

Von der Schaltung zur Leiterplatte Teil 5

Für ein gutes Bohr-Ergebnis ist die Auswahl des richtigen Bohrers und die optimale Schnittgeschwindigkeit von entscheidender Bedeutung.

6. Bohren von Leiterplatten

Durch die immer höher werdenden Packungsdichten bei dünneren Leiterbahnen ist die exakte Positionierung der Bohrlöcher besonders wichtig. Ein stumpfer Bohrer kann leicht verlaufen und den dünnen Randkleiner Lötungen zerstören. Ein scharfer Bohrer mit dem richtigen Bohrdurchmesser ist daher die Voraussetzung für ein gutes Bohrergebnis. Zudem sind bei stumpfen Bohrern die erforderlichen Vorschubkräfte deutlich erhöht und Kupfer wird als Grat aufgeworfen. Der Schnitt ist nicht sauber und das Material wird mehr beiseite gedrückt als durchbohrt.

Spielt für die exakte Bohrlochpositionierung der richtige Bohrer bereits eine wichtige Rolle, so ist im Bereich der Durchkontaktierung bei doppelseitigen Leiterplatten die einwandfreie Qualität der Bohrwandlung eine grundsätzliche Voraussetzung, um überhaupt später die Durchkontaktierung vornehmen zu können.

Im vorliegenden Kapitel wollen wir uns daher ausführlich mit der Thematik des Bohrens von Leiterplatten befassen.

6.1 Auswahl des Bohrers

Die in der Metallverarbeitung auch heute noch weit verbreiteten HSS-Bohrer (Hochleistungs-Schnellschnitt-Stahl) wurden früher in der Leiterplattenfertigung teilweise beim Bohren von Pertinax-Platinen eingesetzt. Durch gestiegene Qualitätsanforderungen sind Leiterplatten aus Pertinax oder Hartpapier heute kaum mehr zu finden und es werden fast ausschließlich Epoxidplatten verwendet (z. B. FR 4).

Die Glasfasern im Epoxidmaterial besitzen eine ähnliche Härte wie HSS-Bohrer und schleifen deren Schneiden in kürzester

Zeit ab. HSS-Bohrer werden daher beim Leiterplattenbohren üblicherweise nicht mehr eingesetzt, da sie zum Bohren von Epoxidplatten ungeeignet sind.

In der modernen Leiterplattenfertigung kommen heute Vollhartmetallbohrer zum Einsatz, deren Härte nahezu so hoch wie bei Diamant ist. Vollhartmetallbohrer bestehen überwiegend aus Wolfram- und Kobaltkarbiden. In Abbildung 14 ist die Geometrie eines entsprechenden Bohrers dargestellt.

Vollhartmetallbohrer besitzen einen höchst präzisen Außendurchmesser, exakte Spitzenmittigkeit bei höchster Schliffgüte im Außendurchmesser an der Führungsphase, in der Spannut und am Spitzenwinkel. Ein Nachschleifen dieser Bohrer ist nur auf Spezial-Anschleifmaschinen möglich, wozu im gewerblichen Bereich die Bohrerhersteller oft einen Anschleifservice anbieten.

Da Vollhartmetallbohrer mit wesentlich höheren Schnittgeschwindigkeiten als HSS-Bohrer arbeiten, sind die Arbeitsdrehzahlen entsprechend hoch. Aus diesem Grunde muß die Rundlaufgenauigkeit der Bohrmaschine und insbesondere auch der Bohrer-Aufnahme außerordentlich präzise sein. Normale Dreibacken-Futter sind weder für die hohen Drehzahlen geeignet, noch bieten sie im allgemeinen die erforderliche Rundlaufgenauigkeit. So kommen Spannzangen-Bohrfutter zum Einsatz, welche die erforderliche hohe Rundlaufgenauigkeit sicherstellen und durch ihre kompakte Bauform auch für sehr hohe Arbeitsdrehzahlen geeignet sind.

Spannzangen sind jedoch meistens nur für einen einzigen Schaft-Durchmesser ausgelegt, weshalb die dafür vorgesehenen Vollhartmetallbohrer, unabhängig von dem eigentlichen Bohrerdurchmesser, alle den

gleichen Schaftdurchmesser besitzen für die Aufnahme in ein Spannzangen-Bohrfutter.

Dabei haben sich 2 Schaftdurchmesser herauskristallisiert: Zum einen gibt es die metrische Spannzangenaufnahme, die für einen Durchmesser von 3,0 mm ausgelegt ist und zum anderen die Spannzangenaufnahme in Zollteilung mit 1/8", entsprechend einem Schaftdurchmesser von 3,175 mm. Beim Kauf der Vollhartmetallbohrer muß daher genau auf den richtigen Schaftdurchmesser geachtet werden, damit dieser zur Spannzange der verwendeten Bohrmaschine paßt.

Abschließend soll noch auf eine Besonderheit der Vollhartmetallbohrer hingewiesen werden. Durch die extreme Härte des Materials sind die Bohrer spröde und können ähnlich wie Glas springen. Nicht zuletzt aus diesem Grunde ist die hohe Rundlaufgenauigkeit der verwendeten Bohrmaschine von großer Wichtigkeit, wie auch die präzise Führung durch einen entsprechend hochwertigen Bohrstander. Hierauf gehen wir im folgenden Abschnitt näher ein.

6.2 Bohrmaschinen

Neben dem Bohrer selbst, bei dem es sich laut vorangegangenem Kapitel um einen Vollhartmetallbohrer handeln sollte, stellt der Antrieb einen weiteren wichtigen Faktor dar, zur Erzielung einer optimalen Bohrlochqualität. Universal-Bohrmaschinen für Heimwerker sind allein aufgrund ihrer begrenzten Drehzahlen zum Leiterplattenbohren absolut ungeeignet. Auch stellt die für dünne Hartmetallbohrer unzureichende Rundlaufgenauigkeit in Verbindung mit dem Dreibacken-Bohrfutter ein deutlich erhöhtes Risiko dar im Hinblick auf Bohrerbruch.

Schaut man sich einmal den Aufwand im professionellen Leiterplattenbereich an, der bei CNC-gesteuerten Bohrautomaten getrieben wird, so ist leicht verständlich, daß ein gewisses Mindestmaß an Präzision auch bei der Herstellung einzelner Leiterplatten zwingend erforderlich ist. Dabei muß man sich auch hier vor Augen halten, daß aufgrund der technischen Entwicklung doppelseitige und auch einseitige Leiterplatten moderner Konzeption mit den „alten“ Pertinaxplatten von 1960 nur noch wenig gemeinsam haben.

Abbildung 15 zeigt ein Foto aus der ELV-Leiterplattenfertigung mit einem 4 Spindel-Bohrvollautomaten der Firma Excellon. Mit einem Drehzahlbereich bis zu 80.000 Upm arbeiten 4 Hochfrequenzspindeln gleichzeitig, wobei jeweils 3 Leiterplatten übereinanderliegen, d. h. pro Bohrhieb werden 12 Leiterplatten gebohrt. Durch die hohe Verfahrensgeschwindigkeit und den schnellen Bohrvorgang führt die Maschine

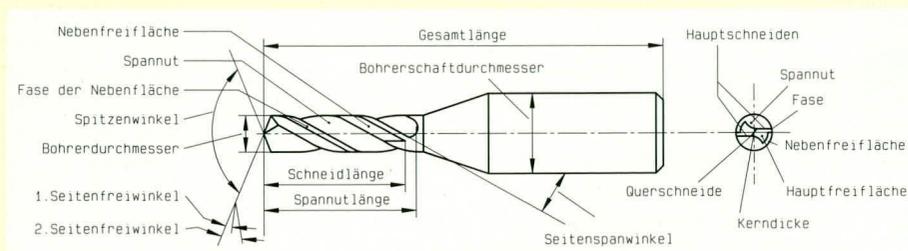


Bild 14: Bezeichnung am Vollhartmetall-Spiralbohrer



Bild 15: 4 Spindel-Bohrvollautomat der Firma Excellon

rund 3 komplette Bohrvorgänge pro Sekunde aus, entsprechend ca. 36 Einzelbohrungen pro Sekunde.

Man braucht nun aber nicht gleich eine halbe Million Mark auszugeben um einzelne Leiterplatten, sei es für den privaten Eigenbedarf oder fürs Entwicklungslabor, herzustellen. So werden auf dem Markt verschiedene Kleinbohrmaschinen und Bohrstände angeboten, die je nach Ausführung zum Bohren von Leiterplatten geeignet sind. Dabei sollte man auf folgende Mindestanforderungen achten:

- Einstellbarer Drehzahlbereich bis mindestens 20.000 Upm
- Leistungsaufnahme: min. 40 W
- Hohe Rundlaufgenauigkeit
- Spannzangen-Bohrfutter 3,0 mm oder 3,175 mm

Die technischen Daten sind dabei leicht überschaubar, mit Ausnahme der Rundlaufgenauigkeit. Vielfach liegen hier keine detaillierten Spezifikationen vor und die Anschaffung einer entsprechenden Bohrmaschine ist zu einem guten Teil Vertrauenssache.

Gut geeignet zum Leiterplattenbohren ist z. B. das MINIMOT-Bohr- und Fräsgerät 40/E mit einer elektronischen Drehzahlregelung von 5.000 bis 20.000/min. bei einer Leistung von 40 W.

Eine Kategorie darüber ist die Maschine MINIMOT 100P (Abbildung 16) mit einem Drehzahlbereich von 5.000 bis 25.000/min. bei einer Leistung von



Bild 16: Bohr- und Fräsgerät MINIMOT 100P

100 W angesiedelt und immer dann empfehlenswert, wenn auch größere Bohrungen damit in Leiterplatten eingebracht werden sollen.

Beide Maschinen sind mit Spannzangen-Bohrfuttern ausgerüstet, mit mehreren Einsätzen für verschiedene Schaftdurchmesser von 0,8 bis 3,0 mm. Diese Bohr- und Fräsgeräte der Firma Proxxon besitzen die zum Leiterplattenbohren erforderliche hohe Rundlaufgenauigkeit und Präzision. Die Vollhartmetallbohrer werden sauber eingespannt und von der Maschine geführt, so daß sich keine vorzeitigen Bohrerbrüche einstellen. Letztendlich kann eine Billig-Bohrmaschine durch erheblichen Bohrerverschleiß viel teurer werden als ein Qualitätsgerät.

Zusätzlich zur Bohrmaschine wird ein hochwertiger Bohrstand benötigt, der eine saubere, spielfreie Führung der Bohrmaschine während des Bohrvorganges sicherstellt. Die großen für Heimwerker-Bohrmaschinen konzipierten Bohrstände sind dafür im allgemeinen nicht geeignet aufgrund unzureichender Führung. Tritt nämlich beim Absenken der Bohrmaschine ein leichter seitlicher Versatz auf, so ist der Bohrerbruch vorprogrammiert - einmal ganz davon abgesehen, daß die exakte Positionierung der Bohrlöcher unnötig erschwert ist.

Hier eignet sich z. B. auch der MINIMOT-Bohrstand MBS 140 von Proxxon, der eine exakte und saubere Führung der Bohrmaschine gewährleistet (Abbildung 17).

Wer häufig Prototypen oder sogar Kleinserien von Leiterplatten fertigt, für den kann der Einsatz eines kleinen, einspindeligen Bohrautomaten interessant sein. Hier bietet sich z. B. die ELVamat-Fräs-/Bohrmaschine (Abbildung 18) an. Darüber hinaus werden auf dem Markt in fast jeder Preisklasse XYZ-Automaten angeboten, die zum Teil sogar für eine direkte Ansteuerung aus einem CAD-Programm geeignet sind.

So kann es außerordentlich wirtschaftlich und komfortabel sein, wenn die Leiterplattenentflechtung mit einem Layoutprogramm (z. B. Easy-PC-Professional) durchgeführt wird, um anschließend die Bohrdaten direkt in die Prototypen-Bohrmaschine zu überspielen und die Leiterplatte mit hoher Präzision zu bohren.

6.3 Drehzahlen beim Bohren

Die Bohrerndrehzahl hängt im wesentlichen von folgenden Randbedingungen ab:

- Art des eingesetzten Bohrers (vorzugsweise Vollhartmetallbohrer)

- Leiterplattenmaterial (z. B. Epoxid FR 4)
- Bohrdurchmesser
- Bohrmaschinenarten

Bei dem von ELV üblicherweise eingesetzten Epoxid-Basismaterial des Typs FR 4 kommen im professionellen Leiterplattenbereich Schnittgeschwindigkeiten bis zu 200 m/min. zum Einsatz. Bezogen auf einen Bohrerndurchmesser von 1 mm ergibt dies eine Arbeitsdrehzahl von gut 60.000 Upm.

Ganz so hoch braucht die Schnittgeschwindigkeit und damit die Drehzahl beim Leiterplattenbohren jedoch nicht unbedingt zu sein. Im allgemeinen reicht eine Schnittgeschwindigkeit von 50 m/min. aus, um noch zu einem wirklich guten Bohr-Ergebnis zu kommen. Die daraus resultierende Bohrerndrehzahl errechnet sich nach folgender Formel:

$$n \text{ [Upm]} = \frac{1000 \cdot v \text{ [m/min]}}{d \text{ [mm]} \cdot \pi}$$

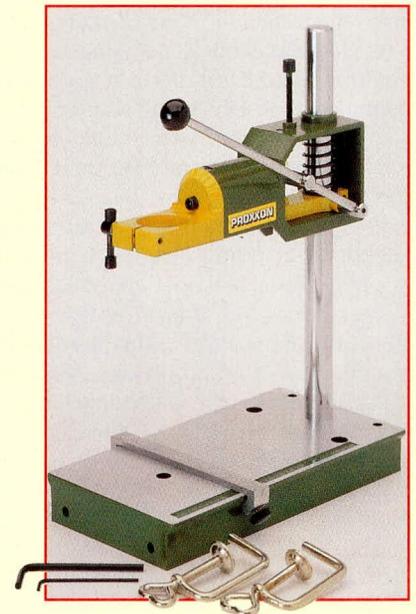


Bild 17: MINIMOT-Bohrstand MBS 140

Das in Abbildung 19 dargestellte Diagramm zeigt die Arbeitsdrehzahl in Abhängigkeit vom Bohrerndurchmesser bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten. So reicht eine Drehzahl von 16.000 Upm für einen Vollhartmetallbohrer mit 1 mm Durchmesser zum Erreichen einer guten Bohrlochqualität aus. Jedoch schadet es keinesfalls, die Drehzahl auf 22.000 Upm zu erhöhen, da auch beim Bohren mit einer im Bohrstand eingesetzten Kleinbohrmaschine, Schnittgeschwindigkeiten von 70 m/min. handhabbar sind. Noch höhere Schnittgeschwindigkeiten sollten allerdings entsprechend abgesicherten und speziell dafür ausgelegten professionellen Bohrvollautomaten vorbehalten bleiben, denn die Gefahr eines Bohrerbruchs und das unkontrollierte Herumfliegen von

Bild 18:
ELVamat-
Fräs-/
Bohr-
maschine

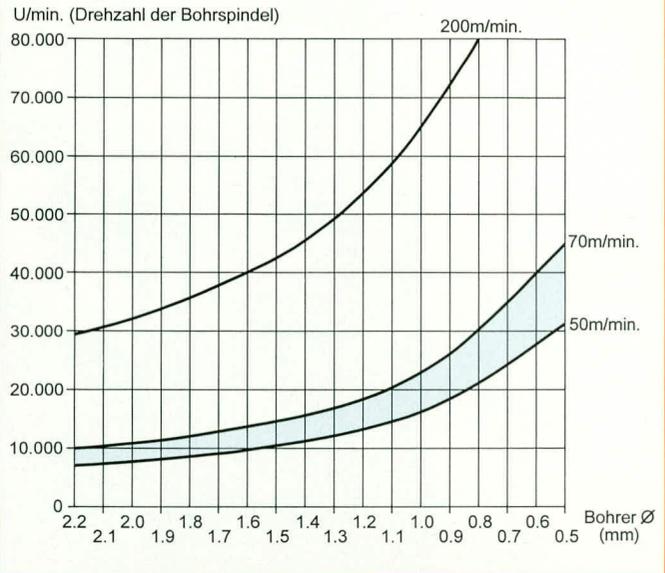
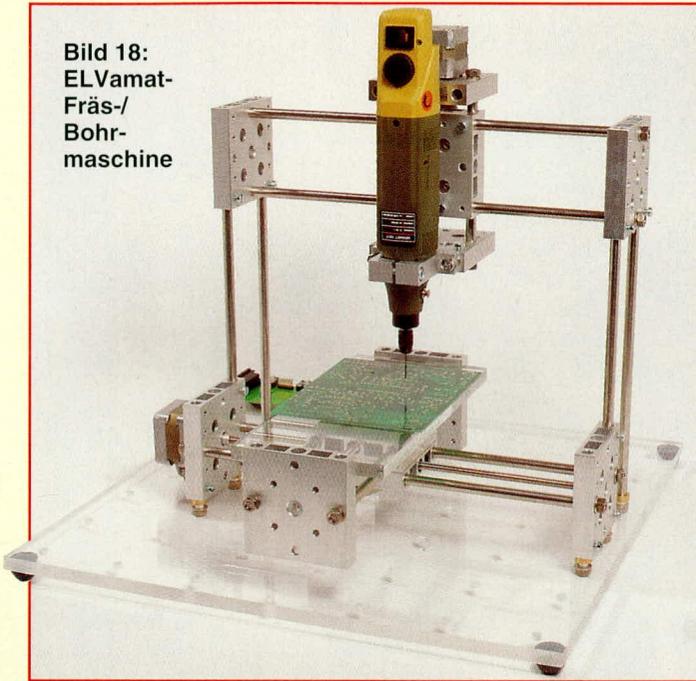


Bild 19: Bohrerndrehzahlen in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit und dem Bohrdurchmesser.

Bruchstücken ist nicht zu unterschätzen. Bitte beachten Sie in diesem Zusammenhang auch die am Schluß dieses Artikels abgedruckten Sicherheitshinweise.

Nachdem wir uns mit der Bohrerndrehzahl befaßt haben, kommen wir als nächstes zum Vorschub. In der industriellen Leiterplattenfertigung wird üblicherweise mit einem Vorschub von 0,06 mm pro Umdrehung gearbeitet. Bei einem Bohrerndurchmesser von 1,0 mm und einer Drehzahl von 20.000 Upm entspricht dies einem Vorschub von 20 mm/sek. Eine 1,5 mm starke Leiterplatte wird daher innerhalb von weniger als einer Zehntel Sekunde durchbohrt, gerechnet vom Ansetzen des Bohrers bis zum Durchtritt. Beim „High-Feed-Bohren“ wird dieser Vorschub zum Teil um 100 % bis 200 % erhöht, allerdings zu Lasten der Bohrerndrehzahl.

Wer sich einmal einen Hochleistungsbohrvollautomaten im Leiterplattenbereich in Aktion angesehen hat, glaubt, daß die Bohrlöcher eher gestanzt als gebohrt werden, so schnell wird dort der eigentliche Bohrvorgang ausgeführt.

Was bedeutet dies nun für die Einzelanfertigung, von Leiterplatten? Unter Einsatz einer Kleinbohrmaschine, die in einem Präzisions-Bohrständer geführt wird, sind die angegebenen Vorschubgeschwindigkeiten natürlich nicht exakt nachvollziehbar. Hier kann in erster Linie nur nach Gefühl gearbeitet werden. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß der eigentliche Bohrvorgang mit einem 1 mm Vollhartmetallbohrer bei einer Drehzahl von 20.000 Upm nur knapp 0,1 sek. zu dauern braucht, so entwickelt sich sehr schnell das richtige Feeling zum Durchführen des Bohrvorgangs. Wird zu Anfang der Vorschubdruck

sicherheitshalber etwas geringer gehalten, kann dieser bei den Folgebohrungen so weit erhöht werden, bis die Bohrzeit bei rund 0,1 sek. liegt. Im Zweifelsfall ist ein geringerer Vorschub zur Qualitätserhöhung besser als ein zu großer Vorschub.

Je größer der Bohrdurchmesser desto geringer ist die Drehzahl und damit auch die Vorschubgeschwindigkeit.

Zu guter Letzt sei noch auf die Standzeit der Vollhartmetallbohrer kurz eingegangen. In der industriellen Leiterplattenfertigung finden wir entweder die Angabe der Hübe (Anzahl der Bohrungen), unter Berücksichtigung der Materialstärke oder aber die gesamte Bohrstrecke (Bohrtiefe), die ein Bohrer bis zum ersten neuen Anschleifen arbeiten kann. Beim Bohren des weit verbreiteten Epoxid-Materials FR 4 ergibt sich eine Bohrtiefe von 25 m, teilweise sogar bis 50 m. Teilen wir die Gesamtböhrtiefe durch die Stärke der zu bohrenden Leiterplatte, erhalten wir die Anzahl der Bohrlöcher (25 m : 1,5 mm = 16.667).

Nehmen wir an, daß vielleicht die Voraussetzung für den Bohrer beim Einsatz in Vollautomaten günstiger ist, können wir immerhin noch mit Standzeiten von über 10.000 Bohrungen mit einem einzigen Vollhartmetallbohrer rechnen.

6.4 Bohrdurchmesser

Je nach Anwendungsfall sind die Bohrdurchmesser individuell den Erfordernissen entsprechend auszuwählen. Vielfach reichen jedoch bereits 3 Standard-Durchmesser aus:

- 0,8 mm für ICs, Kleinsignal-Transistoren, Dioden, 1/8 W-, 1/4 W- und 1/2 W-Widerstände
- 1,0 mm für Standard-Folienkondensatoren, keramische Kondensatoren, Elkos,

Steckleisten, >0,5 W-Widerstände sowie Bohrungen für gebräuchliche Hohl-nieten.

- 1,3 mm für größere Bauelemente, Printtrafos, Lötstifte, Platinsicherungen und Trimmer.

Darüber hinaus können Befestigungsbohrungen, sofern sie in kleiner Zahl einzubringen sind, auch mit konventionellen HSS-Bohrern durch Aufbohren einer 1,3 mm Bohrung erstellt werden.

Hinweis:

Aufgrund der Eigenschaften von HSS-Bohrern können diese im allgemeinen ohne weiteres zum Aufbohren bestehender Bohrungen benutzt werden, jedoch darf niemals dafür ein Vollhartmetallbohrer Verwendung finden. Aufgrund der Härte dieser Bohrer wäre ein Bruch vorprogrammiert. Vollhartmetallbohrer sind grundsätzlich nur zum Bohren von Vollmaterial geeignet.

6.5 Sicherheitshinweise

Beim Bohren von Leiterplatten ist grundsätzlich eine Schutzbrille zu tragen. Nicht allein bei einem Bohrerbruch können umherfliegende Teile „ins Auge gehen“, sondern auch der Bohrstaub birgt eine gewisse Gefahr.

Es ist günstig, wenn der Bohrstaub direkt am Entstehungsort unmittelbar mit einem entsprechend leistungsfähigen Staubsauger und einem nachgeschalteten Feinststaubfilter abgesaugt wird. Ersatzweise ist beim Bohren ein Atemschutz zu tragen.

In der kommenden Ausgabe befassen wir uns mit der Thematik des Durchkontaktierens von doppelseitigen Leiterplatten für Prototypen und Kleinserienanwendungen.