

# Quelle leider unbekannt

## Hochqualitative Leiterplatten selbst hergestellt

Die „hausgemachte“ Leiterplatte ist auch heute, im Zeitalter der immer währenden Verfügbarkeit durch industrielle Herstellung und Lieferung, lange nicht vom Tisch.

Viele Gründe sprechen dafür, sie reichen vom schnellen Nachbauwunsch, ohne auf eine Lieferung warten zu müssen, über die Realisierung eigener Entwürfe bis hin zur professionellen Prototypen- und Einzelstückfertigung. Hardcore-Elektroniker verzichten sowieso nicht auf den Selbstbau von A bis Z, dazu gehört eben auch die selbst geätzte und selbst gebohrte Leiterplatte.

Nachfolgend eine Sammlung von Tipps und Erfahrungen zur Leiterplattenherstellung.

### Die Vorlage

Das heute wohl ausschließlich am Computer entworfene Leiterplattenlayout muss zunächst auf eine Vorlage übertragen werden, die zur späteren Belichtung der lichtempfindlichen Schicht einer fotopositiv beschichteten Leiterplatte dient.

Andere Verfahren wie das Zeichnen von Hand, das Kleben von Folien usw. sind längst veraltet, darum wollen wir uns an dieser Stelle ausschließlich mit dem Computerdruck von Belichtungsvorlagen beschäftigen.

Während man sich vor einigen Jahren noch mit niedrig qualitativen Druckern bescheiden musste, gehört heute zumindest ein Tintenstrahldrucker, oft aber auch ein Laserdrucker mit dem heutigen Standard der Druckauflösung von 600 dpi oder gar 1200 dpi zu jedem Computer dazu. Auch sauber druckende 300dpi-Drucker sind hier nicht ohne Chance, wenn man entsprechende Druckmedien einsetzt.

Mit der rasanten Entwicklung der Druckqualität von Laser- und Tintenstrahldruckern haben auch die Druckmedienhersteller Schritt gehalten und stellen uns heute hochwertige Printfolien zur Verfügung. Sie ermöglichen es, die Platinenvorlagen auch in hoher Qualität ausdrucken zu können.

Wir haben auch bei 600 dpi Auflösung mit den in unserem Angebot befindlichen Printfolien hervorragende Ergebnisse erzielen können. Die Laserdrucker-Folie wird in der ELV-Entwicklungsabteilung seit Jahren für den Prototypenbau eingesetzt und bringt sogar mehr Detailschärfe, als die im Siebdruckverfahren bisher mit dem „ELVjournal“ gelieferten Folien. Die Detailschärfe beim Siebdruck setzt technische Grenzen, die von hochauflösenden Computerdruckern bequem übersprungen werden. Auch die Deckung lässt im Laserdruck nichts zu wünschen übrig, sofern man nicht gerade mit dem letzten Tonerrest in der Kartusche drückt.

Ganz ähnlich verhält es sich mit modernen Tintenstrahldruckern, die bereits Auflösungen bis zu 1440 dpi aufweisen, was nicht mehr weit von der kommerziellen Druckfilmbeleuchtung entfernt liegt und die als Maß der Dinge gilt. Wir haben für Sie auch zahlreiche Tintenstrahl-Druckfolien getestet und uns für die ebenfalls nun bei uns angebotene Kodak-Folie entschieden, die beste Ergebnisse bei allen gängigen Druckertypen ergab. Die Kantenschärfe ist derart hoch, dass es in der Praxis kaum Ausbrüche oder Unterstrahlungen beim Belichten gibt.

Will man einmal ein Leiterplattenlayout von einer Papiervorlage, wie etwa einer Zeitschrift oder aus einem Buch übernehmen, kann man auch per Kopierer meist auf diese hochwertigen Laserdruckfolien zurückgreifen. Hier ist allerdings streng darauf zu achten, dass die Kopie keinesfalls verzerrt und genau 1:1, sowie mit hoher Deckung reproduziert wird, ein Geschäft, das längst nicht alle Kopierer beherrschen.

Alternativ (und besser) kann man auch auf den heute fast allgegenwärtigen Computer-Scanner zurückgreifen, eine solche Vorlage einscannen, in einem Bildbearbeitungsprogramm nachbearbeiten („Schmutz“ entfernen, Layout nach Fehlstellen durchsuchen, die beim Papierdruck immer vorkommen, und ausbessern) und schließlich ebenfalls auf Folie ausdrucken. Auch hier ist auf exakte Maßhaltigkeit des Scanprodukts ebenso zu achten wie auf höchste optische Auflösung beim Scannen.

Alle anderen Methoden wie das Kopieren auf weißes Papier, das Verwenden von Klarpausspray etc. sind unter heutigen Maßstäben nicht mehr für die Herstellung qualitativ hochwertiger Vorlagen brauchbar. Es ist in jedem Falle besser, falls man selbst nicht über einen guten Drucker verfügt, einen Bekannten zu bitten, eine Vorlage nach o. g. Kriterien auszudrucken, als wertvolles Material und Arbeitszeit zu vergeuden.

Auf jeden Fall muss das Ergebnis folgende Kriterien erfüllen:

- Alle bedruckten Flächen und Linien müssen eine hohe bis absolute Deckung aufweisen. Dies kontrolliert man, indem man die bedruckte Folie gegen eine starke Lichtquelle hält. Hier darf es keine Löcher oder Fehlstellen in den bedruckten Bereichen geben, während die unbedruckten Bereiche möglichst lichtdurchlässig sein sollten, was mit den von uns empfohlenen Folien gewährleistet ist. Entscheidend ist also ein möglichst großer Kontrast der Vorlage. Also nie kurz vor Toner- oder Tintenvorratsende drucken!
- Keinesfalls darf die Folie geknickt oder gar eingerissen sein.
- Die Folie muss spiegelbildlich ausgedruckt werden, damit die Seite der Vorlage, die das Leiterbahnbild trägt, der Fotoschicht des Platinenmaterials zugewandt ist. (Die von uns im PDF-Format angebotenen

Layoutvorlagen sind seitenrichtig auszudrucken, da sie bereits gespiegelt abgebildet sind.) Damit vermeidet man die gefürchteten Unterstrahlungen, also einen seitlichen Lichteinfall durch die Folie, der die Breite der später abzubildenden Leiterbahn reduziert bzw. unregelmäßige Kanten produziert. Bei schmalen Leiterbahnen kann dies zu einer spätestens nach dem Ätzen unbrauchbaren Leiterplatte führen.

Um unser Angebot der Platinenvorlagen im Internet zu nutzen, gehen Sie für die Herstellung der Vorlage wie folgt vor:

Zunächst die benötigte Datei im PDF-Format von unserer Internet-Seite „www.elv.de“ herunterladen. Die Dateien finden Sie auf den Seiten zum „ELVjournal“.

Anschließend wird die Datei mit dem „Acrobat Reader“ geöffnet, das Druckmenü aufgerufen und hier die höchste verfügbare Druckqualität eingestellt. Viele Drucker bieten die direkte Auswahl zwischen verschiedenen Printmedien, so auch z. B. „Overhead-Folie“. Die optimale Einstellung auf den angebotenen Folien kann jedoch nur individuell erfolgen, konsultieren Sie hier Ihr Druckerhandbuch.

## **Das Belichten**

Nach dem Ausdruck und der eingehenden Kontrolle der Folie auf Druckfehler kann das Belichten erfolgen. Vorher müssen einige Vorbereitungen abgeschlossen werden und das Material muss bereitstehen.

Als **Leiterplattenmaterial** kommt fotopositiv beschichtetes Basismaterial, je nach Anforderung ein- oder zweiseitig beschichtet, zum Einsatz. Es gibt hier sowohl vorkonfektionierte Stücke in Standardmaßen als auch größere Platten, die in Eigenregie in die benötigte Größe zersägt werden.

Das Zersägen vor der weiteren Bearbeitung sollte nur erfolgen, falls das übrig bleibende Stück tatsächlich noch nutzbar sein könnte, ansonsten immer ein näherungsweise passendes Stück verwenden.

Will man sägen, sollte z. B. eine kleine Tischkreissäge mit Spezialblatt für Epoxydharz zum Einsatz kommen. Weiterhin ist zunächst reichlich Rand (min. 5 mm) zum tatsächlichen Leiterplattenmaß hinzuzugeben. Denn beim Sägen hebt sich erfahrungsgemäß der Rand der Abdeckfolie etwas an, Licht gelangt an die fotoempfindliche Schicht der Leiterplatte und belichtet diese in diesem Bereich vorzeitig.

Den überstehenden Rand kann man dann nach dem Ätzen und Bohren leicht absägen.

Für das exakte Fixieren der Vorlage auf der Leiterplatte während des Belichtens benötigt man eine **Glasplatte, besser noch einen handelsüblichen Belichtungsrahmen oder gar ein professionelles UV-Belichtungsgerät**. Die Glasplatte darf kein normales Fensterglas sein, nur Kristall- oder Plexiglas (2 - 5 mm) verwenden!

Die Platte bzw. der Klemmrahmen der Belichtungsgeräte sorgt für einen festen, planen und gegen Verrutschen gesicherten Sitz der Vorlage auf der Leiterplatte. Die so gesicherte plane Auflage verhindert Unterstrahlen beim späteren Belichten wirkungsvoll.

Verwendet man eine selbst gefertigte Glasplatte, so sollten deren Ränder rund geschliffen oder mit einem Gewebeband umklebt sein, um Verletzungen durch eine scharfe Glaskante vorzubeugen.

Das Belichten selbst erfolgt mit einer **UV-Lampe**, da die Fotopositiv-Schicht der Leiterplatte nur im UV-Wellenbereich 370 bis 440 nm fotoempfindlich ist. Normales Lampen- oder Tageslicht enthält zwar auch UV-Anteile, diese reichen jedoch nicht für ein definiertes Belichten aus. Trotzdem sollten fotopositiv beschichtete Leiterplatten niemals längere Zeit ohne Schutzfolie dem Licht ausgesetzt sein, ungenutzte Platten sofort wieder in die Aufbewahrungstüte stecken und diese lichtdicht verschließen!

Im Regelfall sollte hier eine spezielle 300-W-UV-Lampe für das Belichten von Leiterplatten zum Einsatz kommen. Der Grund ist einfach: Diese Lampe gibt im Gegensatz zur normalen UV-Lampe, wie sie etwa für Zimmerpflanzen eingesetzt wird, ein sehr gleichmäßig verteiltes Licht ab, das dazu in seinem Spektrum an den o. g. Wellenbereich angepasst ist. Aus diesem Grunde raten wir auch von o. g. Zimmerpflanzenbeleuchtungen ab. Diese produzieren ein ungleichmäßig verteiltes Licht, so dass es später beim Belichten der Leiterplatte zur ungleichmäßigen Ausleuchtung und damit zu unterschiedlichen Belichtungsergebnissen (Schleierbildung) führt.

Die Lampe sollte in eine stabile und möglichst schwenkbare Halterung eingeschraubt sein, die zum einen das genau senkrechte Bestrahlen der Leiterplatte und zum anderen einen vibrationsfreien Betrieb der Lampe ermöglicht.

Ein professionelles Belichtungsgerät enthält mehrere UV-Leuchtstoffröhren, die automatisch durch ihre Anordnung für eine gleichmäßige Lichtverteilung sorgen.

Unbedingt gehört zur Vorbereitung auch das Ansetzen der unter „Entwickeln“ beschriebenen Entwicklerlösung. Das Bad sollte Zimmertemperatur besitzen, ggf. ist nach der Anleitung des Entwicklers durch Mischen mit warmem Wasser zu temperieren.

Denn unmittelbar nach dem Belichten gehört die Leiterplatte in den Entwickler! Deshalb erst alle Materialien beschaffen und vorbereiten, bevor es ans Belichten geht!

Hat man alle Vorbereitungen abgeschlossen, so kann die Belichtung erfolgen:

- Zuerst ist bei möglichst gedämpfter Beleuchtung (nie im vollen Sonnenlicht!) die Schutzfolie von der Leiterplatte abzuziehen.
- Die Vorlage wird dann mit der bedruckten Seite (die Beschriftungen müssen nach dem Auflegen richtig herum lesbar sein, nicht seitenverkehrt) auf die fotopositiv beschichtete Seite der Leiterplatte gelegt.
- Danach die Glasplatte auflegen, um ein sicheres und gleichmäßiges Anpressen der Folie auf die Platine zu gewährleisten und anschließend ca. 3 Minuten mit der UV-Lampe aus einem Abstand von 30 cm belichten (Belichtungsspielraum mit einer 300-W-UV-Lampe 1,5 bis 10 Minuten, ggf. mit einem Probestreifen und mehreren Belichtungszeiten ausprobieren).
- Nach Ablauf der Belichtungszeit ist die Lampe abzuschalten, die Folie von der Leiterplatte zu nehmen und die Platine mit der belichteten Seite nach oben in das zuvor anzurichtende Entwicklerbad zu geben.

#### **Der Tipp für doppelseitig zu belichtende Leiterplatten:**

Beide Vorlagen in der richtigen Lage zueinander (bedruckte Seiten zeigen zueinander, Beschriftungen können von beiden Seiten seitenrichtig gelesen werden) genau übereinstimmend (z. B. anhand der Eckmarkierungen) übereinander legen, an einer Seite mit einem schmalen Klebestreifen miteinander verbinden und an mindestens zwei Stellen außerhalb des Layouts mit einem sehr scharfen 0,5-0,8 mm-Bohrer oder einer Stecknadel durchbohren. Dabei dürfen die beiden Vorlagen nicht verrutschen!

Jetzt ist die erste Vorlage auf die eine Seite der Leiterplatte (Schutzfolie entfernen) zu legen, ggf. mit einem Streifen Klebeband am Rand zu fixieren und die Leiterplatte durch die Vorlage hindurch genau an den bereits vorher in der Vorlage markierten Stellen mit einem sehr scharfen 0,5-0,8-mm-Bohrer zu durchbohren.

Die Lage der Vorlage auf der Leiterplatte darf jetzt keinesfalls mehr verändert werden! Zur Fixierung kann man auch zwei ganz kurze Drahtstücke durch Vorlage und Leiterplatte stecken, nachdem man ein Stück Schaumgummi unter die Leiterplatte gelegt hat. Dieser hält dann die Drahtstücke fest, die nicht mehr als 1 mm aus der aufgelegten Vorlage hervorstecken sollten. Beim Auflegen der Glasplatte werden dann die Drahtstücke weiter in den Schaumstoff gedrückt und fixieren trotzdem die Vorlage. Vor dem anschließenden Belichten darf jetzt die Vorlage keinesfalls mehr auf der Leiterplatte verrutschen!

Nach dem Belichten der ersten Seite dreht man die Leiterplatte herum, zieht hier die Schutzfolie ab, legt die andere Vorlage auf und fixiert diese wiederum wie oben beschrieben auf der Platine. So erreicht man eine genaue Deckung beider Leiterseiten.

Die bereits belichtete Seite darf dabei keinesfalls berührt werden und sie muss vorsichtig ohne horizontale Bewegung auf einer weichen Oberfläche (z. B. Schaumgummi) abgelegt werden, um die belichtete Fotopositiv-Schicht nicht zu beschädigen.

Beim anschließenden Entwickeln darf die Leiterplatte keine „Grundberührung“ mit der üblicherweise verwendeten Fotoschale haben, um die belichtete Fotopositiv-Schicht auf der Unterseite nicht zu beschädigen. Besser ist hier der Einsatz einer Küvette, in die die Leiterplatte so eingehängt wird, dass sie die Wände nicht berühren kann und auf beiden Seiten gleichmäßig von Entwicklerlösung umspült wird.

#### **Das Entwickeln**

Für das Entwickeln der belichteten Fotopositiv-Schicht werden folgende Materialien benötigt:

Eine genügend große (säurebeständige) **Kunststoff-Fotoschale**, die auch größere Leiterplatten „fasst“, alternativ eine Glasküvette in einer kombinierten Entwicklungs-/Ätzanlage, eine **Kunststoffpinzette**, Gummihandschuhe, ein Fotothermometer, **fließendes Wasser** in der Nähe, ggf. reicht auch ein größeres Kunststoffgefäß mit Wasser, und **Positiv-Entwickler oder Ätznatron** für Leiterplatten. Der Positiv-Entwickler ist zwar etwas teurer, aber durch das gegenüber dem Ätznatron fehlende Natrium-Hydroxid umweltschonender.

Beide Mittel gibt es konfektioniert für das Ansetzen mit einem Liter Wasser, das Ätznatron (NaOH) kann man auch in größeren Mengen beziehen, etwa in 250-g-Dosen. Hier erfolgt dann der Ansatz von 7 bis max. 10 g NaOH in 1 l Wasser (reicht für ca. 0,5 m<sup>2</sup> Leiterplatte).

Die Wassertemperatur sollte dabei bei beiden Mitteln etwa 20°C (max. 25°C) betragen (mit dem Thermometer kontrollieren).

Bei der Lagerung des Ätznatrons und dem Umgang mit dem Mittel sind folgende Hinweise zu beachten. Das Mittel muss stets absolut luftdicht aufbewahrt werden. Unter Luftzufuhr verflüssigt sich das Natriumhydroxid durch die Luftfeuchtigkeit, es entsteht eine dickflüssige Masse, die unbrauchbar ist.

Eine angesetzte Entwicklerlösung kann unter Luftabschluss in eine möglichst lichtundurchlässige Kunststoffflasche gefüllt und so als fertig angesetzter Vorrat aufbewahrt werden.

Unbedingt die am Schluss dieses Artikels und auf den Verpackungen aufgeführten Sicherheitshinweise beachten! **Wichtig:** Alle Behälter beschriften und gegen den Zugriff durch Kinder sichern.

Der Ablauf des Entwickelns:

- Das Entwicklermittel in o. g. Mengen in das Wasser geben und mit einem Kunststoffstab oder der Kunst-

stoff-Pinzette so lange verröhren, bis keine Kristalle mehr erkennbar sind, der Ansatz also völlig klar ist. Andernfalls könnten nicht aufgelöste Partikel in ihrer konzentrierten Form auch die nicht belichteten Stellen der Fotopositiv-Schicht angereifen und so das Leiterbild beschädigen.

- Dann die Leiterplatte mit der belichteten Seite nach oben in die Schale legen und die Leiterplatte mit der Kunststoffpinzette oder die Entwicklerflüssigkeit durch leichtes Bewegen (Kippen) der Schale hin- und herbewegen.
- Schon nach wenigen Sekunden erscheint das Leiterbahnmuster auf der Leiterplatte, die belichtete Fotopositivschicht wird nun weggeätzt. Passiert hier nach spätestens 45 Sekunden nichts, so ist entweder die Entwicklerlösung falsch angesetzt, verdorben oder der Belichtungsvorgang misslungen. „Schwimmt“ das Leiterbild jedoch nach wenigen Sekunden davon, so war die Entwicklerlösung zu stark oder zu warm angesetzt.
- Je nach Entwicklerkonzentration und Temperatur des Entwicklerbades ist das Leiterbild nach 30 bis 120 s fertig entwickelt, d. h. voll sichtbar ohne irgendwelche Schleier. Ggf. kann man bei Schleierbildung auch etwas mit einem feinen Borstenpinsel vorsichtig „nachhelfen“, denn die Schleier behindern das spätere Ätzen entscheidend. Schließlich stellen sie noch eine feine Schicht des abdeckenden Fotopositivlacks dar, der das Wegätzen der Kupferschicht verhindert.
- Nachdem das Leiterbild klar erscheint, wird die Leiterplatte sofort aus dem Entwicklerbad entnommen und unter reichlich fließendem Wasser abgespült. So wird der Entwicklungsvorgang gestoppt. Hat man eine kombinierte Entwicklungs-/Ätzmaschine zur Verfügung, kann man die Leiterplatte auch sofort von der Entwickler- in die Ätzküvette geben, sofern diese bereits mit der Ätlösung gefüllt ist.
- Auf jeden Fall sollte man die Platine nach dem Entwickeln sorgfältig kontrollieren, denn jetzt besteht die letzte Chance, kleine Fehlstellen mit einem ätzfesten Stift auszubessern.

#### **Sicherheits- und Verarbeitungshinweise:**

- Natriumhydroxid zählt (auch verdünnt) zu den starken Laugen und verätzt die Haut, zerstört Textilien sowie verschiedene andere Stoffe (bei längerer Einwirkung sogar Glas, deshalb längere Aufbewahrung nur in Kunststoffbehältern) und reizt als Dampf sehr stark das Atmungssystem. Deshalb sollte man beim Umgang mit der Entwicklerlösung Schutzhandschuhe (Gummihandschuhe), eine Schutzbrille und geeignete Schutzkleidung tragen, die auch einmal einen Spritzer verträgt. Dazu ist der Raum ausreichend zu belüften, da das Ausdünsten das Atmungssystem stark reizt. Ein sicheres erstes Anzeichen für eine Reizung durch zu geringe Belüftung ist ein trockenes Gefühl auf den Lippen (Lippen fühlen sich an wie „beschlagen“). Dann sofort den Raum verlassen, Gesicht und Hände mit reichlich fliessend Wasser und danach mit einer Seife waschen. Lippen ggf. eincremen. Bei Berührung mit den Augen sofort mit reichlich Wasser ausspülen und einen Arzt aufsuchen. Nehmen Sie dabei die Verpackung und Gebrauchsanleitung des Mittels mit, diese enthalten Inhaltsstoff- und Gefährdungsangaben. Dies gilt auch für plötzlich auftretenden Juckreiz oder allergische Reaktionen.
- Natronlauge ist Sondermüll und als solcher zu entsorgen. Keinesfalls darf gebrauchter Entwickler, auch nicht stark verdünnt oder neutralisiert, in die Abwasserkanalisation gelangen. Er ist als Sondermüll zu behandeln und an einer Schadstoffsammelstelle (Adressen erfahren Sie bei Ihrem Umweltamt) zu entsorgen.
- Nach dem Umgang mit dem Entwickler unbedingt die Hände waschen!
- Angesetzte Entwicklerlösung nicht frei herumstehen lassen. Das Verdampfen schädigt die Atemwege und umliegende Gegenstände.
- Keine Chemikalie, egal, in welcher Form, unbeaufsichtigt lassen. Insbesondere Kinder könnten hier durch Berühren oder Einnahme erhebliche bis lebensbedrohliche Verletzungen davontragen!
- Die mit den Mitteln gelieferten Verarbeitungs- und Warnhinweise sorgfältig beachten.
- Behälterbeschriften, Sicherheitshinweise, Inhaltsstoffe gut lesbar anbringen
- Vor Zugriff durch Kinder sichern

## **Das Ätzen**

Für das Ätzen stehen verschiedene Chemikalien zur Verfügung, die eines gemeinsam haben: Sie tragen die nicht vom Fotopositiv-Lack bedeckten Kupferflächen ab. Das abgetragene Kupfer löst sich in der Chemikalie und verbleibt je nach Chemikalie gelöst in ihr oder fällt als Schlamm ab.

Für das Ätzen kann man entweder wieder eine säurebeständige Kunststoffschale, eine Küvette (senkrecht beschickbarer Behälter) oder eine Ätzmaschine einsetzen. Letztere ist natürlich besonders komfortabel, sie sorgt für ständige Sauerstoffzufuhr für einen beschleunigten Ätzprozess, ermöglicht durch eine elektrische, geregelte Heizung das schnelle Erreichen der richtigen Ätztemperatur und durch die transparenten Seitenflächen das bequeme Verfolgen des Ätzfortschritts.

Das Ätzen selbst verläuft durch Einlegen der Leiterplatte in die Ätlösung und ständige Bewegung in der Lösung, bis die belichtete Kupferschicht vollständig abgelöst ist. Dies kann je nach Ätlösung, ihres Zustands, der Temperatur und weiteren Faktoren zwischen 5 Minuten und 20 Minuten dauern.

Nach dem Ätzen ist die Leiterplatte sorgfältig unter reichlich fließend Wasser abzuspülen, bevor eine Weiterbearbeitung erfolgt.

Folgend beschreiben wir den Umgang mit den wichtigsten, marktüblichen Ätzmitteln.

### Eisen-III-Chlorid

Das Mittel wird meist in Kugelform (gelb-braun) geliefert, die Lagerung muss unbedingt luftdicht verschlossen erfolgen, da das Mittel stark hygroskopisch (wasseranziehend) ist. Ein 200-g-Beutel ist ausreichend für 1 Liter Ätzlösung. Das Auflösen erfolgt bis zur Sättigung, das heißt, bis das Wasser kein Eisen-III-Chlorid mehr aufnehmen kann, dieses sinkt also am Boden ab. Die entstehende Lösung ist dunkelgelb und undurchsichtig. Das Ätzen kann bei Raumtemperatur, aber auch bei höheren Ätzbadtemperaturen bis zu 70° C erfolgen. Entsprechend liegen die Ätzzeiten zwischen wenigen Minuten und bis zu 60 Minuten. Während des Ätzens soll das Ätzbad leicht bewegt werden, um ein gleichmäßiges Abtragen des Kupfers zu erreichen. Eisen-III-Chlorid ist auch für Schaumätzanlagen geeignet, für Küvettenätzgeräte eher nicht. Nach dem Ätzen die Leiterplatte sofort gut unter fließendem Wasser abspülen.

Für sehr feine Layouts nur bedingt einsetzbar (Ätzprozess ständig überwachen!), da sehr leicht Unterätzungen auftreten und die Konturenschärfe je nach Zustand des Ansatzes nachlassen kann.

Ein Ansatz ist unter Lichtabschluss gut lagerbar und mehrfach verwendbar (Aufnahme von bis zu 60 g Kupfer je Liter, entspricht ca. 0,4 m<sup>2</sup> Leiterplatte mit mittlerem Deckungsgrad). Mehrfachverwendung verlängert jedoch die Ätzzeit erheblich. Der sich absetzende Schlamm ist hochgiftig!

### Ammoniumpersulfat

Das Mittel wird als weißes, kristallines Pulver geliefert, sollte luftdicht gelagert werden und ist etwas umweltfreundlicher als Eisen-III-Chlorid. Es reagiert ebenfalls hygroskopisch. 500 g des Mittels reichen für 2 Liter Ätzlösung. Beim Auflösen unter Röhren kühlst sich die Lösung deutlich ab, beim späteren Ätzen erwärmt sich die Lösung. Die frische Ätzlösung ist klar bis leicht milchig, mit zunehmendem Kupfergehalt verfärbt sie sich blau, bleibt jedoch immer durchsichtig, so dass der Ätzvorgang sehr gut kontrolliert werden kann. Die optimale Ätztemperatur beträgt ca. 40° C, sie sollte weder deutlich höher (<50° C) noch viel niedriger (>30° C) sein. Die Ätzzeit beträgt 5 bis 10 Minuten. Während des Ätzens soll das Ätzbad leicht bewegt werden, um ein gleichmäßiges Abtragen des Kupfers zu erreichen. Das Mittel ist nicht für Schaumätzanlagen geeignet, der Hersteller empfiehlt die alleinige Verarbeitung in Glas-, Keramik- oder Emailgefäß. Nach dem Ätzen die Leiterplatte sofort gut unter fließendem Wasser abspülen.

Ein Ansatz ist in einem geschlossenen Glasgefäß lagerbar und mehrfach verwendbar (Aufnahme von bis zu 40 g Kupfer je Liter). Bei intensiver Blaufärbung ist die Lösung verbraucht. Nach Abkühlen bleiben blaue Kristalle zurück, die hochgiftig sind!

### Natriumpersulfat 100 g / 0,4 L ltr

Das als „Feinkristall“ gehandelte Ätzmittel sticht durch die Abwesenheit des sehr giftigen Ammoniums hervor und gilt deshalb als besonders umweltfreundlich, obwohl auch hier die verbrauchte Lösung als Sondermüll gilt. Das Ätzmittel wird im Beutel für 0,5 l Ätzansatz geliefert. Es löst sich im Wasser schnell auf, kristallisiert nicht aus, ätzt mit sehr hoher Konturenschärfe und sehr geringer Unterätzung. Auch hier kühlst sich der Ansatz beim Einröhren des Ätzmittels in das Wasser ab und erwärmt sich beim späteren Ätzen. Das Ätzen erfolgt bei 40° C bis 50° C, auch hier beschleunigt die Badbewegung das Ätzen und sorgt für gleichmäßigen Kupferabtrag. Die Ätzzeit beträgt 10 bis 20 Minuten.

Auch dieses Mittel ist nicht für Schaumätzen geeignet. Nach dem Ätzen die Leiterplatte sofort gut unter fließendem Wasser abspülen.

Ein Ansatz kann in einem **offenen!** Gefäß aufbewahrt werden. Durch die ständige Gasentwicklung kann ein dicht verschlossenes Gefäß爆破! Auf eine entsprechende Belüftung ist zu achten.

### Salzsäure

Obwohl vorwiegend in der industriellen Serienfertigung eingesetzt, eignet sich dieses Verfahren auch sehr gut für die Einzelfertigung. Aufgrund der Gefährlichkeit der eingesetzten Chemikalien sollte diese Methode jedoch nur von dazu ausgebildeten Fachkräften angewandt werden.

Für 1 l Ätzlösung sind folgende Chemikalien zu mischen:

770 ml Wasser mit einer Temperatur von 70° C werden in einen Glas-Meßbecher gegeben, dann erfolgt die Zugabe von 200 ml konzentrierter (ca. 35 %) Salzsäure und 30 ml konzentriertem (ca. 30 %) Wasserstoffperoxid. Das Ganze riecht stechend, weshalb hier gut zu lüften ist. Die Substanz verätzt die Kleidung, bei Hautkontakt muss sofort mit reichlich Wasser abgespült werden. Augen und Hände sind entsprechend den allgemeinen Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Säuren zu schützen (Schutzbrille, Gummihandschuhe).

Beim Mischen (mit einem Glasstab in einem Glasgefäß verrühren) ist unbedingt der Grundsatz: „immer nur Säure ins Wasser geben, niemals umgekehrt“ zu beachten und immer nur wenig Säure ins Wasser zu

geben. Andernfalls kommt es zu Hitzereaktionen („Überkochen“ und Spritzen). Insbesondere das Wasserstoffperoxid nur sehr langsam hinzugeben und nicht direkt über dem Gefäß einatmen, denn dabei wird das gefährliche Chlorgas entwickelt!

Die beste Ätztemperatur beträgt hier ebenfalls 40° C, die Ätzzeit beträgt je nach Temperatur (auch Zimmer-temperatur möglich) bis zu 15 Minuten. Das Ätzen erfolgt hier ebenfalls sehr sauber und konturenscharf. Die frische Lösung ist klar, mit zunehmendem Kupfergehalt färbt sie sich grün bis blaugrün. Es entsteht kein Bodensatz.

Prinzipiell ist die Lösung einige Tage aufbewahrbar, jedoch nur in dunklen, **nicht luftdicht!** verschlossenen, dunklen Glasflaschen. Auch hier erfolgt ein Gasen, das zum Zerbersten des Gefäßes bei Luftpertichtheit führen könnte! Auch aus diesem Grunde, vielmehr aber wegen der nach einigen Tagen instabilen Lösung sollte man das Salzsäurebad jedes Mal neu ansetzen.

Salzsäure ist sehr effektiv, man erreicht hier sehr hohe Kupferaufnahmen von bis zu 120 g/l.

### **Entsorgen von Ätzlösungen**

Alle hier beschriebenen Ätzlösungen gelten als Sondermüll und sind entsprechend zu entsorgen. Sie dürfen in keiner Form, sowohl un- als auch verbraucht, verdünnt oder nicht, in das Abwassersystem gelangen. Diese Chemikalien sind als Sondermüll bei den Schadstoffsammelstellen abzuliefern, und zwar getrennt und deutlich deklariert!

Früher empfohlene Neutralisierungsmöglichkeiten gelten nach aktueller Gesetzeslage nicht mehr, sofern sie nicht in industriellen, genehmigten und überwachten Anlagen erfolgen.

### **Sicherheitshinweise**

- Verwenden Sie nur ätzfeste Kunststoff-, Glas- oder Keramikschalen und ebensolche Werkzeuge, z. B. Kunststoffpinzetten (Fotobedarf), Glaskührstäbe, Glas-Thermometer usw.
- Auf sicher stehenden, ebenen Unterlagen arbeiten, ggf. Umfeld gegen Spritzer abdecken.
- Beim Abfüllen in Gefäßen jedes deutlich kennzeichnen (Inhalt, Ansatzdatum, Gift-Aufkleber). Auf keinen Fall in Lebensmittelgefäß wie Getränkeflaschen abfüllen. Verwechslungs- und Vergiftungsgefahr! Kunststoff-Laborflaschen sind Glasflaschen vorzuziehen, da letztere zerbrechen können.
- Bei allen gasentwickelnden Chemikalien einen entsprechend präparierten (Loch) Verschluss vorsehen, um einem Zerplatzen vorzubeugen.
- Beim Arbeiten mit Chemikalien Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen.
- Chemikalien für Unbefugte, insbesondere Kinder unerreichbar aufzubewahren.
- Die Hinweise der Chemikalienhersteller unbedingt beachten, diese haben Priorität gegenüber den hier gemachten Ausführungen, da sich Zusammensetzung und Wirkung ändern können!

### **Letzter Gang - Entschichten und Konservieren**

Nach dem gründlichen Abspülen der Leiterplatte ist diese zu trocknen und anschließend vom noch auf den Leiterbahnen haftenden Fotoresist zu befreien. Dies erfolgt mit einem entsprechenden Lösungsmittel wie Brennspiritus oder Aceton und einem Wattebausch und ggf. mit einem nicht zu scharfen Haushalt-Scheuermittel, bis alle Leiterzüge richtig blank sind. Falls diese Chemikalien nicht vorhanden sind, kann die Fotoschicht auch durch nochmaliges Belichten der kompletten Leiterplatte und anschließendes Entwickeln vollständig entfernt werden.

Wird die Leiterplatte jetzt nicht unmittelbar gebohrt, bestückt und gelötet, so empfiehlt sich das Einsprühen der Leiterplatte mit Lötłack, der nach dem Trocknen eine feste Schicht bildet, gegen Korrosion gut schützt und zudem auch lötfähig ist. In bestimmten Fällen ist auch Glanzverzinnen mit handelsüblichem Glanzverzinner sinnvoll, wenn auch nicht ganz billig. Damit werden bei genügender Einwirkung auch kleine Haarrisse in den Leiterbahnen überbrückt. Diese Methode findet jedoch vorwiegend bei industriellen Anwendungen ihren Gebrauch, da auch hier sehr giftige Rückstände entstehen.