

# SMD: Revolution auf der Leiterplatte

**Drei Buchstaben verändern die Elektronikwelt. Denn hinter SMD steht inzwischen ein Marktpotential, das in Milliarden Dollar zählt und heute bereits etwa 45 % der gesamten Flachbaugruppenproduktion ausmacht. Tendenz: steigend. Auch ELV wird in Zukunft häufiger Schaltungen mit SMD-Bauelementen veröffentlichen. Der in dieser Ausgabe vorgestellte elektronische Würfel stellt neben dem SMD-Radio (ELV 51) eine der ersten SMD-Schaltungen dar. Die folgende Zusammenfassung bietet einen Überblick über die neue Technik.**

## „SMD“ oder „SMT“?

SMD - das ist die Abkürzung von „Surface Mounted Device“, zu deutsch: Oberflächenmontiertes Bauelement. Das Neue dabei ist, daß diese Bauteile nicht wie herkömmlich über Bohrungen auf der Rückseite der Leiterplatte kontaktiert (gelötet) werden, sondern die Verlötung unmittelbar auf der Bauteilseite erfolgt. Damit ist bereits ein wesentlicher Vorteil von SMD ersichtlich, nämlich die Rationalisierung der Platinenherstellung.

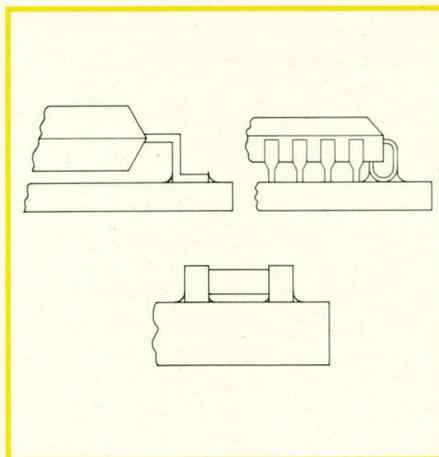
Neuerdings verbreitet sich zunehmend auch das Kürzel „SMT“ für „Surface Mounting Technology“, also Oberflächenmontageteknik. Die Einführung dieses neuen Kurzwortes hat hauptsächlich redaktionelle Gründe, denn „SMT“ ist unmittelbarer als „SMD-Technik“, und auch die Un-Vokabel „SMD-Bauelement“ kann endlich abgelöst werden. (Da das „D“ bereits „Bauelement“ bedeutet, könnte man allenfalls von „SMDs“ reden....)

## Handarbeit contra Fertigungsautomat

SMDs wurden praktisch ausschließlich für die Belange der Automatisierungstechnik entwickelt, und dies erklärt zum großen Teil die relativ schlechte Handhabbarkeit der Bauteile in manuellen Arbeitsgängen.

Sehr oft handelt es sich um winzige Chips, die nur mit beträchtlicher Konzentration sachgerecht per Hand oder Pinzette zu

verarbeiten sind. Dazu kommt das oft sehr feine Löttraster ( $1/20'' = 1,270 \text{ mm}$  ist üblich, wird aber z. T. nochmals halbiert) sowie die Tatsache, daß viele Bauelemente äußerlich gar nicht mehr auf ihre Werte hin überprüft werden können, denn die geringe Bauteilgröße läßt einen ausführlichen Bauteilwertaufdruck einfach nicht mehr zu. Miniaturhalbleiter sind daher oft nur noch über Buchstaben-Kurzcodes zu entschlüsseln, Chip-Widerstände oder -Kondensatoren bisweilen gar nicht gekennzeichnet. In der automatischen Fertigung ist das unerheblich, denn dort werden die Bauteile seit jeher über genau zugeordnete anonyme Magazine zugeführt und allenfalls noch einmal automatisch nachgemessen (Fachwort: „verifiziert“).



**Bild 1: SMDs mit und ohne Ausdehnungsmöglichkeit**

Den Vorteil der Verarbeitungscomputer - das sichere Handhaben großer Datenmengen, die Ordnung in den inneren Dateien - muß sich der manuelle Bearbeiter also notgedrungen auch zu eigen machen. Dies bedeutet in der Praxis penible Sortierung und Vergegenwärtigen jedes einzelnen Handgriffs.

Nun hat SMD aber auch für den Hobbyelektroniker eine sehr erfreuliche Seite, nämlich die Kleinheit der damit realisierbaren Schaltungen. Nicht selten besitzt eine gut durchgeplante SMD-Schaltung weniger als ein Viertel des Volumens einer gleichartigen Schaltung in herkömmlicher Technik. Dies macht SMD je nach Anwendungsfall äußerst attraktiv und lohnt allemal die Mühen der manuellen Feinarbeit. Daß dabei das Layout SMD-bestückbarer Platinen einen erheblich gesteigerten Entwicklungsaufwand erfordert, sei nur am Rande erwähnt, da dies in aller Regel nicht das Problem des Benutzers ist.

## SMD - und wie es dazu kam

Die SMD-Technik ist durchaus nicht neu: SMDs werden seit über 20 Jahren verwendet. Anlaß für ihre Entwicklung war die sogenannte Hybrid-Fertigungstechnik (Dickschicht-/Dünnschichttechnik), bei der bestimmte Baugruppen auf kleinen Keramiksubstraten integriert sind und durch Chip-Bauelemente ergänzt werden; das gesamte Bauteil ist dann z. B. hochkant auf die Hauptplatine aufgelötet. Viele Schaltungen in der Kfz- oder Fernsehetelektronik sind auch heute noch als Dickschichtmodule ausgeführt. Aber die Revolution begann eigentlich erst, als man erkannte, daß die SMD-Chips entgegen aller Prognosen auch mit normalem Leiterplattenmaterial vereinbar sind. Grund für diese anfänglichen Vorbehalte waren die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungen von Bauteil und Untergrund. Werden die hierdurch auftretenden Spannungen bei bedrahteten Bauelementen problemlos von den Anschlußdrähten aufgenommen, so befürchtete man bei den Chip-Bauteilen eine Beschädigung der Lötverbindung; denn hier ist nahezu kein Elastizitätsspielraum vorhanden.

Durch sorgfältige Tests und Untersuchungen konnte das Problem jedoch stark eingegrenzt und schließlich in den wenigen verbleibenden kritischen Fällen über das Bauteildesign gelöst werden. Großflächige Bauelemente werden hierbei entweder im Werkstoff auf geeignete Ausdehnungskoeffizienten hin festgelegt, oder man verwendet geschickte Kontaktkonstruktionen, die ein gewisses Spiel zulassen (Bild 1). Somit ist es im Laufe der Zeit gelungen, die meisten Lücken im SMD-Spektrum zu schließen: die wesentliche Voraussetzung für industrielle Akzeptanz.

## Vorteile der SMT

Im Zuge immer stärkerer Miniaturisierung und Automatisierung elektronischer Baugruppen bzw. ~Fertigung bietet SMT enorme Verbesserungen. Die heute üblichen Packungsdichten speziell in Tischcomputern und Workstations sind nur über eine Verkleinerung der Bauelemente (und natürlich auch durch Vergrößern der IC-Integrationsdichte) weiter zu steigern. Geräte, die man heute als Leichtgewicht am Handgriff transportiert, hätten vor 10 Jahren noch einen Schrank gefüllt. Die neue IBM-Computergeneration PS/2 wäre ohne SMT nicht in dieser Größe und Ausstattung zu realisieren (was natürlich auch die Konkurrenz vor entsprechende Hürden stellt). Und wer schon einmal einen Blick in moderne Videorecorder geworfen hat, wird dort ebenso fündig wie, dicht gepackt, im Inneren von Fotokameras.

Will man die theoretisch mögliche Flächenverkleinerung durch SMT wirklich voll ausschöpfen, so wird man zwar beim Leiterbahnlayout auf eine harte Probe gestellt, denn es ist z. B. nicht mehr möglich, wie bisher bis zu 10 Leiterbahnen unter einem aufgelöteten Widerstand hindurchzufädeln, sondern maximal nurmehr 2. Im Zweifelsfall hilft Mehrlagen-(Multilayer-) Technik, und dafür fallen dann aber auch parasitäre Induktivitäten oft erheblich knapper aus als bei herkömmlicher Montagetechnik. Die Toleranzstreuung der Gesamtschaltung ist vergleichsweise gering, d. h. die Reproduzierbarkeit ist hoch.

Was die Rationalisierung der Fertigung betrifft, so sei hier nur eine kurze Gegenüberstellung der Arbeitsgänge beider Verfahren vorgenommen. Bisher: Löcher bohren (bis zu 10 % der Endkosten!), Bauteile entgurten, Bauteilbeinchen abknicken und vorkürzen, Bauteil einsetzen (zulässige Abweichung maximal 0,02 mm, sonst produziert der Automat Ausschuß) und evtl. fixieren, löten, evtl. nachschneiden. Bei SMT: Platine mit Lötpaste und (evtl.) Kleber bedrucken, Bauteile aufsetzen (z. T. die gesamten Bauteile einer Platine gleichzeitig!), löten. Bei der Positionierung sind Abweichungen von oft bis zu 0,5 mm zulässig, da das Bauteil während des maschinellen Lötvorgangs aufschwimmt und sich infolge der Oberflächenspannung des Lotes selbständig zentriert. Es ist also keinesfalls so, daß SMT präzisere Fertigungsautomaten verlangt, sondern umgekehrt.

Abschließend ist zu erwähnen, daß eine fertige SMD-Baugruppe ungleich höhere Festigkeit gegenüber Stoß und Vibration besitzt als eine „normale“ Platine und auch vergleichsweise sehr wenig Lagerkapazität bindet. Die Zuverlässigkeit von SMDs und SMD-Baugruppen bleibt, soviel ist

schon heute sicher, hinter derjenigen bedrahteter Elemente nicht zurück. Es gibt gute Anzeichen, daß sie sogar um einiges höher liegt.

## SMDs und ihre Technik

Der Werdegang der meisten SMT-Bauelemente liest sich wie ein neuzeittechnologisches Wunder, und das ist es in der Tat. SMDs stellen Spitzenleistungen der Fertigungstechnik dar: da wird bedampft, gesintert, geätzt, galvanisiert, mit Lasern abgeglichen, beschichtet, glasiert, bedruckt und abermals beschichtet. Für SMDs gelten aufgrund ihrer Kleinheit hohe Anforderungen an die thermische Belastbarkeit, denn es ist in aller Regel nicht mehr möglich, die Wärme beim Lötvorgang allein über Wegstrecken oder das Bauteilvolumen abzufangen und von den empfindlichen Komponenten fernzuhalten. So muß also das Plastik-Dielektrikum bedrahteter Kondensatoren nunmehr keramischen Werkstoffen weichen, und etwa die Wärmeabgaberate von Miniaturwiderständen sowie deren Spannungsfestigkeit (kurze Widerstandstrecke!) erfordern hochspezielle Verfahren. Auch an die Lötbarkeit von SMDs werden extreme Anforderungen gestellt, denn es ist heute nur noch selten möglich, die damit bestückten Platinen im gewohnten Schwallbad zu löten. Statt dessen muß das Lot vom Kontaktmaterial quasi selbsttätig, ohne jede Zuführung äußerer mechanischer Energie, aufgenommen werden, da das eigens für die SMT entwickelte „sanfte Löten“ ohne turbulente Zinnbewegungen auskommt und -kommen muß. Dazu jedoch später noch ein gesonderter Abschnitt. SMT-Bauteile sind daher teilweise ähnlich komplex im Werdegang wie integrierte Schaltkreise. Trotzdem gelingt es infolge immer größer werdender Produktionsraten, die Bauteilkosten auf annehmbarem Niveau zu halten. Bestimmte SMDs sind bereits heute preiswerter als die entsprechenden Bauelemente in alter Technik.

## Bauformen von SMDs

Sicher ist, daß von Normung noch keine Rede sein kann. International wird noch so mancher Alleingang vorgenommen, und außerdem steckt diese Technik ja immer noch voll in der Entwicklung. Es haben sich jedoch längst einige De-facto-Standards durchgesetzt, die wohl auch langfristig das Bild bestimmen werden. Wir wollen hier darauf verzichten, im einzelnen auf die Vielzahl der Gehäusetypen und -Merkmale einzugehen. Erstens, weil Veröffentlichungen hierzu bereits genug existieren, zweitens, weil jeder, der mit offenen Augen durchs Elektronik-Leben geht, die wichtigsten Bauformen längst ausgemacht und

gelernt hat. Drittens, weil die Eigenkonzeption von SMD-Baugruppen, für die Maße etc. einzig von Bedeutung wären, wohl auch längerfristig eher die Ausnahme bleiben wird, denn SMD-Technik ist und bleibt letztendlich nun einmal leider ein Profibusiness.

Besondere Erwähnung verdient aber die bei passiven SMDs oft vorgenommene Wertebezeichnung mittels dreier Ziffern. Ähnlich wie beim Farbringcode bedeuten die ersten beiden Ziffern geltende Stellen, die dritte gibt die Zahl der anzuhängenden Nullen an. Beispiel: Widerstandscode 474 bedeutet  $470.000 \Omega = 470 \text{ k}\Omega$ .

## Die Lötvorgänge bei SMT

Beim Laien provoziert oft schon der bloße Augenschein die Frage: „Wie lötet man das Zeug?!“ Das ist in der Tat ein ganz besonderes Kapitel; die hierzu inzwischen vorliegenden Antworten sind aber teilweise brillant (weshalb sie gut zum Rest der SMT passen). Man unterscheidet beim SMD-Löten heute 3 Verfahren: Badlöten, Reflow-Löten und Kondensationslöten.

Beim Badlöten wird wie gehabt mit dem (modifizierten) Schwallbad gearbeitet, d. h. mit einem allmählichen Gleiten der bestückten Platine über eine schmale Lötzinnwelle („Schwall“), innerhalb der der Lötvorgang abläuft (dieser ist übrigens recht komplex, wenn man genau hinsieht). Schwallbadtechnik erfordert ein Fixieren der SMDs mittels wohlgesetzter, genau dosierter Pünktchen eines Spezialklebers; sie hat aber den großen Vorteil, mit der bislang üblichen Bestückungsweise vereinbar zu sein. Mischtechnik - so nennt man das gleichzeitige Vorhandensein von SMDs und bedrahteten Bauelementen auf demselben Träger - wird z. B. angewandt, wenn bestimmte Bauteile noch nicht als SMD verfügbar sind oder wenn Verkleinerungsgründe einen zumindest teilweisen Einsatz von SMDs nahelegen. Die erforderlichen Arbeiten sind recht aufwendig, da die Bestückung in mehreren Phasen und unter mehrfachem Wenden der Platinen erfolgt. Mischbestückung wird aber dennoch oft angewandt. So ist z. B. das Innenleben der meisten modernen Fernsehener in dieser Technik ausgeführt.

Kondensationslöten ist im Prinzip eine Unterart des Reflow-Lötens und ein absolutes Hi-Tech-Verfahren, dessen exaktes Verständnis gehobene Kenntnisse der Physik erfordert. Beim Kondensationslöten wird die Wärme in einer ganz besonders eleganten Methode selektiv den Lötstellen zugeführt, indem die Platine in ganz bestimmter Weise dem gesättigten Dampf einer speziellen, sehr teuren Flüssigkeit ausgesetzt wird. Teile des Dampfes kondensieren auf den kühlen, wärmeableitenden Bauteilkontakten und führen über die frei-

werdende Kondensationswärme zum Aufschmelzen des Lotes.

Damit ist bereits der Kern des Reflow-Lötverfahrens vorweggenommen, nämlich das Wiederaufschmelzen des Lotes (nichts anderes bedeutet die Übersetzung von „Reflow“). Hierbei wird das Lot also bereits vor dem eigentlichen Lötvorgang in genau festgelegter Menge und Position an die späteren Lötstellen gebracht, wozu eigens spezielle Lötpasten entwickelt wurden. Diese bestehen zu etwa 85 % aus feinsten Kügelchen der hochwertigen Lotlegierung in einem Trägermaterial aus Flußmittel und Bindemitteln. Die genaue Einstellung der wichtigen Lötpasteigenschaften wie Zähigkeit, Haftungsvermögen, Schmelzbarkeit, Flußmittelwirkung und Lagerstabilität erfordert erhebliche technische Anstrengungen, denn die vor dem Bestücken aufgetragenen Lötpastenpunkte dürfen weder austrocknen noch ihre Klebrigkeit verlieren (Fixierung der Bauelemente!) und auch keine Überraschungen beim Lötvorgang hervorrufen. Nur sehr wenige Hersteller beherrschen heute die Technik

nahezu perfekter Lötpasten, und die Preise der im Handel erhältlichen Paste sind entsprechend hoch (ca. 1 DM/g).

Dennoch ist das Reflow-Löten gerade für die manuelle Fertigung von SMD-Baugruppen interessant, da es die berühmte „dritte Hand“ überflüssig macht.

### SMD-Löten in der Hobbypraxis

Industriell wird die Paste zumeist mit Siebdruckschablonen auf die Kontaktflächen aufgebracht, und später wird die fertig bestückte Platine dann über eine Heißluftwelle (analog zur Lötwellen) kontaktiert. Bei einzelfertigung ist es jedoch ebenso möglich, das Lot über eine Spritze mit feiner Spitze auf die Platinenkontakte zu drücken. Äußerst wichtig ist hier, daß sparsam dosiert wird! Denn wenn alle Anschlußstellen für ein SMD entsprechend versorgt sind, wird das Bauelement aufgesetzt und ein wenig angedrückt, und dabei wird das Lot verteilt. Dies würde bei Überdosierung unter Umständen zu Kontaktbrücken nach dem Löten führen, die heimtückischerwei-

se sogar oft nicht einmal sichtbar werden. Deshalb ist wichtig, lieber wenig Paste (Bruchteil eines mm<sup>3</sup>) als zuviel zu benutzen! (Im Prinzip kann das Lot bei bestimmten SMDs übrigens auch erst nach dem Aufsetzen an die Kontaktflächen gebracht werden. Dabei muß dann allerdings das SMD die ganze Zeit über festgehalten werden. Am besten probiert man einmal selbst beide Methoden aus.) Das Löten kann bei den leichteren SMDs rationellerweise in größeren Gruppen erfolgen, während schwere SMDs am besten jeweils umgehend nach dem Aufsetzen verlötet werden.

Das SMD-Lot hat einen niedrigen Schmelzpunkt von etwa 180° C. Es ist unbedingt erforderlich, daß die Löttemperatur für SMDs 250° C nicht wesentlich übersteigt, da es sonst zu unsichtbaren Bauteildefekten kommen kann. Beim eigentlichen Lötvorgang werden die einzelnen SMD-Kontakte nacheinander jeweils solange erhitzt, bis die darunter befindliche graue Lötpaste aufschmilzt und sich in die gewohnt silberglänzende Lötstelle verwandelt. Die Lötwärme kann dabei entweder mittels LötKolbens (mit sehr feiner Spitze) zugeführt werden, wozu unbedingt auf eine nicht zu große Leistung geachtet werden muß. Temperaturgeregelte Lötgeräte, wie etwa die ELV-Lötstation, tun hier sehr gute Dienste. Die zweite Methode ist das Zuführen der Wärme über einen nadelfeinen Heißluftstrahl, welcher (ebenfalls temperaturgeregelt) aus einer dünnen Kapillare an der Spitze des Lötwerkzeuges austritt. Derartige Geräte kommen mehr und mehr in den Handel, sind aber verständlicherweise noch recht teuer.

Die Heißlufttechnik kommt völlig ohne etwaiges Festhalten der SMDs während des Lötens aus, wodurch im Prinzip sämtliche Arbeitsgänge einhändig ausführbar werden. Außerdem ergibt diese Technik besonders schöne, gleichmäßige Lötstellen.

Zu erwähnen ist noch, daß alle Lötpasten wegen des eingebrachten Lösungsmittelanteils altern, d. h. nicht beliebig lange lagerbar sind. Es empfiehlt sich daher eine Aufbewahrung im Kühlschrank. Zu beachten ist, daß sich die Paste vor Ausbringung wieder auf Umgebungstemperatur erwärmen muß, da es sonst zum Betauen der Lötstellen und in Folge zu unerwünschten Sprühreaktionen beim Löten kommen kann.

Zusammenfassend läßt sich guten Gewissens sagen, daß es mit Lötpaste und einem ausreichend feinen LötKolben auch dem Laien ohne weiteres möglich ist, auf Antrieb akzeptable SMD-Schaltungen herzustellen. Aus diesem Grunde hat sich ELV für die Verwendung derartiger Pasten entschieden. Wir wünschen jedem, der es selbst einmal probieren möchte, also abschließend viel Spaß bei den ersten Schritten in eine zukunftsweisende Technik! **ELV**

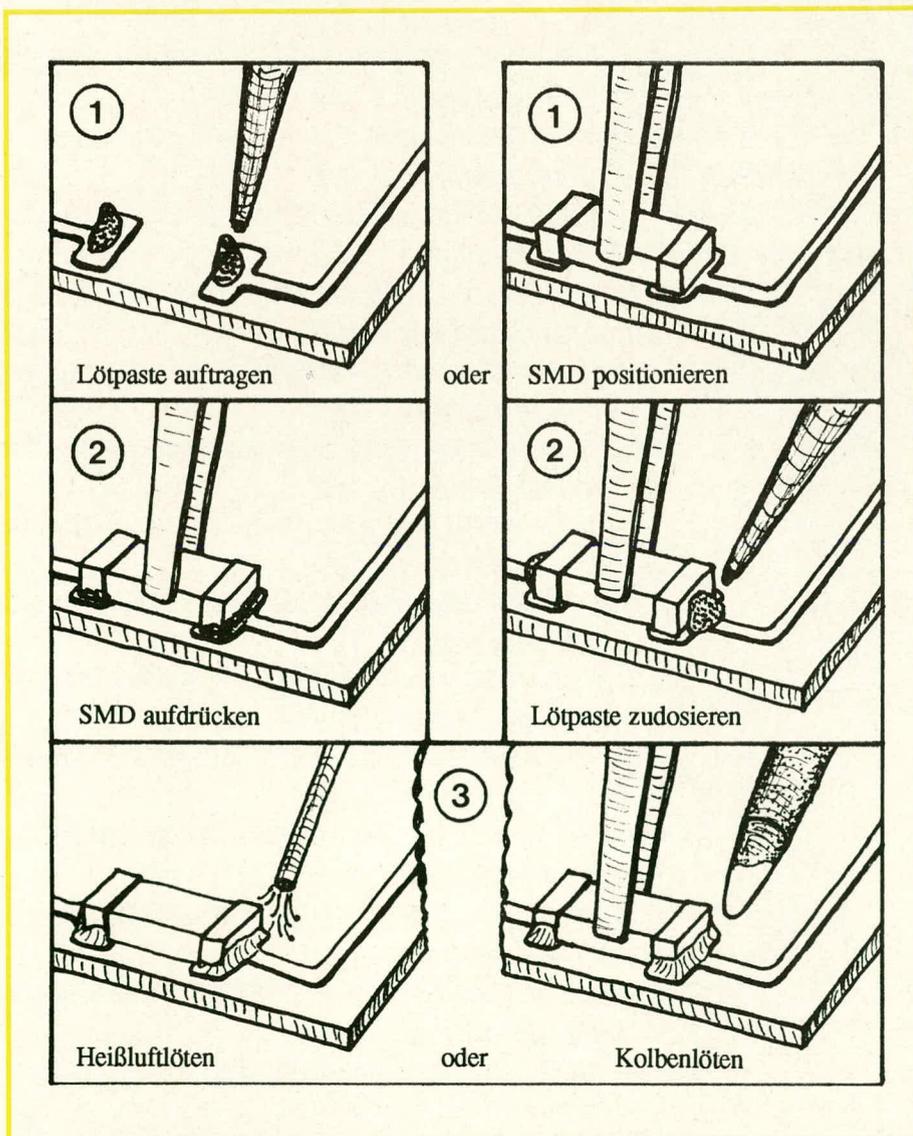


Bild 2: Gebrauch von Lötpaste beim manuellen SMD-Bestücken