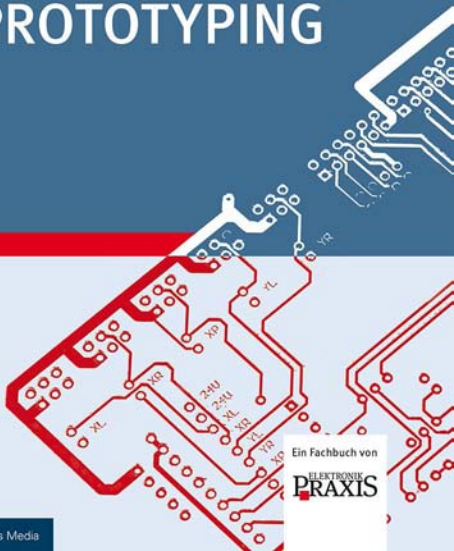


LPKF (Hrsg.)

LEITERPLATTEN- PROTOTYPING



Ein Fachbuch von

**ELEKTRONIK
PRAXIS**



Vogel Business Media

LPKF (Hrsg.)

Leiterplatten-Prototyping

Autoren:

MALTE BORGES
LARS FÜHRMANN
ARNOLD WIEMERS
WOJCIECH WOZNY

LARS FÜHRMANN

hat seine berufliche Laufbahn mit einer Ausbildung zum Kommunikationselektroniker / Funktechnik begonnen und mit einer Weiterbildung zum staatl. gepr. Elektrotechniker erweitert. Nach Erfahrungen als Techniker im Bereich Entwicklung und Prüfmittelbau wechselte er zu LPKF. Dort durchlief er die Abteilungen Applikationsentwicklung und Kundenservice. Heute verantwortet er die strategische Entwicklung der gesamten Produktpalette im Inhouse PCB Prototyping.

WOJCIECH WOZNY

hat in der ILFA-Prozesstechnik und als Abteilungsleiter Siebdrucktechnik umfangreiche Erfahrungen in der Leiterplattentechnologie erworben. Nach seinem Elektrotechnik-Studium war er dort für neue Herstellungsmethoden, Optimierung bestehender Prozesse, Validierung von neuen Maschinen und Materialien zuständig. Derzeit obliegt ihm die personelle Leitung der Fräs- und Laserapplikation des Geschäftsfeldes Rapid Prototyping der LPKF Laser & Electronics AG. Hier setzt er mit seinem Team Kundenprojekte in anlagenspezifische Daten für das Prototyping um und führt Machbarkeitsstudien durch. Er unterstützt das Produktmanagement und die Hard- und Software-Entwickler durch Validierung von Hard- und Software, durch Untersuchungen von neuen Materialien und beim Optimieren bestehender Prozesse.

ARNOLD WIEMERS

ist der Leiterplatte seit 28 Jahren verbunden. Von 1985 bis 2009 war er bei der ILFA GmbH

in Hannover beschäftigt und verantwortlich für die Fachbereiche CAD und CAM, für die Auftragsvorbereitung und für die Dokumente im Internet. Diverse Fachveröffentlichungen. Referent für Seminare, Konferenzvorträge und Workshops zum Thema Leiterplattentechnologie (MFT, MPS, Impedanz, Multilayersysteme, Designregeln, Gerber, LP2010).

Arnold Wiemers ist vom IPC zertifizierter CID, CID+ und Instructor sowie FED-Designer. Aktive Mitarbeit am Schulungskonzept des FED. Gründungsmitglied und Mitarbeit in der internationalen «Projektgruppe Design» des FED und des VdL. Mitinitiator des Projektes «Die Leiterplatte 2010» zusammen mit Unitel und der *elektronikpraxis*.

Seit 2009 ist er Mitinhaber der Leiterplatten-Akademie GmbH. Dort arbeitet er in der Funktion und Verantwortung eines Technischen Direktors am Aufbau und der Durchführung von eigenen Fachseminaren zum Themenkreis CAD, Leiterplattentechnologie und Baugruppenproduktion.

MALTE BORGES

ist für die Produktkommunikation bei LPKF zuständig. Er verantwortet die Berichterstattung über neue Verfahren und Entwicklungen, koordiniert und verfasst Fachartikel und sorgt für eine zielgruppengerechte Darstellung von neuen Systemen und Verfahren.

Zuvor arbeitete er als freier Fachbuchautor und Redakteur und kann auf eine umfangreiche Bibliografie aus Fach- und Trainingsliteratur verweisen.

Weitere Informationen:
www.vbm-fachbuch.de

ISBN Print-Ausgabe: 978-3-8343-3313-1 ISBN E-Book: 978-3-8343-6201-8

1. Auflage. 2015

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 2015 by Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg

Umschlaggestaltung: VBM Mediengestaltung, Würzburg

Vorwort

Immer feiner, kompakter, präziser – die Entwicklung am Elektronikmarkt wirkt sich auch auf die Verfahren aus, mit denen Prototypen bei Einbautest oder mit elektronischen Funktionen ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen sollen. Gleichzeitig steigt der Zeitdruck: Von der Idee bis zur fertigen Leiterplatte darf immer weniger Zeit vergehen.

Moderne Prototyping-Verfahren können mehr als einfache Ätzbäder. Die Forderung besteht darin, dass ein Kreislauf aus Entwurf, Umsetzung, Test und Verbesserung entsteht – ein iterativer Prozess, der trotz seriennaher Baugruppen sowohl vom zeitlichen als auch finanziellen Aufwand in einem vertretbaren Rahmen stattfinden muss.

Ein weiterer Aspekt betrifft den Ausbildungsbereich. Auch hier gilt es, eine praktische Entsprechung für theoretische Lehr- und Lerninhalte zu finden. Nur wer eine Technologie kennt, kann sie für eigene Arbeiten in Erwägung ziehen.

Dieses Buch soll nicht jeden einzelnen Schritt bis ins Detail darstellen, sondern eher einen Überblick über die gesamte Bandbreite geben. Welche Technologie hat welche Auswirkung für die Prototypen-Erstellung? Darüber hinaus schaut es auf ungewöhnliche Materialien und Verfahren: Im letzten Kapitel zeigt es zum Beispiel Verfahren, mit denen dreidimensionale Körper mit Leiterbahnen versehen werden, wie sich Keramiken bearbeiten lassen und wie Glasscheiben mit unsichtbaren Leiterstrukturen versehen werden können.

Ein breites Feld – und die Autoren freuen sich, wenn die Ausführungen in diesem Buch zum Einsatz der einen oder anderen Technologie beiträgt.

Malte Borges
Lars Führmann
Arnold Wiemers
Wojciech Wozny

Inhaltsverzeichnis

1	Von der Idee zur Leiterplatte	9
1.1	Was ist Elektronik?	9
1.2	Das Schaltungslayout	10
1.3	Vorteile des Leiterplatten-Prototyping	11
1.4	Von der Idee zum Prototyp	12
2	Allgemeine Leiterplattentechnologie	19
2.1	Aufbereitung der Layoutdaten	19
2.2	Fertigungstechnologien	22
2.3	Basismaterialien	25
2.4	Leiterplattenklassen	29
2.5	Oberflächen auf Leiterplatten	35
2.6	Drucke auf Leiterplatten	39
3	Strukturierung des Leiterbildes	41
3.1	Prototypen auf Experimentalleiterplatten	41
3.2	Ausgabe der Layoutdaten	43
3.3	Leiterbildstrukturierung im Ätzverfahren	44
3.4	Leiterplattenstrukturierung durch Isolationsfräsen	49
3.5	Leiterplattenstrukturierung durch Laser	53
3.6	Bohrungen	55
3.7	Fertigungsabläufe für einseitige Leiterplatten	58
4	Zwei- und mehrlagige Leiterplatten	61
4.1	Zweilagige Leiterplatten	61
4.2	Mehrlagige Leiterplatten	63
4.3	Flexible Leiterplatten	66
4.4	HF-Leiterplatten	67
4.5	IMS-Leiterplatten	67
4.6	Registrier- und Passermarken	67
4.7	Schematischer Fertigungsablauf für doppelseitige und kontaktierte Leiterplatten	68
5	Durchkontaktierungen	71
5.1	Drahtkontaktierung	71
5.2	Durchkontaktierung im Nietverfahren	73
5.3	Durchkontaktierung mit Kontaktpaste	74
5.4	Galvanische Durchkontaktierung	76
5.5	Arten von Vias	78
6	Lötstopplack und Bestückungsdruck	81
6.1	Lötstopplack	81
6.2	Bestückungsdruck	84
6.3	Abziehlack	85

6.4	Viadruk	86
6.5	Heatsinkdruck	87
6.6	Carbondruck	88
6.7	Verarbeitung von Leiterplatten-Lacken	89
6.8	Gießverfahren	90
6.9	Siebdruck	90
6.10	Sprühverfahren	91
6.11	Ink Jet	91
7	Lotpastenauftrag	93
7.1	Materialien zum Löten	93
7.2	Lotpastendruck	94
8	Bestücken einer Leiterplatte	99
8.1	Manuelle Bestückung	101
8.2	Industrielle Verfahren	106
9	Lötverfahren	109
9.1	Lötstrategien	109
9.2	LötKolbenlöten	113
9.3	Reflowlöten	116
9.4	Wellen-/Schwalllöten	117
9.5	Laserlöten	119
9.6	Dampfphasenlöten	120
9.7	Tauchlöten	120
9.8	Heißluftlöten	121
9.9	Bügellöten	122
9.10	Entlöten	122
10	Erweiterte Prototyping-Verfahren	125
10.1	Prototyping-Lösungen aus der Elektronikwelt	126
10.2	Metallkomplexe und Keramiksubstrate	129
10.3	Feinstleiter durch Resiststrukturierung	132
10.4	3D MID – Räumliche Schaltungsträger	134
Anhang		139
A.1	Gerber-Format – die universelle Layoutsprache zur Herstellung von Leiterplatten	139
A.2	Videos zum Thema	146
	Abkürzungen und Begriffserläuterungen	153
	Stichwortverzeichnis	157

1 Von der Idee zur Leiterplatte

Die heutige Elektronik geht auf Erkenntnisse des 19. Jahrhunderts zurück und hat seitdem riesige Fortschritte gemacht. Inzwischen sind selbst kleine, einfache Gebrauchsgegenstände mit elektronischen Schaltungen versehen. Dabei werden die Schaltungen wie etwa von modernen Smartphones immer kompakter und komplexer. Die nachfolgenden Kapitel geben eine Übersicht über den gesamten Prozess der Fertigung von Leiterplattenprototypen – angefangen beim Entwurf bis hin zum funktionsfähigen Prototyp einer Leiterplatte. Alle angeführten Prozessschritte und Verfahren werden dabei genauer erläutert.

1.1 Was ist Elektronik?

Mit Elektronik lassen sich Steuer-, Regel- und Verstärkungsfunktionen realisieren. Dazu bereiten elektronische Komponenten Signale durch elektrischen Strom und Spannungen für den gewünschten Einsatzzweck auf.

Elektronische Schaltungen bestehen aus elektronischen Komponenten und deren Verbindung. Auf einem Trägermaterial stellen dünne Kupferbahnen den Kontakt zwischen den einzelnen Bauteilen her. Je nach Art und Ausführung können sich diese Leiterstrukturen auf den Leiterplatten über mehrere Ebenen hinweg erstrecken.

Ein wichtiger Unterschied besteht zwischen analoger und digitaler Elektronik. Während analoge Schaltungen kontinuierliche Signale verarbeiten, bearbeiten digitale Schaltungen diskrete Signale und reduzieren Spannungen und Ströme auf die Zustände «0» und «1». Dabei herrschen analoge Schaltungen bei den meisten Audiosystemen vor. Die Digitaltechnologie kommt dagegen in der Datenverarbeitung wie etwa bei Mikroprozessoren zum Einsatz.

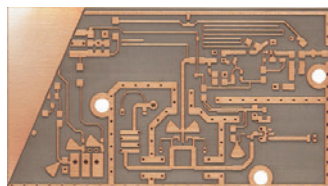
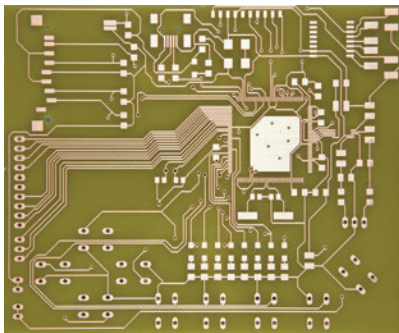


Bild 1.1 Links: eine digitale Schaltung, rechts ein HF-Schaltungsträger

Innerhalb dieser beiden Schaltungsarten haben sich weitere Anwendungsgebiete etabliert. So geht es zum Beispiel bei der Hochfrequenztechnik um die Erzeugung, Modifikation, Detektion und den Empfang elektromagnetischer Wellen. Funksysteme, Radar und Fernsteuerungen sind in dieser Kategorie zu finden. Der Übergang zwischen der herkömmlichen Niederfrequenzelektronik und der Hochfrequenzelektronik ist dabei fließend.

Die Leistungselektronik ist ein weiteres wichtiges Gebiet der Elektrotechnik. Hier liegt die Aufgabe darin, elektrische Energie mithilfe elektronischer Bauteile umzuformen. Elektrische

Umwandler auf Basis von Transformatoren oder mechanisch rotierender Komponenten gehören dieser Kategorie nicht an.

Schon diese kurze Darstellung zeigt: Beim Entwurf von Leiterplatten und beim Aufbau von Leiterplattenprototypen sind für jeden Einsatzzweck unterschiedliche Aspekte und Verfahren zu berücksichtigen.

1.2 Das Schaltungslayout

Für den Entwurf elektronischer Schaltungen stehen Programme zur Verfügung, die nicht nur die elektronische Funktionalität im Sinne eines Schaltplans, sondern eine ganze Reihe zusätzlicher nützlicher Funktionen aufweisen. Solche CAD-Programme (**Computer Aided Design**, computer-gestütztes Konstruieren) setzen die Schaltskizze in Leiterplattenlayouts um, erstellen Bestückungslisten, simulieren elektronische Funktionen und erzeugen zudem Druckvorlagen wie etwa Belichtungsmasken für Ätzprozesse.

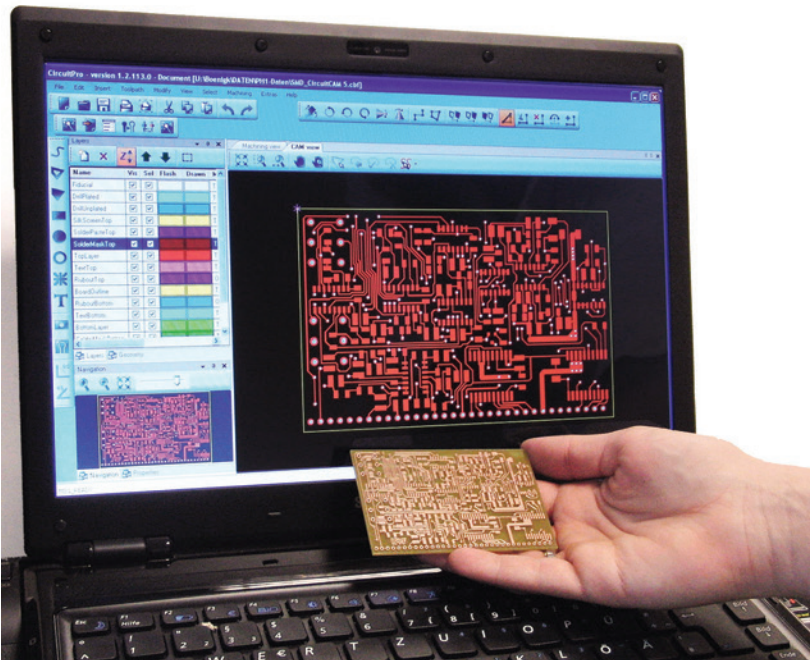


Bild 1.2 Moderne CAD-Programme helfen beim Aufbau von Schaltungen und unterstützen den Herstellungsprozess

Ein wichtiger Aspekt ist die Bereitstellung der Schaltungslayouts in einem Format, das eine Übergabe an andere Programme erlaubt. Dazu hat sich das Gerber-Format etabliert. Es ermöglicht anderen Programmen, nach dem Layout auf die Datenstrukturen zuzugreifen und spezielle Funktionen durchzuführen. Auch vollzieht sich hier der Übergang vom Layout in die Produktion. CAM-Programme (**Computer Aided Manufacturing**) analysieren die Gerber-Daten und passen sie den Produktionsanforderungen an. Dazu ein Beispiel: Anhand der geplanten Schaltung und der Bauteile ist es einem CAM-Programm möglich, die optimale Form und Kontur zum Ausfräsen der Leiterplatte aus dem Basismaterial zu ermitteln.

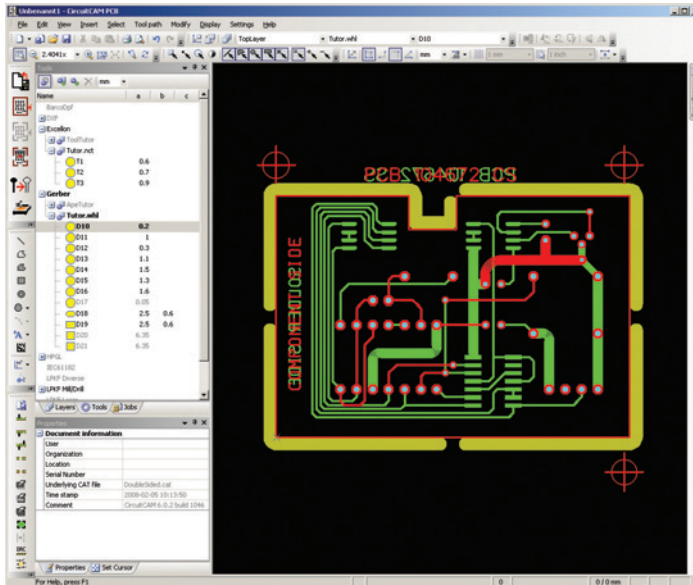


Bild 1.3 Die gelbe Umrandung repräsentiert die Wege eines Fräsers. Durch die Unterbrechungen in der Kontur bleiben Stege stehen, die die Leiterplatte im Basismaterial halten

DEFINITION

Das Gerber-Format beschreibt den Aufbau der Schaltung im offenen ASCII-Format. Die Gerber-Datei diente ursprünglich der Ansteuerung eines Fotoplotters zum Herstellen einer Belichtungsmaske für die fotolithografische Strukturierung von Leiterplatten.



Die einzelnen Schichten (Layer) liegen in separaten Dateien. So werden für eine einseitige Leiterplatte mit Kupferverbindungen, Lötstopplack und Bestückungsdruck fünf Dateien benötigt. Mittlerweile ist das RS-274X Gerber (auch X-Gerber oder Extended Gerber) ein modernerer Standard, der Punkt-, Linien- und Füllkommandos umfasst. Für eine Leiterplatte sind beispielsweise auch Bohrlayer, Lötspunktlayer u.a. erforderlich. CAD-Programme erzeugen die Layer und stellen sie CAM-Programmen zur Verfügung.

1.3 Vorteile des Leiterplatten-Prototyping

Für die Fertigung von Leiterplatten mit eigener Ausrüstung sprechen eine Reihe von Faktoren. So sollen Daten oftmals das eigene Haus nicht verlassen. Hier beginnt häufig die Suche nach Verfahren, mit denen sich auch anspruchsvolle Leiterplatten herstellen lassen. Die Fertigung im eigenen Haus wird als Inhouse PCB Prototyping bezeichnet. PCB steht für **Printed Circuit Board**, die englische Bezeichnung für Leiterplatte.

Hinzu kommt der Zeitfaktor. Bei nicht zu komplexen Layouts lassen sich in kurzer Zeit mehrere Entwicklungsstände herstellen. Diese Prototypen dienen als Einbau- oder Funktionsmuster. Schnelle Prototyping-Umläufe tragen unter Umständen dazu bei, die Markteinführung eines Produktes deutlich zu verkürzen. So sind etwa bei HF- und Digitalboards im Entwicklungsprozess oftmals mehrere Versuche notwendig, um ein optimales Layout zu erzielen. Der dritte Aspekt ist

finanzieller Natur. Nicht immer, aber in vielen Fällen lassen sich eigene Prototypen preisgünstiger inhouse herstellen als dies ein externer Dienstleister kann. Im späteren Verlauf des Buches werden die unterschiedlichen Technologien für die einzelnen Produktionsschritte betrachtet.

Prototyping-Verfahren eignen sich auch für Kleinserien und produktiv eingesetzte Einzelschaltungen. Hier lassen sich Schaltungsparameter für die jeweilige Anwendung optimieren. Die Serienfertigung ist dagegen nicht variabel.

1.4 Von der Idee zum Prototyp

Die Beschreibungen der Funktionen in diesem Buch beginnen, wenn das Schaltungslayout fertig erstellt ist. Das Layout wird hier nicht behandelt. Es geht vielmehr um die physische Herstellung der entworfenen Schaltungen. Dafür sind eine Reihe von Schritten erforderlich, wobei mit der Komplexität der Schaltung auch die Anforderungen an das Prototyping steigen.

Grundsätzlich lässt sich der Schaltungsaufbau in Teilschritte zerlegen:

- Layout
- Bohren und Durchkontaktieren
- Leiterbild herstellen
- Bestücken
- Lötén

Leiterbild aufbauen

Die Leiterplatte ist nicht nur Träger von Elektronik-Bauteilen, sondern dient auch ihrer elektronischen Vernetzung über Leiterbahnen, der Abschirmung gegen elektromagnetische Felder und der Wärmeleitung. Mit zunehmender Komplexität ist es notwendig, eine höhere Anzahl an Leiterbahnen und Bauteilen auf gleichem Raum unterzubringen. Das Prototyping bietet dazu unterschiedliche technische Lösungen.

Experimentalplatinen: Im schlichtesten Fall kommt für den Aufbau von Schaltungsprototypen eine Lochrasterplatte zum Einsatz. Standard-Lochrasterplatinen weisen Bohrungen im Abstand von ca. 2,54 mm (~0,1 Zoll) bzw. 1,27 mm auf. Handelsübliche Elektronikbauteile lassen sich in dieses Raster einpassen. Die elektrische Verbindung erfolgt beispielsweise durch das Verlöten eines Schaltdrahts oder in einer Fädeltechnik. Dagegen ist eine Lötstreifenplatine durchgängig mit parallelen Leiterbahnen versehen, um Bauteile darauf zu verlöten. Die Leiterbahnen lassen sich durch gezieltes Ritzen trennen.

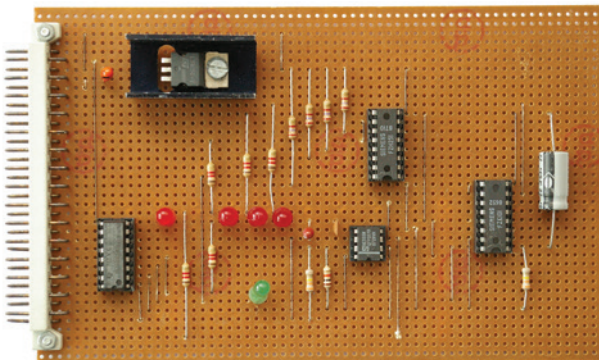


Bild 1.4

Ein Schaltungsaufbau auf einer Lochrasterplatine [Foto: Rainer Knäpper, Lizenz Freie Kunst]

Die Basis für die Strukturierung vollflächig beschichteter Substrate bildet ein mit einer homogenen Kupferschicht überzogenes Substrat. Geeignete Verfahren isolieren die Leiterstrukturen. Damit bleibt das Kupfermaterial in Bereichen mit Leiterbahnen erhalten. Das restliche Kupfer lässt sich durch unterschiedliche Verfahren entfernen.

Bei nasschemischen und fotolithografischen Verfahren wird das zu entfernende Kupfer durch einen Ätzangriff mit Säure abgetragen. Daher ist es notwendig, die Bereiche zu schützen, die erhalten bleiben sollen. Dies kann durch Belichtung einer fotosensitiven Schicht, durch Abdecken über ein Tonertransferverfahren oder auch durch einen Filzstift erfolgen. Leiterplatten, die bereits mit einer fotosensitiven Schicht bezogen sind, werden vom Fachhandel in verschiedenen Größen angeboten.

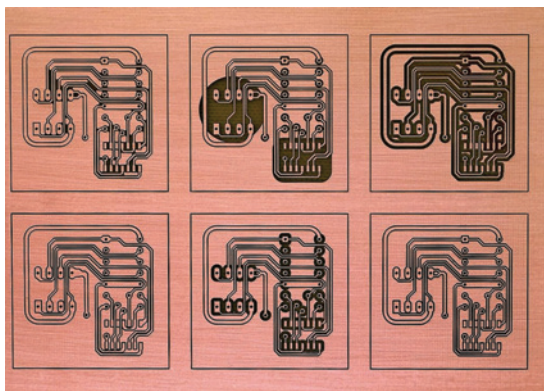


Bild 1.5 Durch Ätzen wird eine zuvor belichtete Leiterstruktur auf das Basismaterial übertragen

Für das seriennahe Prototyping bieten sich auch Frässysteme an. Diese arbeiten nach dem Prinzip der Stiftplotter. Stiftplotter bewegen einen Stift präzise in x- und y-Richtung und erzeugen durch Absenken oder Heben des Stiftes Zeichnungen. Fräsbohrplotter nutzen anstelle von Stiften Hochleistungs-Frässpindeln mit unterschiedlichen Werkzeugen, um die Leiterstruktur durch Isolationsfräsen herauszuarbeiten. Diese Fräsbohrplotter können je nach eingesetztem Werkzeug auch Löcher für Referenzsysteme und Durchkontaktierungen bohren und einzelne Leiterplatten aus einem größeren Nutzen heraustrennen.

Bild 1.6

Ein Fräsbohrplotter arbeitet das Leiterbild aus einem vollflächig beschichteten Basismaterial heraus



Die Laserablation ist derzeit das modernste Verfahren zum Erzeugen von Leiterbahnstrukturen. Geeignete Lasersysteme zeichnen sich durch äußerst präzises Arbeiten aus. Insbesondere für ungewöhnliche Materialkombinationen wie etwa Metallschichten auf Keramik und für anspruchsvolle geometrische Vorgaben im HF- und Digitalbereich eignet sich diese Strukturierungsmethode. Der Laser arbeitet ähnlich Frässystemen und isoliert Leiterbahnen vom restlichen Kupfer des Boards. Mit speziellen Verfahren lassen sich große Kupferflächen entfernen. Das Inhouse-Prototyping von mehrlagigen Leiterplatten und besonderen Materialien setzt eine professionelle Ausstattung voraus.



Bei Lasersystemen oder Fräsbohrplottern lassen sich mehrere unterschiedliche Leiterplatten auf einer größeren Grundplatte voneinander zeitlich unabhängig bearbeiten.

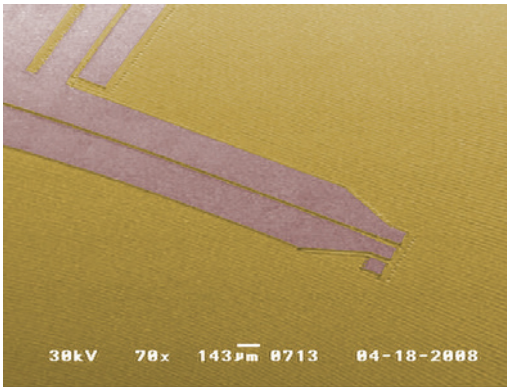


Bild 1.7

Daran scheitern andere Verfahren: ein Koppelspalt, den ein Lasersystem auf einer Leiterplatte erzeugt hat

Bohren und Durchkontaktieren

Löcher in Leiterplatten übernehmen vielfältige Aufgaben. Die Löcher fungieren als Registermarken, verbinden die Lagen eines Multilayers oder einer doppelseitigen Leiterplatte und dienen zur späteren Befestigung. Um ein Loch in eine Leiterplatte bohren zu können, ist ein rechtwinklig zur Oberfläche arbeitendes Bohrsystem erforderlich. Größere Löcher lassen sich auch mit einem Fräser erzeugen.

Beim Durchkontaktieren stellt eine metallische Verbindung einen elektrischen Kontakt zwischen verschiedenen Ebenen einer Leiterplatte her. Das ist bei doppel- und mehrlagigen Leiterplatten notwendig. Die Durchkontaktierung beginnt mit einer Bohrung, die dann verschiedene Verfahren leitend machen:

- eingelötete Drähte,
- Durchkontaktierung mit Nieten,
- Metallisierung der Bohrlochwände durch einen galvanischen Aufbau,
- Metallisierung der Bohrlochwände durch Beschichtung mit einer Leitpaste.

Bild 1.8

Bei einer pastösen Durchkontaktierung zieht ein Vakuumschiff die Leitpaste durch vorhandene Bohrlöcher



Während die Durchkontaktierung von doppelseitigen Leiterplatten relativ problemlos erfolgen kann, ist bei mehrlagigen Leiterplatten eine geeignete Produktionsreihenfolge einzuhalten. Nur so lassen sich beispielsweise Sacklöcher, die nicht den gesamten Lagenaufbau durchdringen (Blind-Vias), und die Kontaktierung in den Innenlagen erzeugen.

Bestücken und Löten

Steht die unbestückte Leiterplatte zur Verfügung, folgen weitere Schritte. Dabei sind Lötstopplack und Bestückungsdruck hilfreich, jedoch nicht bei allen Prototypen erforderlich. So lassen sich etwa elektronische Bauelemente auf die Leiterplatte löten. Hier verbindet ein schmelzendes metallisches Lot das Bauteil sicher mit der Leiterplatte. In Ausnahmefällen eignen sich auch Verfahren wie z.B. das Leitkleben.

Der herkömmliche Lötvorgang erfolgt mit einer Lötstation. Hier schmilzt die heiße Spitze den manuell zugeführten Lötendraht direkt am Bauteil und stellt nach wenigen Sekunden die Verbindung her.

Beim manuellen Löten hat sich die «Dritte Hand» als unverzichtbares Hilfsmittel erwiesen. Dabei halten Krokodilklemmen die Leiterplatte in einer geeigneten Position. Manche sind auch mit Lupen und/oder einer Beleuchtung ausgestattet.

**Bild 1.9**

Die Dritte Hand oder ein Schraubstock mit Kugelgelenk sind unverzichtbarer Helfer bei filigranen Arbeiten



Das manuelle Lötén wird ab einer größeren Anzahl an Bauteilen unwirtschaftlich. Eine produktivere Technik startet mit einem Siebdruckverfahren: In eine dünne Lotpastenschablone (*Stencil*) aus Edelstahl oder Kunststoff werden an Positionen, die Lotpaste benötigen, Löcher geschnitten. Nach dem exakten Platzieren der Schablone über der Leiterplatte zieht eine Rake! die weiche Lotpaste durch die Löcher, und der Stencil lässt sich anschließend abheben.

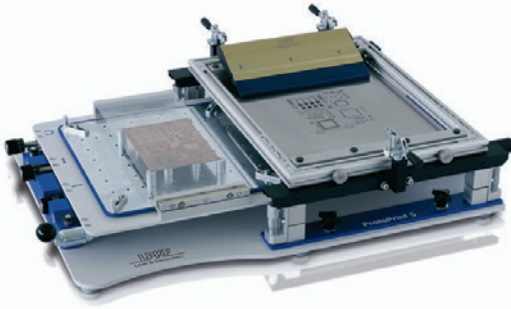


Bild 1.10

Der Lotpastendruck ist das geeignete Verfahren, um viele Lotpastenpads auf eine Leiterplatte aufzubringen. Links die Leiterplatte, rechts die Druckschablone mit Rake!



ACHTUNG

Bauteile mit geringen Pad-Abständen erfordern unbedingt das Aufbringen einer Lötstoppschablone, um ein Berühren der Lotpaste zwischen zwei Depots und damit einen Kurzschluss zu verhindern. Mehr dazu in Kapitel 7.

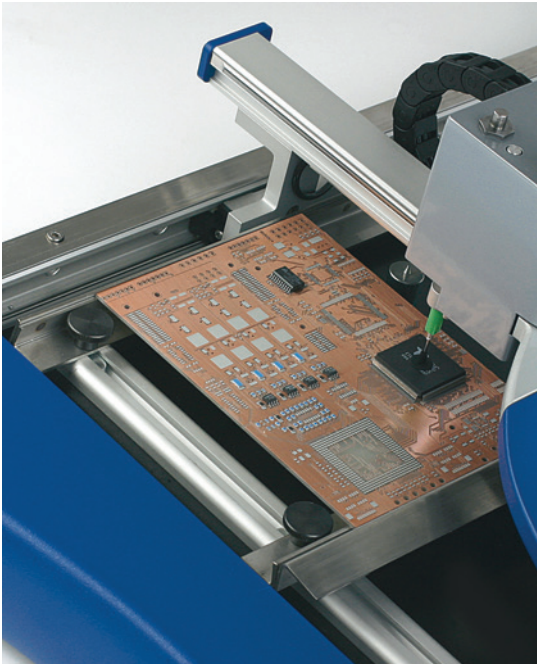


Bild 1.11

Ein halbautomatisches Bestückungssystem erleichtert das Platzieren kleiner Elektronikkomponenten