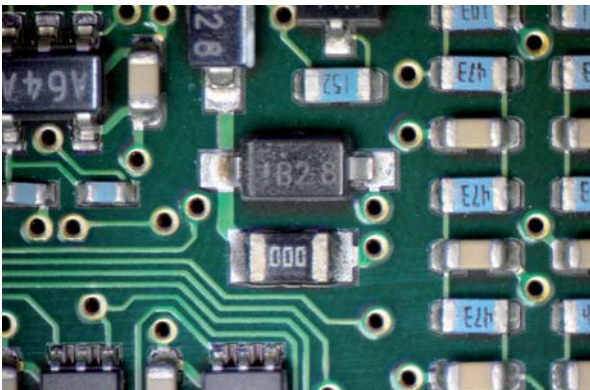


Präzise und einfach!

# Platinenbeschichtung mit Trockenfilmtechnik

Dr. Guido Schönwälder, DL1DBL

Mit der Trockenfilmtechnik ist es auch unter Amateurbedingungen möglich, HF-Lamine präzise zu beschichten.



Die Fertigung von gedruckten Schaltungen (Printed Circuit Boards, PCBs) stellt für den Funkamateurler immer noch eine gewisse Herausforderung dar. Beginnend mit der richtigen Herstellung der Vorlagen über die Anschaffung eines Vakuum-UV-Belichters und einer Ätzmaschine bis hin zur Auswahl des geeigneten Laminates gilt es, viele Aspekte zu beachten. Bei der Wahl einer geeigneten Ätzmaschine sollte nicht am falschen Ende gespart werden, denn ausgelaufene Ätzlösung führt zu unschönen Erfahrungen. Der Vakuum-UV-Belichter erleichtert die Herstellung von PCBs mit größerer Präzision ganz erheblich. Die Vielfalt der zur Verfügung stehenden Lamine ist beeindruckend, aber meist greift der OM zu FR4, da dieses bereits fotobeschichtet erhältlich ist. Bei hohen Frequenzen stößt es an Grenzen und weist bereits bei 3 GHz Verluste von 0,25 dB/inch auf [1].

Bild 1: Laminiermaschine aus dem Bürobereich



Bessere Lamine haben das nicht zu unterschätzende Problem, mit einer fotosensiblen Schicht versehen zu werden.

## Vorüberlegungen

Warum sollte man sich die Mühe machen, Platinen selbst zu ätzen, wenn doch heute alles so einfach mittels Isolationsfräsen der Lamine möglich ist? Das Isolationsfräsen ist weder risikolos noch gesundheitlich unbedenklich, besonders wegen des entstehenden Staubes. Zudem sind HF-Lamine im Hobbybereich u.U. schwer bis gar nicht zu fräsen.

Gemäß [2] wurde bewusst auf eine Fertigung per CNC-Fräse zugunsten des Ätzens verzichtet, da Isolationsgefäße, also im CNC-Fräseverfahren hergestellte Platinen, in ihren elektrischen Eigenschaften und ihrem Hochfrequenzverhalten nicht einer geätzten Platine entsprechen würden.

## Wie kommt das Layout auf die Platine?

Die Methode der Wahl ist das Fotoverfahren: Eine Filmvorlage wird zur Belichtung einer auf dem Laminat befindlichen, fotosensitiven Schicht benutzt, mit anschließender Entwicklung und Ätzung. Der erfahrene Leser denkt dabei an die Sprühdose mit dem Fotopositiven Lack. Versuche zeigten, dass es gar nicht so einfach ist, eine gleichmäßige Schichtdicke zu erzeugen, insbesondere bei doppelseitig beschichteten Platinen. Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass auch die Möglichkeit besteht, Lamine fotosensitiv lohnbeschichten zu lassen. Das Grundprinzip ist immer:

- Erstellung des Layouts am Computer
- Übertragung des Layouts auf eine transparente Folie
- Belichtung des fotobeschichteten Materials im UV-Vakuum-Belichter

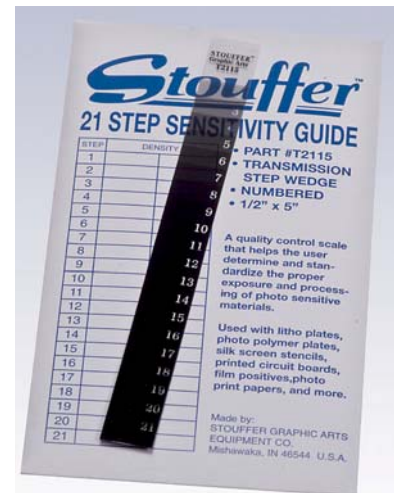


Bild 2: Stouffer Graukeil

- Entwicklung
  - Ätzen
  - Entfernung der fotosensitiven Schicht
  - ggf. weitere Schritte, z.B. versilbern
- Eine sehr elegante Methode für den Heim- wie auch den Profibereich stellt die fotosensitiven Beschichtung mittels Dry-Film (Trockenfilm) dar.

## Der Trockenfilm

Mittels Trockenfilmverfahren lassen sich viele Lamine reproduzierbar und

## Literatur und Bezugsquellen

- [1] Datenblatt zum original Bungard fotobeschichteten Basismaterial FR4: [www.bungard.de/images/downloads/ipc4101d.pdf](http://www.bungard.de/images/downloads/ipc4101d.pdf)
- [2] vergleichende Stellungnahme der Firma Bungard zu geätzten und zu Isolationsgefäßen Platinen: [www.bungard.de/iso/seiten/aetzenundfraesen.htm](http://www.bungard.de/iso/seiten/aetzenundfraesen.htm)
- [3] Octamex, [www.octamex.de/shop/?page=shop/flypage&product\\_id=29&category\\_id=5848924494118370762daa6f026e22f7&Tenting\\_Laminat\\_fuer\\_Bestueckungsdruck\\_1m\\_kaufen.html](http://www.octamex.de/shop/?page=shop/flypage&product_id=29&category_id=5848924494118370762daa6f026e22f7&Tenting_Laminat_fuer_Bestueckungsdruck_1m_kaufen.html)
- [4] Fotoimpex, Stouffer Transmission Step Wedge Gray Scale #T2115-21 Step (1/2 inch x 5 inch), [www.fotoimpex.de/shop/fotolabor/stouffer-transmission-step-wedge-gray-scale-t2115-21-step-12-inch-x-5-inch.html](http://www.fotoimpex.de/shop/fotolabor/stouffer-transmission-step-wedge-gray-scale-t2115-21-step-12-inch-x-5-inch.html)
- [5] Reichelt, [www.reichelt.de/index.html?ACTION=3;ARTICLE=127058;SEARCH=TS%20125](http://www.reichelt.de/index.html?ACTION=3;ARTICLE=127058;SEARCH=TS%20125)

ten. Dieser sollte leicht überstehen, da das exakte Trimmen des Films erst nach dem Laminieren erfolgt. Bei der verwendeten Rollenware liegt die vor dem Laminieren zu entfernende Schutzschicht, das sog. Softcoating (weiche Folie), nun auf der Rollenninnenseite. Das Abziehen gelingt einfacher mithilfe von zwei Klebestreifen (Tipp: Malerkrepp). Mit dieser Technik sollte man sich kurz in einer Vorübung vertraut machen: unter Lichtschutz ein Stück des Folienmaterials abschneiden, den Restvorrat wieder gut vor Licht schützen und dann die ersten Abziehversuche im hell erleuchteten Raum vornehmen.

Für das eigentliche Beschichten wird der Dry-Film mit der von dem Softcoating befreiten Seite nach oben auf eine glatte Unterlage gelegt. Die Platine legt man mit Abstand von den Filmrändern an einer Platinenkante beginnend vorsichtig auf dem Film ab (absolut blasenfrei!). Am Platinende wird der Film umgeschlagen und der Vorgang entsprechend mit der zweiten Platinenseite fortgeführt. Es sollte seitlich und an der der Umschlagseite gegenüberliegenden Seite ein Überstand verbleiben.

Die so vorbereitete Platine lässt man nun drei- bis viermal mit der Umschlagkante voran durch das Laminiergerät laufen bei 100...110 °C.

Anschließend wird der Filmüberschuss abgeschnitten und die Platine zum Abkühlen vertikal gelagert.

### Die Belichtung

Die Platine sollte innerhalb von zwei Stunden nach der Beschichtung belichtet werden. Die *Negativ*-Layoutvorlage wird mit der Schichtseite auf die vorbereitete Platine gelegt, um bestmögliche Auflösung zu erreichen. Die Belichtungszeit kann mit einem 21-stufigen Stouffer Graukeil [4] ermittelt werden (Bild 2).

Die Stufen 8 bis 10 müssen nach dem Ätzen frei sein (Bild 3).

Die Belichtung sollte möglichst kurz erfolgen, um eine hohe Auflösung zu erreichen.

Eine zu lange Belichtung verbreitert die Leiterbahnen unnötig, und die Zwischenräume werden



Bild 4: Die Edelstahlschüssel

schmäler. Eine zu kurze Belichtung kann wiederum zu einem schlechteren Ergebnis bei der Platinenentwicklung führen.

Die Belichtungsermittlung mittels Stouffer Graukeil erfolgt sehr exakt, da die Grauwert-Abstufungen recht fein sind. Dieser Versuchsaufbau stellt überkritische Voraussetzungen dar, da die reale Belichtungsvorlage idealerweise nur Schwarz und Weiß enthält.

Bitte nicht vergessen, bei der Bestimmung der korrekten Belichtung das später zu verwendende Trägermaterial für das Layout mit zu berücksichtigen. Das Material kann erheblich Licht schlucken.

Gegenüber dem ab Werk positiv beschichteten Basismaterial muss man sich beim Dry-Film-Verfahren auf erheblich kürzere Belichtungszeiten einstellen!

### Die Entwicklung

Man gibt 10 g Natriumcarbonat auf 1 l Wasser und heizt auf 40 °C vor. Eine Edelstahlschüssel (Bild 4) auf einer Einzelkochplatte, die von einer externen Steuerung [5] profitiert (Bild 5), hat sich bewährt. Um ein Überfahren der 40 °C zu vermeiden, sollte eine sehr niedrige Heizstufe gewählt werden. Nach einer gewissen Zeit bleibt die Temperatur prozessbezogen hinreichend konstant. Man markiere die einmal gefundene Reglerposition der Einzelkochplatte z.B. mit einem Lackstift dauerhaft.

Die Schutzfolie auf der Außenseite des Dry-Films (Hardcoating = harte Folie) ist nun zu entfernen, wobei wieder ein Klebestreifen hilft.

Der Richtwert für die Entwicklungszeit beträgt 90 s. Die Entwicklung wird durch einen weichen Pinsel unterstützt und ist beendet, wenn diejenigen Stellen, die beim Ätzen nicht bedeckt sein dürfen, frei von Dry-Film sind.

Es empfiehlt sich, die reale Entwicklungszeit durch Versuche zu ermitteln, da sie u.a. von der Badtemperatur des Entwicklers und der Belichtungszeit abhängt. Bild 6 zeigt eine entwickelte

gleichmäßig beschichten. Der Handel bietet komplette Laminiermaschinen an. Für den Funkamateurliebhaber sind diese meist zu groß. Modifizierungen des Verfahrens führen dennoch zum Erfolg. Für eigene Experimente wurde eine Laminiermaschine aus dem Bürobereich verwendet (Bild 1).

Die Oberfläche des Platinenmaterials muss fettfrei, trocken und absolut sauber sein. Ein zweistufiges Verfahren hat sich dazu bewährt: Zunächst wird die Platine gründlich entfettet (z.B. mit Aceton unter Beachtung der Sicherheitsvorschriften), anschließend mit Spülmittel ohne Hautpflegezusätze und einem Kunststoff-Scheuerschwamm oder sehr feiner Stahlwolle von Verunreinigungen und eventuellen Oxidationsschichten durch Nassbürsten befreit.

Das überschüssige Spülmittel muss gründlich abgespült werden.

Es ist sehr wichtig, die Oxidschicht von der Kupferoberfläche schonend und gründlich zu entfernen.

Die Trocknung kann durch mehrmaliges Durchlaufen des aufgeheizten Laminiergerätes beschleunigt werden. Danach sollte umgehend mit dem Laminieren begonnen werden.

Als Laminat kam L-Tenting [3] zur Anwendung. Bei einer zweiseitigen Platine wird der Trockenfilm unter Schutzlicht großzügig auf doppelte Platinenlänge und einfache Platinenbreite zugeschnit-



Bild 5: Eine externe Regelung

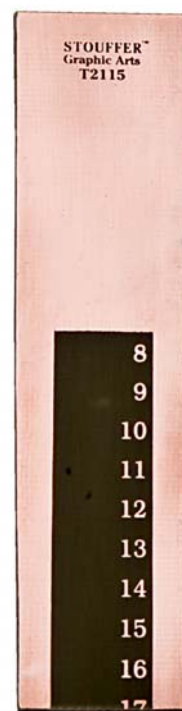


Bild 3: Belichtungstest mit Stouffer Graukeil



**Bild 6:**  
Eine Belichtungsprobe

Probe, bei der man sehen kann, dass die Belichtungszeit zu lang war und deren Beschichtung sich ablöst. Mögliche Ursachen sind eine schlechte Vorbereitung des Trägermaterials, eine zu geringe Laminieretemperatur oder Luft einschüsse beim Laminieren. Der Film arbeitet sehr hart, d.h. der Spielraum von korrekter Belichtung bis zur Über- bzw. Unterbelichtung ist gering. Das Trimmen der Laminatränder der Probe ist ausreichend. Wenn knapp belichtet wurde, ist so kurz wie möglich zu entwickeln. Unvollständig entwickelter Dry-Film zeigt einen weiß-grauen Belag und fühlt sich seifig an.

Nach der Entwicklung ist die Platine gründlich mit Wasser zu spülen. Eine Trocknung vor dem Ätzvorgang ist nicht erforderlich.

Eine Kontrolle, ob die Entwicklung erfolgreich war, kann erfolgen, indem man die Platine kurz mit Ätzmittel benetzt. Das korrekt freiliegende Kupfer verfärbt sich rötlich, nicht zu Ende entwickelte Stellen erscheinen heller.

## Ätzen und Entfernen des Films

Es sind saure Ätzmedien zu bevorzugen. Eisen-(III)-Chlorid wird oft empfohlen. Der Dry-Film ist gegen alkalische Ätzmedien nur bedingt beständig.

Ein Tauchbad aus einer ein- bis zwei-prozentigen Natriumhydroxid-Lösung entfernt den Dry-Film nach dem Ätzvorgang. Es ist gründlich mit Wasser nachzuspülen, um einem Anlaufen der Kupferoberfläche entgegenzuwirken. Nach dem Trocknen kann die Platine wie gewohnt gebohrt, durchkontaktiert, versilbert und bestückt werden.

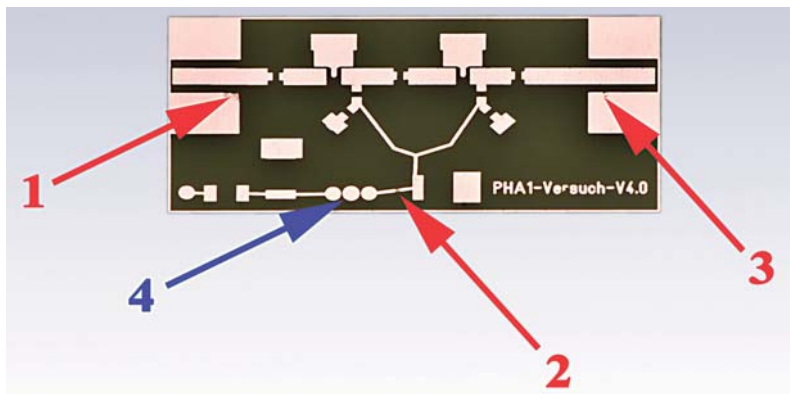
## Das Testprojekt für ein PCB

Ein Testprojekt mit einigen kritischen Layout-Besonderheiten sieht man in **Bild 7**. Die roten Pfeile 1-3 zeigen Stellen, die beim Ätzen unvollständig vom Dry-Film abgedeckt wurden. Es stellt sich die Frage, ob das PCB hierdurch unbrauchbar wurde.

**Bild 8** gibt das Detail des Pfeils 1 wieder. Die Kupferoberfläche erscheint „angefressen“. Da es sich um eine Massefläche handelt, stellt dies keinen dramatischen Schaden dar.

**Bild 9** betrifft das Detail zum Pfeil 2. Dort ist die Kupferbahn zwar angeätzt, aber keineswegs unterbrochen. Auch hier also Entwarnung.

Auf **Bild 10** (Pfeil 3) ist angeätzte Massefläche zu erkennen, auch diese



**Bild 7:** Das Testprojekt

ist ergänzungsfähig. Der blaue Pfeil 4 zeigt auf eine Stelle, deren Kreiselemente nicht sauber freigeätzt sein könnten. Solche Elemente führen beim Ätzen nicht selten zu Kurzschlüssen. **Bild 11** überrascht mit hoher Detailschärfe: Nicht nur die Kreiselemente sind präzise voneinander getrennt, sondern auch die Randbegrenzung ist gleich oder besser begrenzt, als es von werkseitig fotobeschichtetem FR4 aus eigenen Versuchen zu erwarten gewesen wäre.

Tendenziell kann beim modifizierten Dry-Film-Verfahren eher das Problem auftreten, dass zu viel Kupfer entfernt wird als zu wenig.

## Fehlerquellen

Einem Lösen des Dry-Films nach der Entwicklung können eine zu geringe Laminieretemperatur und/oder eine zu kurze Belichtungszeit zugrunde liegen. Da die Belichtungszeit mittels Stouffer Graukeil exakt bestimmt wurde, ist die wahrscheinlichere Fehlerquelle eine zu geringe

Laminieretemperatur. Das Aufbringen des Films vor dem Laminieren muss luftblasenfrei erfolgen. Hier kann entweder mit den Fingern der Film durch Verstreichen aufgebracht oder ein hartes Filzstück benutzt werden. Bei größeren PCB-Formaten kann eine Gummwalze hilfreich sein.

## Zusammenfassung

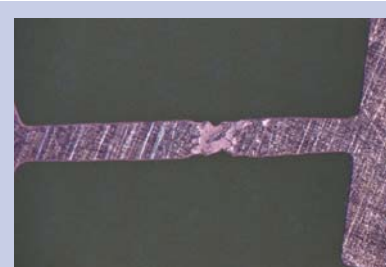
Die Dry-Film-Methode stellt ein vielversprechendes Verfahren der Platinenbeschichtung für den Funkamateure mit ausreichender Präzision und Wiederholungsgenauigkeit dar, und dies bei vertretbarem Aufwand. Sie erschließt HF-Platinenlamine, die fertig fotobeschichtet nicht erhältlich sind.

Das Hantieren mit Sprühlacken entfällt. Vorsichtsmaßnahmen und Umweltauflagen sind dennoch zu beachten. Die Layoutvorlage ist als Negativ zu erstellen.

Das Aufbringen des Dry-Films ist kritisch, aber machbar.



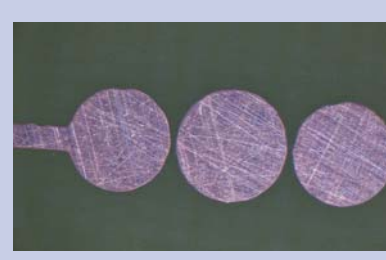
**Bild 8:** Detail zum roten Pfeil 1



**Bild 9:** Detail zum roten Pfeil 2



**Bild 10:** Detail zum roten Pfeil 3



**Bild 11:** Detail zum blauen Pfeil 4