorsicht beachtet. Bekommt man etwas auf die Haut genügt normalerweise sofortiges gründliches Abspülen. Es greift aber Metalle an. Das kann man gut sehen, wenn man eine dünne Alufolie ins Ätzbad taucht. (Man gab mir den Tipp, daß selbst Gold und Platin angegriffen werden. Also den Ehering in Sicherheit bringen, bevor er Flecken bekommt.) Die beim Ätzen entstehenden Gerüche sollte man nicht einatmen, also für Belüftung sorgen. Vorsichtig mit der Kleidung umgehen. Eisen-III-Chlorid gibt gelbe Flecken, die sich nur schwer entfernen lassen. In der Medizin wird Eisen-III-Chlorid übrigens als Blutgerinnungsmittel verwendet. Daher kommt die gelbe Färbung des Mulls.

Das Ätzmittel gibt es preiswert als Pulver oder in Perlenform. Man löst es in Wasser, bis sich kein Ätzmittel mehr lösen läßt. Dabei entwickelt sich übrigens Wärme. Man sollte also nicht schon mit warmem Wasser anfangen. Nun kann man die Platine für ein paar Sekunden eintauchen, sofort wieder entnehmen und mit Wasser gründlich abspülen. Man erkennt nun gut, ob man beim Entwickeln Erfolg hatte. Flächen ohne schützenden Lack werden matt. Evtl. sollte man nun noch nachentwickeln, oder überschüssigen Lack einfach abkratzen. Fehlender Lack läßt sich mit einem ätzfestem Lackstift ersetzen. Dann wieder ins Ätzbad mit der Platine. Die Ätzzeit hängt stark von der Temperatur und vom Verbrauchsgrad der Ätzlösung ab. Sie liegt zwischen 10 Minuten und 1 Stunde. Die Platine sollte regelmäßig bewegt werden, um frisches Ätzmittel und Sauerstoff zum Kupfer zu "spülen". Falls gegen Ende des Ätzvorgangs nur noch einige Kupferflecken übrig sind, kann man diese außerhalb (besser oberhalb) des Ätzbades mit einem Wattebausch wegwischen. Der Wattebausch wird dazu mit Ätzmittel getränkt, und mit einer Fotozange gefaßt.

Eisen-III-Chlorid ist sehr ergiebig, und kann deshalb für mehrere Platinen verwendet werden. Zur Aufbewahrung bitte keine Lebensmittelflaschen und keine Flaschen mit metallischem Verschluss verwenden. Am Besten ist eine Glasflasche mit Glasstopfen. Verbrauchte Ätzlösung ist übrigens Sondermüll und gehört ins Ökomobil und nicht in den Abfluß!!

Es gibt alternative Ätzmittel wie z.B. Amoniumpersulfat. Diese moderneren Mittel sind umweltfreundlicher und durchsichtig. Man kann den Ätzprozess also besser beobachten und hat hinterher weniger Sondermüll. Das Problem mit diesem "Feinätzkristall" ist die Temperaturabhängigkeit. Unterhalb von 40°C ätzen sie so gut wie gar nicht, oberhalb von 60°C kristallisiert das Ätzmittel aus. (Die Kristallisation lässt sich durch Kochen wieder rückgängig machen.) Man benötigt also ein temperaturgeregeltes Ätzbad. Hat man das, dann spricht alles dafür von Eisen-III-Chlorid auf modernere Ätzmittel umzusteigen.

Wenn man die Platine in die Ätzflüssigkeit gibt, werden die ungeschützten Platinenbereiche sofort matt. Man erkennt dadurch eventuelle Mängel im Fotolack (Kratzer oder nicht vollständig entfernter Lack) schnell. Noch kann man durch übermalen von Kratzern oder abkratzen von Lackresten korrigieren. Wenn man die Platine dafür aus dem Ätzbad nimmt, ist sie jedesmal gründlich mit Wasser abzuspülen.

Während des Ätzens kann man beobachten, das das Kupfer an den Lackkanten zuerst weggeätzt wird. Große Kupferflächen benötigen dagegen lange, bis sie vollständig abgeätzt sind. Deshalb noch mal meine Empfehlung zum Layoutentwurf: Unbenutzte Platinbereiche sollten als Masseflächen genutzt werden. Dann müssen sie nicht abgeätzt werden. Man ist mit dem Ätzen schneller fertig und man spart Ätzmittel.

Die fertig geätzte Platine ist gründlich mit Wasser abzuspülen, ansonsten arbeiten sich Ätzmittelspuren im Laufe der Zeit durch die dünnen Leiterzüge und verursachen Monate später rätselhafte Ausfälle. Der Foto-Lack ist lötlbar, und kann normalerweise auf der Platine verbleiben.

Für die nähere Zukunft plane ich den Bau einer [einfachen Ätzmaschine](#).

Oberflächenbehandlung (optional)

Wer den Fotolack entfernen möchte (z.B. zum Verzinnen oder bei filigranen SMD-Platinen) kommt mit einem Spirituslappen zum Ziel. Dann sollte man die nun schutzlose Platine aber auch gleich mit in Spiritus gelöstem Kolophonium einpinseln oder verzinnen.

Das Kolophonium kann man mit einem Fön schneller trocknen. Die klebrige Oberfläche wirkt sonst beim anschließenden Bohren wie ein Schmutzmagnet. Das Kolophonium dient nur dem besseren Löten, und wird nach der Bestückung der Platine wieder mit Spiritus und einer alten Zahnbürste abgewaschen.

Wer ca. 30,-DM opfert, kann anstelle der Kolophoniumschicht auch eine Zinnschicht auftragen. Dazu eignet sich ein Pulver das z.B. bei **Conrad** erhältlich ist. Das Pulver wird in heißem Wasser aufgelöst, und die zuvor gereinigte Platine (Spirituslappen) für einige Minuten bei Zimmertemperatur in die Lösung getaucht. (**Vorsicht: giftig und ätzend**)

Das Auflösen des Pulvers in 90°C-heißem Wasser ist alles andere als einfach. Man arbeitet hier mit einer fast kochenden, stark ätzenden, giftigen Lösung, und mir ist es nur gelungen einen kleinen Teil des Pulvers zur Lösung zu bringen. Dieser Schritt ist der mit Abstand gefährlichste beim Herstellen einer Leiterplatte, und ich kann deshalb Anfängern das Conrad-Verzinnungsbad nicht ruhigen Gewissens weiterempfehlen. Wer sich dennoch dazu entschließen sollte, wird mit einer hervorragend lötbaren Platine belohnt.

Mir wurde eine chemische Verzinnung (**SUR-TIN**) der Firma **Bungard** empfohlen, die sich leichter verarbeiten läßt. SUR-TIN besteht aus einer Flüssigkeit und zwei Pulvern, die nacheinander in warmen Wasser aufgelöst werden. Insbesondere die niedrigere Wassertemperatur vereinfacht den Ansatz des Verzinnungsbades wesentlich. Meiner Nase nach unterscheidet sich die Chemie bei Conrad und Bungard nicht wesentlich, aber das nacheinander-zusammen-Mischen der einzelnen Chemikalien bei Bungard wird mit einem deutlich besserem Auflösungsverhalten der Pulver quittiert. Ein Unterschied zur Conrad-Verzinnung ist, das der Verzinnungsprozeß selbständig stoppt, wenn eine ausreichende Schichtdicke erreicht ist. Die Verweilzeit der Platine im Bad ist also nicht kritisch.

SUR-TIN ist meiner Meinung nach auch für Bastler ein geeignetes Verzinnungsbad.

Einige Bastler mailten mir, das sie als Privatpersonen bei Bungard nicht kaufen könnten. Joerg (Danke) erkundigte sich bei Bungard, und bekam folgende Antwortmail:

"...Unser SUR-TIN chemische Glanzverzinnung können Sie gerne bei uns direkt kaufen. Wir haben allerdings einen Mindestbestellwert von 25 Euro. Wir verkaufen dieses Produkt zwar insgesamt über 40 Händler weltweit, aber in Deutschland ausschließlich direkt,weil einer der Bestandteile von SUR-TIN (Teil 1 = Batteriesäure) nicht hochregalfähig ist..."
sales@bungard.de

Damit dürfte der Fall eindeutig sein. SUR-TIN kostet ca. 13 € +MsSt. Mit einer Packung läßt sich 2,5 Liter chemische Verzinnung ansetzen. Wenn sich zwei Käufer zusammentun, erreicht man schon den Mindestbestellwert, alternativ kann man sich auch gleich einige beschichtete Platinen mitkaufen. Da wie gesagt auch die Bungard-Chemie alles andere als harmlos ist, sind unbedingt die beiliegenden Sicherheits- und Entsorgungsvorschriften einzuhalten.

Bohren

Zum Schluß wird nun noch gebohrt. Dabei dreht sich alles um eine hohe Bohrerzahl, und um verkantungsfreies Bohren. Die meisten Löcher werden mit 0,8 mm gebohrt. Wer sich freihändig mit einem Akkuschauber oder einer großen, netzbetriebenen Bohrmaschine versucht, bricht zwangsläufig die Bohrer serienweise ab.

Ideal wäre eine hochtourige (20000 UPM) Ständerbohrmaschine mit feinfühligter Ständermechanik, die es erlaubt mit kleinem Druck auf die Platine zu bohren. (z.B. Dremel mit Bohrstander) Die habe ich aber nicht. Eine brauchbare Lösung ist eine kleine hochtourige "Bastelbohrmaschine" für 20,- DM, die mit Gleichstrom (15-20 V) versorgt werden muß. Sie dreht schnell genug und ist so leicht, daß man das Verkanten (und das dann folgende Bohrerabbrechen) vermeiden kann. Beim Bohren dann keine Gewalt anwenden, sondern mit kleinem Druck bei höchstmöglicher Drehzahl arbeiten.

Wer Glasfaserplatinen bohrt, verschleißt übrigens pro Platine einen Bohrer. Schon nach ca. 100 Löchern wird ein Standardbohrer stumpf.

Bestücken der Platine

Wer nicht löten kann ist auf dieser Seite eigentlich falsch. Er sollte erst mal an einem billigen kleinen Fertigbausatz üben. Trotzdem ein paar Grundregeln.

Zum Beginn des Lötens sollte Bauelement und die Leiterplatte frei von Oxydschichten sein. Ist die Leiterplatte wie oben vorbereitet, ist die schon mal o.k.. Bedrahtete Bauelemente liegen manchmal jahrelang beim Händler oder Bastler im Regal. Ihre Anschlußdrähte sollten kurz vor dem Löten mit feinem Sandpapier leicht abgerieben werden.

Grundsätzlich sollte man nur mit einem Flußmittel löten. Fast alle Lötzinn-Sorten enthalten deshalb eine Kolophoniumader. Zusätzlich kann man in Spiritus gelöstes Kolophonium auf die Lötstelle auftragen. Ist der LötKolben zu heiß, "verbrennt" das Kolophonium zu einer schwarzen Kruste und wirkt nicht mehr.

Der häufigste Fehler ist das zu kurze Erhitzen der Lötstelle. Dadurch wird nicht richtig gelötet, sondern nur zusammengepappt. Man sollte in aller Ruhe abwarten, bis das Lötzinn schön an der Lötstelle läuft und die Platine und den Bauelementeanschluß "benetzt" hat (ca. 2-3 Sekunden). Ansonsten hat man an seinen Lötstellen keine dauerhafte Freude. Bauelemente sind bei weitem nicht so hitzeempfindlich wie man denkt.

Die LötKolbenspitze muß sauber und mit flüssigem Zinn überzogen sein. Ansonsten ist der Wärmekontakt zur Lötstelle schlecht, und die Lötstelle erhitzt sich nur sehr langsam.

Vielbeinige Schaltkreise sollte man von den mittleren zu den äußeren Beinchen hin löten, und Pausen einlegen, damit der IC sich nicht zu sehr aufheizt.

SMD-Bauelemente sollte man nur auf vorher dünn verzinnte Flächen auflöten. Der LötKolben sollte niemals auf das Bauelement gesetzt werden, sondern von der Seite den Anschluß erhitzen. Bei SMDs sollte sparsam mit Lötzinn umgegangen werden. Versehentliche Lötzinnbrücken lassen sich leichter entfernen, wenn man sie mit reichlich Kolophonium wiedererhitzt.

Nach dem Bestücken der Platine

Hat man alle Lötarbeiten glücklich abgeschlossen und die Funktion der Platine erprobt, sollte man die Leiterseite noch nachbearbeiten. Die Platine sollte gereinigt und versiegelt werden. Zum Reinigen benutze ich Spiritus und eine alte Zahnbürste. Damit entferne ich all die unschönen Kolophoniumkrusten, und auch die evtl. nach dem Ätzen aufgetragene Kolophoniumlackierung.

Dann geht's ans versiegeln. Soll eine Platine nur vorübergehend genutzt werden, oder ist abzusehen, das man sie öfters mit dem LötKolben bearbeiten wird, kann man wieder eine Kolophonium-Spiritus-Lösung auftragen. Eine dauerhafte Versiegelung erreicht man mit einem speziellen Leiterplatten-Lack (z.B. "Plastik") aus der Sprühdose. Der greift das Kupfer und Zinn nicht an (was man vom Kolophonium langjährig nicht sagen kann) ist haltbar und trotzdem im Notfall lötlbar.

Früher habe ich nur mit Kolophonium versiegelt, aber manche 10-15 Jahre alte Platine weist inzwischen Oxydschichten auf dem Kupfer auf.