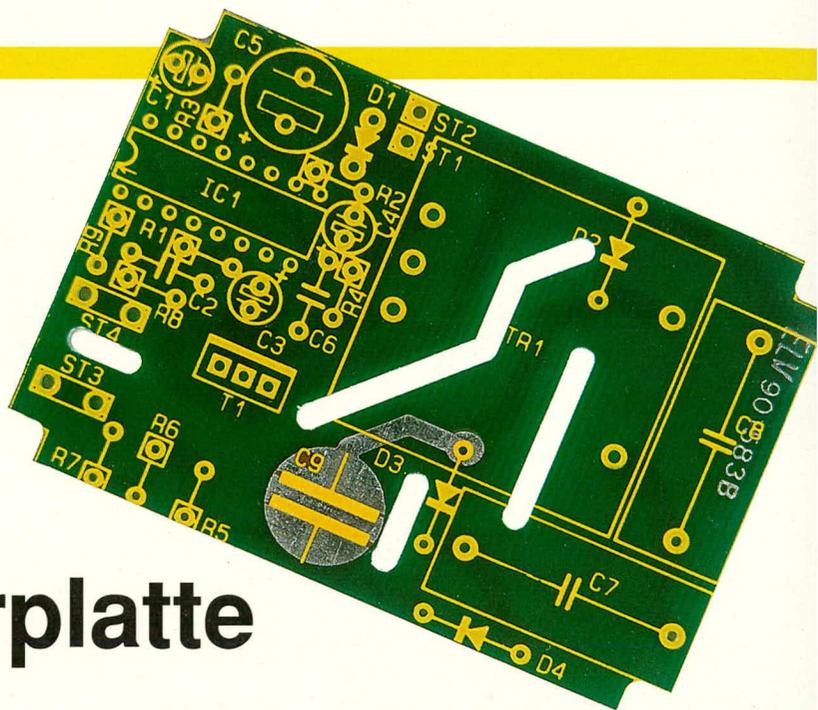


# Von der Vorlage zur fertigen Leiterplatte



**Jeder Leser des „ELV journal“ kennt sie: Die Leiterplatten als Basis eines jeden elektronischen Gerätes. Die meisten Elektroniker werden sich schon die eine oder andere Platine selbst geätzt haben. Komfortabler ist es, besonders auch bei doppelseitigen, durchkontaktierten Platinen, diese direkt zu beziehen. Woher aber kommen die ELV-Leiterplatten? Der regelmäßige ELV-Leser wird es vielleicht schon wissen: In einer industriellen Serienproduktion werden sämtliche Leiterplatten von ELV selbst hergestellt. Wie das funktioniert und welche Ausstattung dafür bereitsteht, erfahren Sie im folgenden Bericht.**

## Allgemeines

Die Leiterplatte entstand vor ca. 40 Jahren aus der Forderung der Technik nach kleineren Geräten mit hohem elektronischen Leistungsvermögen, die vor allem günstig in Serie zu produzieren sein sollten. Die ersten Schaltungen, bei denen Bauteile nicht über Drähte miteinander verbunden waren, sondern die elektrischen Verbindungen durch Ätzen von Kupferfolien auf einem Basismaterial entstanden, waren einseitige Leiterplatten. Die voranschreitende Halbleitertechnik und die damit verknüpfte Miniaturisierung führten schon sehr schnell zu Leiterplatten mit höherer Lagenzahl. Es entstanden zunächst die doppelseitigen (2lagigen), durchkontaktierten (durchmetallisierten) Leiterplatten und etwas später auch Mehrlagenschaltungen, die sogenannten Multilayer, mit mehr als 2 bis heutzutage über 40 Lagen.

Für die ELV-Geräte werden bevorzugt einseitige Leiterplatten eingesetzt, da diese in Verbindung mit der ELV-Platinenfolie leicht vom Elektroniker selbst hergestellt werden können. Ein wesentlicher Teil der

ELV-Leiterplattenfertigung ist daher auf die Herstellung dieser Platinen zugeschnitten. Darüber hinaus werden doppelseitige, durchkontaktierte Platinen unter anderem auch für die SMD-Technik produziert sowie weitere Spezialtechniken angewandt: Die ELV-Leiterplattenfertigung ist sehr flexibel.

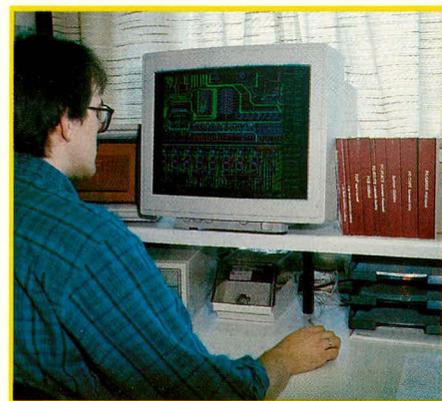
## Das Basismaterial

Hierbei handelt es sich um Kombinationsmaterialien, die aus einem Isolierstoff und einer Metallfolie - vornehmlich Kupferfolie - bestehen. Für das Herstellen von Leiterplatten haben sich im wesentlichen Trägermaterialien aus verschiedenartigen Papieren und Glasseidengeweben, laminiert mit Phenol- und Epoxidharzen, durchgesetzt. Die wichtigsten sind das Phenolharz-Hartpapier (PF-CP), Epoxidharz-Hartpapier (EP-CP) und Epoxidharz-Glashartgewebe (EP-GC). Letztgenanntes Basismaterial ist auch unter der Bezeichnung FR 3 und in schwer entflammbarer Ausführung als FR 4 bekannt. Dieses Top-Material besitzt neben hoher mechanischer Festigkeit und guter Dimensionsstabilität

auch niedrige elektrische Verluste und hohe Konstanz der Werte selbst bei ungünstigen Einsatzbedingungen. Für ELV-Geräte wird daher ausschließlich FR 4 eingesetzt.

## Die Vorlage

Am Ende einer Geräteentwicklung steht der Serien-Prototyp. Hieran hat die Leiterplatte, besonders im Hinblick auf eine Serien-Reproduzierbarkeit einen ganz wesentlichen Anteil. Für die Produktion der Leiterplatten selbst wird eine sogenannte kopierbare Filmvorlage benötigt. Ihre Qualität beeinflusst wesentlich das Fertigungsergebnis. Aufgrund immer höherer Komplexität der Schaltungen werden verstärkt CAD-Anlagen für die Vorlagengenerierung eingesetzt. Die Leiterplattenentwürfe werden dabei mit Hilfe von Digitalisierungssystemen in Daten umgesetzt und im Rechner verarbeitet. Danach erfolgt eine automatische Übertragung auf Datenträger. Mit Hilfe dieser CAD-Daten können Plotter, Bohr-



CAD-Anlage zur Schaltungsentflechtung und Vorlagengenerierung

maschinen, Prüfautomaten, Bestückungs-einrichtungen usw. angesteuert werden.

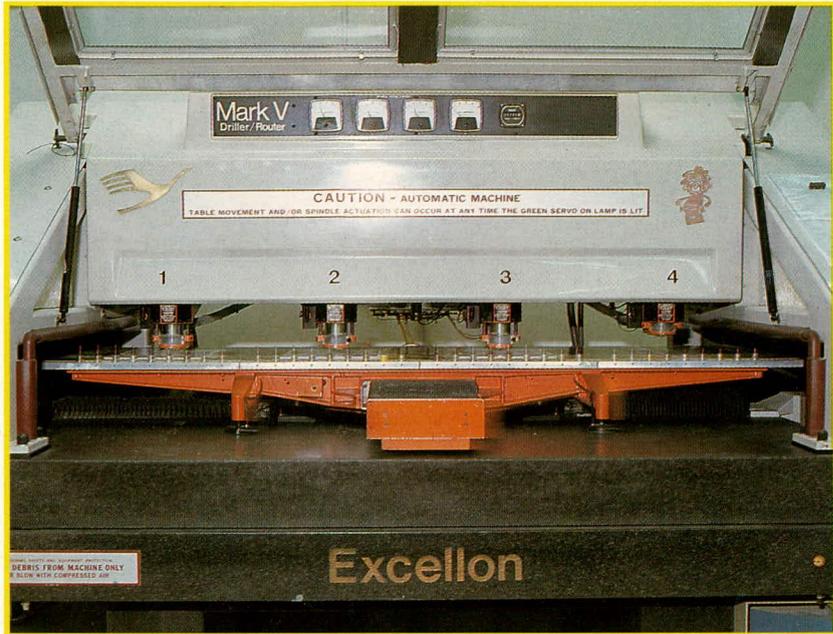
Bei ELV sind hierfür 4 komplette CAD-Anlagen mit professioneller, hochwertiger Software installiert, so daß eine problem-spezifische Unterstützung von Anfang an möglich ist. Die Vorteile dieser Anlagen sind vielfältig: Es kann in 100 definierbaren Lagen gearbeitet werden, wobei jede von den 300 möglichen Schaltbildseiten 1.300 Bauteile, 2.500 Potential-Netze und 32.000 Pins unterstützt. Eine Bauteilebibliothek mit über 6.000 Bauteilen, Symbolen nach DIN und ANSI, Standard- und SMD-Bauteilen ist ebenso installiert wie eine automatische Optimierung der Bauteileanordnung (Plazierung) durch Pin-, Gatter- und Bauteiletausch. Alle Möglichkeiten dieser CAD-Anlage aufzuzählen, ist hierbei nicht möglich; die Vielfalt eines derartigen Systems wird aber wohl schon anhand dieser kurzen Aufzählung deutlich.

Die auf diese Weise erstellten und vom Plotter ausgedruckten Layouts werden mit Hilfe einer 2-Raum-Horizontal-Kamera belichtet und anschließend in der Repro (Reproduktions-Abteilung) zu einem Nutzenfilm zusammengesetzt. Unter einem Nutzen versteht man die Zusammenfassung mehrerer, zumeist gleicher Leiterplatten zu einem Nutzformat, das eine rationelle Herstellung ermöglicht. Des weiteren werden Filme für den Kennzeichendruck der Leiterplatten und das Aufbringen des Lötstoplackes benötigt. Diese Filme werden durch UV-Belichtung auf die Siebdruckvorlage übertragen, die eine fotosensible Schicht trägt. In einer automatisierten, industriellen Serienfertigung werden die Leiterplatten zuvor jedoch gebohrt.

## Das Bohren

Ein ebenso wichtiger wie auch zeit- und kostenintensiver Abschnitt in der Fertigungskette der Leiterplatten stellt das Bohren dar. Von Prototypen und Kleinstserien einmal abgesehen, kommt dem Bohren von Hand nur noch geringe Bedeutung zu, da hiermit weder eine hohe Genauigkeit noch ein nennenswerter Durchsatz (größere Mengen) möglich ist. Mit NC-gesteuerten Ein-Spindel-Bohrmaschinen hingegen kann man eine konstante Wiederholgenauigkeit erreichen, wobei die Produktionsrate noch vergleichsweise gering ist. Am besten sind CNC-gesteuerte Mehrspindel-Bohrvollautomaten geeignet, deren Durchschnittshubzahl bei 100/min. liegt.

Nachdem die Vorlage erstellt ist und somit durch die CAD-Anlage das Bohrprogramm festgelegt wurde, erfolgt bei ELV die Datenübertragung zu den Bohrvollautomaten. Damit auch unabhängig von der CAD-Anlage Bohrprogramme anhand von Filmen erstellt werden können, steht zusätz-



Moderne Excellon-Bohrvollautomaten sind bei ELV im Einsatz

lich ein optisch/elektronischer Programmierplatz zur Verfügung, mit dem die Bohrdaten von einer Leiterplatten-Filmvorlage auf Datenträger eingelesen werden. Der Preis eines einzigen 4-Spindel-Bohrvollautomaten der Firma Excellon, wie er bei ELV eingesetzt wird, beträgt zusammen mit der zugehörigen Erfassungsstation rund eine halbe Millionen DM. Entsprechende CNC-gesteuerte Maschinen bieten allerdings auch einige gravierende Vorteile:

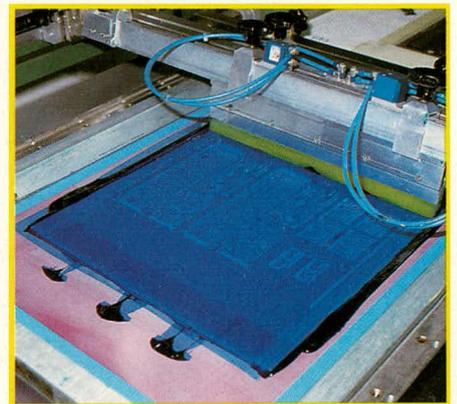
- Es werden gleichzeitig 3 übereinanderliegende Leiterplattennutzen mit 4 Spindeln, d. h. auf 4 Plätzen gebohrt, entsprechend 12 Nutzen pro Bohrdurchgang.
- Durch vollautomatischen Bohrerwechsel entstehen keine Zeitverluste und Bedienungsfehler sind ausgeschlossen.
- Durch die Übernahme des Bohrprogramms teilweise von der CAD-Anlage oder einer separaten Erfassungsstation wird höchste Deckungsgleichheit zwischen Leiterbahnbild und Position der Bohrlöcher garantiert. Die Positioniergenauigkeit liegt bei ca. 20 µm (!).
- Durch eine maximale Bohr-Hubzahl von 300/min. ergibt sich eine Bohrleistung bei 3lagigem Bohren mit 4 Spindeln von über 200.000 Einzelbohrungen pro Stunde. Diese extreme Leistung wird in der Praxis allerdings normalerweise nicht ganz erreicht, da größere Bohrungen etwas länger dauern sowie die Zeiten für den Bohrerwechsel und auch für das Beschicken der Maschinen zu berücksichtigen sind. Dennoch ist es immer wieder imposant, entsprechende Vollautomaten in Aktion zu sehen.

Nachdem der Bohrvorgang abgeschlossen wurde, durchlaufen die Leiterplatten eine spezielle Bürststraße, die den Bohr-

grat, wenn er auch nur sehr gering ist, entfernt.

## Der Siebdruck

Das Prinzip des Siebdruckes beruht darauf, daß durch ein sehr feines und gleichmäßig gewobenes Gewebe Farbe mit einem Rakel auf das zu bedruckende Material gepreßt wird. Wie schon erläutert, wird das Sieb vor dem Druck auf fototechnischem Wege mit dem Druckbild, der Schablone, versehen. Dabei werden alle nicht druckenden Teile farbundurchlässig gemacht, während die druckenden Bereiche offene Gewebeflächen darstellen. Im Gegensatz zu anderen Druckverfahren können im Siebdruck Farben (oder auch Ätzresiste) verwendet werden, die aufgrund ihres chemischen Aufbaus (z. B. Epoxid-Harze) selbst hohen technischen Anforderungen gerecht werden. In der Leiterplattenherstellung dient der Siebdruck u. a.



Präzisions-Leiterplatten-Siebdruck

dazu, das Leiterbahnbild auf die Leiterplatte aufzubringen. Es ist das gebräuchlichste und auch kostengünstigste Verfahren.

Im ersten Schritt wird ein Ätzresist aufgetragen, der dazu dient, die späteren Leiterbahnzüge vor dem Ätzmittel zu schützen. Hierzu im nächsten Abschnitt noch näheres.

Nach dem Ätzvorgang wird die Leiterplatte noch dreimal im Siebdruckverfahren bedruckt: Im ersten Durchgang wird der Lötstoplack aufgebracht und eingebrannt, der dafür sorgt, daß sich beim Lötvorgang an den abgedeckten Stellen kein Lötzinn absetzt. Danach wird bei ELV ein zweiter Druck aufgebracht, der die Leiterbahnen auf der Bestückungsseite genau darstellt, so daß bei Untersuchungen an der Schaltung deren Verlauf leicht zu verfolgen ist (ein nicht in jeder Leiterplattenherstellung üblicher Vorgang). Im letzten Druckvorgang erfolgt der Kennzeichen- oder auch Positionsdruck auf der Platine. Vor diesen 3 letztgenannten Druckvorgängen wird jedoch die Leiterplatte zunächst durch die Ätzanlage geschickt, wodurch die Leiterbahnen entstehen.

### Der Ätzvorgang

Nach dem Aufbringen des Ätzresistes schließt sich der Ätzvorgang an. Alle Flächen der kupferbeschichteten Platte, die nicht mit dem Ätzresist abgedeckt sind, werden weggeätzt. Dies geschieht in einer speziellen Ätzanlage, die gleichzeitig für die Spülung und Trocknung der geätzten Leiterplatte sorgt. Hierzu besitzt ELV eine über 10 m lange vollautomatische Ätzstraße, bei der selbst die Leiterplattenzuführung automatisch erfolgt.

Zunächst durchlaufen die Leiterplatten das sogenannte Ätzmodul, das alle nicht abgedeckten Kupferflächen wegätzt. Danach folgt ein Spülmodul zur Entfernung von Ätzmittelrückständen. Es schließt sich ein Sichtmodul an zur optischen Kontrolle des ausgeführten Ätzvorgangs und ein sogenanntes Stripmodul, das für die Entfernung des Ätzresistes sorgt. Den Abschluß

bildet ein Reinigungs-Spülmodul sowie eine Trockenstation. Am Ende dieser Bearbeitungsserie steht dann eine sauber und konturenscharf geätzte sowie gereinigte Leiterplatte mit blanker Kupferoberfläche zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

### Hot-Air-Levelling

Beim Hot-Air-Levelling-Verfahren handelt es sich um eine sogenannte Heißluftverzinnung, die erst seit wenigen Jahren in der Leiterplattentechnik eingesetzt wird, sich aber aufgrund ihrer hohen Qualität schnell durchgesetzt hat. Zuvor wird im Siebdruckverfahren der 2-Komponenten-Lötstoplack aufgebracht und eingebrannt. Dieser Vorgang wurde im Abschnitt „Der Siebdruck“ bereits beschrieben. Es folgt die partielle Verzinnung. Bei dem modernen, auch von ELV angewandten Hot-Air-Levelling-Verfahren werden die ungeschützten Kupferpartien, d. h. alle nicht vom Lötstoplack abgedeckten Kupferflächen wie Bohrungen und Löt pads, mit einer Zinn-Blei-Legierung heiß beschichtet. Der Prozeß selbst beruht darauf, daß Leiterplatten (Nutzen) in flüssiges Lot (Zinn-Blei im Verhältnis 63 % Sn, 37 % Pb) bei einer Temperatur von 240°C eingetaucht und die Kupferflächen dabei vollständig mit Zinn-Blei überzogen werden. Nach dem Herausheben der Platten aus dem Lot wird überschüssiges Zinn-Blei, vor allem aus den Bohrungen, durch gezieltes starkes Anblasen mit sogenannten Heißluft-Messern entfernt, wobei gleichzeitig ein Nivellierungsprozeß eintritt.

Die Vorteile dieses Verfahrens liegen einerseits in der erheblichen Verkürzung der Lötzeiten, bedingt durch die sehr gute Lötbarkeit der heißluftverzinnnten Platinen, und damit andererseits in der Verringerung der Temperaturbelastung für Bauteile und Basismaterial, was zu einer gesteigerten Qualität führt.

Im Anschluß an die Heißluftverzinnung, die weitgehend automatisch abläuft, durchlaufen die Leiterplatten eine Wasch- und Trockenstraße, die Verunreinigungen und Flußmittelreste entfernt.



Hot-Air-Levelling

### Das Fräsen

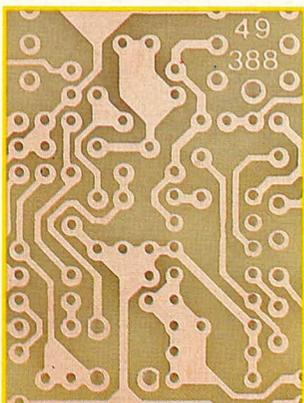
Die Leiterplatten sind zu diesem Zeitpunkt zwar im Prinzip fertiggestellt, aber noch zu den sogenannten Nutzen zusammengefaßt, d. h. sie müssen getrennt werden und somit ihre äußere Form erhalten. Damit auch hier eine optimale Genauigkeit erzielt wird, stehen dafür bei ELV CNC-gesteuerte Frässtationen zur Verfügung. So wird z. B. mit einem 3-Spindel-Fräsvollautomaten gearbeitet, der es ermöglicht, auch besondere Konturen wie Ausklinkungen, Radien usw. zu erstellen. Entsprechende Fräsmaschinen geben die Möglichkeit, ähnlich wie beim Bohrprogramm, nach den Angaben der CAD-Anlagen zu arbeiten. Die Vorteile liegen auf der Hand: Präzision, Rationalisierung und damit eine kostengünstige und zugleich qualitativ hochstehende Produktion. Die absolute Genauigkeit liegt auch hier im Bereich von 20 µm (!). Dazu gehören selbstverständlich auch ständige Kontrollen, auf die wir nachfolgend noch eingehen wollen.



Vollautomatisch werden die Leiterplatten gefräst

### Qualitätskontrolle

Nach jedem Bearbeitungsschritt durchlaufen die Leiterplatten bei ELV Kontrollen. Es handelt sich dabei überwiegend um rein optische Überprüfungen. So werden nach dem Ätzvorgang die Platten auf ordnungsgemäße Freizätzung untersucht. Meß-

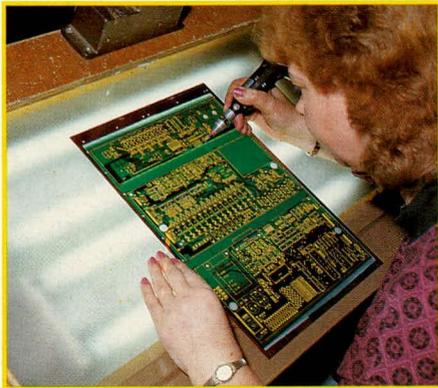


Leiterplatte nach dem Ätzvorgang



Die vollautomatische Ätzanlage für optimale Ergebnisse

technische Kontrollen finden nach dem Fräsen, also dem letzten Bearbeitungsschritt, statt. Hierbei wird auch die Funktionstüchtigkeit der Leiterplatte geprüft. Optische Kontrollen werden zusätzlich als Endkontrolle durchgeführt, wobei hier speziell geschulte Mitarbeiterinnen die Leiterplatten untersuchen.



**Qualitätssicherung durch optische Kontrollen**

## Der Umweltschutz

Es liegt auf der Hand, daß bei den einzelnen Produktionsschritten auch Abfallprodukte entstehen. Als vergleichsweise harmlos ist hierbei der Bohr- und Frästaub der Leiterplatten anzusehen. Harmlos allerdings nur dann, wenn er, wie bei ELV, durch eine aufwendige zentrale Absaug- und Filteranlage bereits am Entstehungsort umfassend und zuverlässig abgesaugt wird.

Des weiteren entstehen kupferhaltige Abwässer in der Bürststraße zur Bohrgratentfernung. Diese Anlage arbeitet im Naßverfahren unter Zugabe von reichlich Spülwasser, das nach dem Bürstvorgang in die Kanalisation eingeleitet wird. Vor der Einleitung allerdings nimmt eine aufwendige Spezialzentrifuge eine Separierung des Kupferanteils vor. Dieser Reinigungsschritt allein würde ausreichen, um die Abwasserbestimmungen zu erfüllen. Bei ELV wird noch ein übriges getan. Der Zentrifuge nachgeschaltet ist eine Kerzenfiltereinheit, die auch den letzten Rest der Kupferanteile aus dem Abwasser entfernt, so daß wir nicht ohne einen gewissen Stolz berichten können: Das ELV-Abwasser hat nahezu Trinkwasserqualität.

Wir wollen diesen Bericht nicht abschließen, ohne vorher auf eine der gefährlichsten und giftigsten Chemikalien im Leiterplattenherstellungsprozeß eingegangen zu sein. Hierbei handelt es sich um das sehr aggressive Ätzmedium Kupferchlorid. Eine besonders innovative Konstruktion des Ätz-Spülmoduls in der bei ELV eingesetzten Ätzstraße ermöglicht es, verbrauchtes Ätzmittel aufzufangen. Der dem Ätzvorgang

nachgeschaltete Spülvorgang wird zunächst mit frischem Ätzmittel vorgenommen und anschließend mit Frischwasser, das von der letzten Spülstufe dieser Station in die Ätzkammer eingeleitet wird. Verbrauchtes Ätzmittel hingegen gelangt von der Ätzkammer in einen separaten Auffangbehälter. Hier erfolgt also keine Einleitung der giftigen Chemikalie.

Das aufgefangene, verbrauchte Ätzmedium ist stark mit Kupfer angereichert und somit für einen Recyclingvorgang geeignet, bei dem das Kupfer aus dem Ätzmittel wieder herausgeholt und weiter verwendet werden kann - alles in allem also eine besonders umweltfreundliche und rohstoffschonende Angelegenheit. Da der Recyclingvorgang bei ELV im Hause nicht selbst durchgeführt wird (wir sind Elektroniker und keine Chemiker), werden die in Spezialbehältern gesammelten Chemikalien regelmäßig von entsprechend autorisierten Transportunternehmen bei ELV abgeholt und anschließend weiterverarbeitet.

Soweit also unser kleiner Einblick in die ELV-Leiterplattenfertigung. Natürlich können wir hier nicht alle Techniken und Möglichkeiten detailliert erläutern. Die wesentlichen, wichtigsten und auch interessantesten Arbeitsschritte speziell im Hinblick auf einseitige Leiterplatten haben wir jedoch entsprechend ausführlich in chronologischer Reihenfolge dargestellt, so daß sich der interessierte Leser ein recht gutes Bild von einer industriellen Leiterplattenfertigung machen kann. Wer noch tiefer in die Materie einsteigen möchte, dem steht hierzu umfangreiche Fachliteratur zur Verfügung, wie z. B. das Buch „Handbuch der Leiterplattentechnik“ von Günther Hermann, erschienen im Verlag Eugen G. Leuze.

## Leiterplatten für die Industrie

Abschließend soll nicht unerwähnt bleiben, daß ELV neben der Leiterplattenfertigung für die eigenen Bausätze und Geräte auch in großem Maße Leiterplatten für die Industrie produziert.

Das Angebot umfaßt sowohl einseitige als auch doppelseitige, durchkontaktierte Leiterplatten, die außerordentlich günstig produziert werden können, da die umfangreiche maschinelle Ausstattung im Hinblick auf eine hochwertige Industriequalität optimiert wurde, unter bewußtem Verzicht auf die kostentreibenden Verfahren wie Multilayer und Feinstleiteteknik.

Auch von der Stückzahl her ist die ELV-Leiterplattenfertigung außerordentlich flexibel. Von Prototypen und Kleinserien angefangen bis hin zu großen Serien von über 10.000 Stück reicht die Fertigungskapazität. Aufgrund des für Serienfertigung ausgelegten Produktionsverfahren liegen die Grundkosten für die erste Leiterplatte allerdings bei mehreren 100 DM - abhängig von Größe, Bohrungsanzahl und Typ. Daß dennoch die im ELV journal veröffentlichten Platinen so besonders günstig angeboten werden können, liegt an der großen Auflage, die, wie bei fast allen Produktionen, auf den Preis einen wesentlichen Einfluß ausübt.

Die Fertigungszeiten industriell erstellter Leiterplatten liegen im allgemeinen bei ca. 4 Wochen für einen regulären Durchlauf. Hat es ein Kunden einmal etwas eiliger, kann die Lieferung auch binnen 2 Wochen Frist erfolgen. Darüber hinaus bietet ELV einen 3-Tage-Eilservice an, der allerdings, bedingt durch den stark erhöhten Aufwand, separat zu honorieren ist. **ELV**

