

---

# Leseproben aus dem Buch "Fertigung und Test elektronischer Baugruppen"

Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

ISBN 978-3-86522-633-4

Autor des Buches: Leonhard Stiny

Autor dieser Leseprobe: Leonhard Stiny © 2012, alle Rechte vorbehalten.

Die Formatierung dieser Leseprobe weicht von der Formatierung des Buches ab.

## Leseprobe 1

### 2.5 Lötprozess

#### 2.5.1 Schwall-Löten

Bei bedrahteten Bauteilen werden die (evtl. umgebogenen) Drahtenden in Kontaktierungslöcher der Leiterplatte gesteckt und dort verlötet. Der Draht des Bauteilanschlusses befindet sich in einer zylinderförmigen, verzinnnten Durchkontaktierung der LP und schaut auf der Unterseite der LP ein kleines Stück heraus. Auf der Ober- und Unterseite ist die Durchkontaktierung jeweils mit einer kleinen, verzinnnten Fläche (einem Pad) verbunden, von der aus die Leiterbahnen eine elektrische Verbindung zu anderen Bauteilen herstellen.

Beim Produktionsprozess »Schwall-Löten« (*Wellenlöten*) wird die bestückte LP mittels eines Transportsystems mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch die Lötmaschine transportiert. Dabei ist die LP in einen Hilfsrahmen (*Lötrahmen*) eingespannt. Zu Beginn der Lötanlage durchläuft die LP den Fluxer. Der *Fluxer*, ein Flussmittel wie z. B. *Kolophonium* (Kiefernharz), beseitigt Oxidschichten auf den zu verlötenden Metalloberflächen und verhindert während des Lötens die Bildung einer neuen Oxidschicht. Die Fluxstation kann als *Sprühfluxer* oder als *Schaumfluxer* ausgeführt sein. Die darauf folgende *Vorheizzone* verdampft das im Fluxer enthaltene Lösungsmittel, der Fluxer wird aktiviert. Das flüssige Lötzinn wird kontinuierlich so umgepumpt, dass es über eine Kante läuft und sich ein Lötswall ergibt. Die LP wird mit ihrer Unterseite über diese Welle aus flüssigem Zinn geführt. Dadurch werden die Bauteildrähte mit den Pads auf der Unterseite der LP verlötet. Durch die Kapillarwirkung steigt flüssiges Zinn in den schmalen Zwischenräumen von Bauteilanschlussdrähten und den Wänden der Durchkontaktierungen hoch. So werden die Drahtstücke auch innerhalb der Durchkontaktierungen verlötet (siehe Abb. 42).

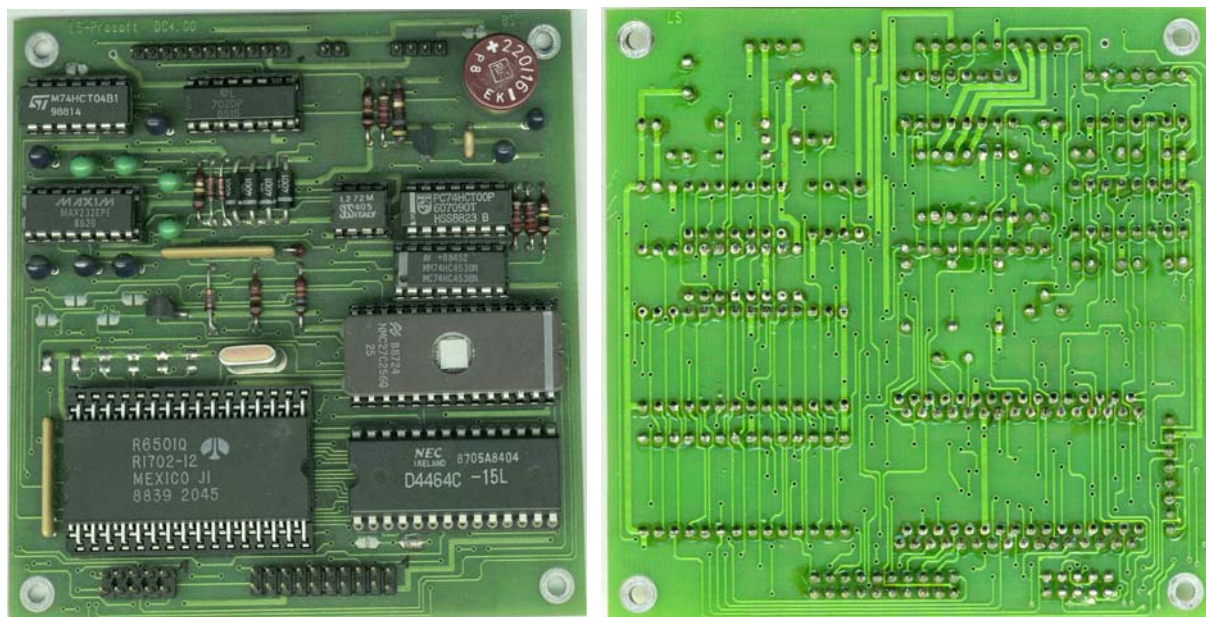


Abb. 46: Oberseite bzw. Bestückungsseite einer Leiterplatte mit bedrahteten Bauteilen (links) und Unterseite bzw. Lötseite (rechts)

## 2.5.2 Reflowlöten

Moderne Elektronik-Baugruppen werden soweit als möglich mit SMD-Bauteilen realisiert, da diese kleiner sind als bedrahtete Bauteile und somit eine stärkere Miniaturisierung ermöglichen. Es ist kein Zurichten der Bauteile (z. B. Umbiegen der Drahtenden) und keine Handbestückung nötig, und die Geschwindigkeit der Fertigungsautomaten zur automatischen Bauteilbestückung ist sehr hoch.

Durch die SMD-Technik erreicht man:

- Rationalisierung
- Miniaturisierung
- hohe Zuverlässigkeit
- hohe Packungsdichte auf kleinerer Fläche
- Materialeinsparung
- geringeres Gewicht
- Kostensenkung (keine Bohrlöcher, bis zu 10 % Ersparnis)
- besseres Stoß- und Vibrationsverhalten.

SMD-Bauteile werden auf Kontaktierungsflächen (»Pads«) auf der Oberfläche der Leiterplatte verlötet. Vor Beginn der Bestückung wird auf die Kontaktierungsflächen der Leiterplatte eine Schicht einer Lotpaste (Zinnpaste) entweder mittels *Dispenser*<sup>1</sup>, im Siebdruckverfahren oder mittels Schablonendruck aufgetragen. Die Lotpaste besteht bei bleihaltigem Lötzinn aus mikroskopisch kleinen Blei-Zinn-Kugeln, Fluss- und Bindemitteln und ist ein zäh-cremiges Gebinde.

Beim Dispensen wird eine Dosiermenge Lotpaste aus einem Vorratsbehälter (Kartusche o. ä.) durch eine Kanüle (Hohlnadel) gepresst und nacheinander auf die Pads aufgetragen. Das Dispensen findet z. B. bei der Prototypen- oder Einzelfertigung Anwendung.

<sup>1</sup> Dispenser = »Austeiler«

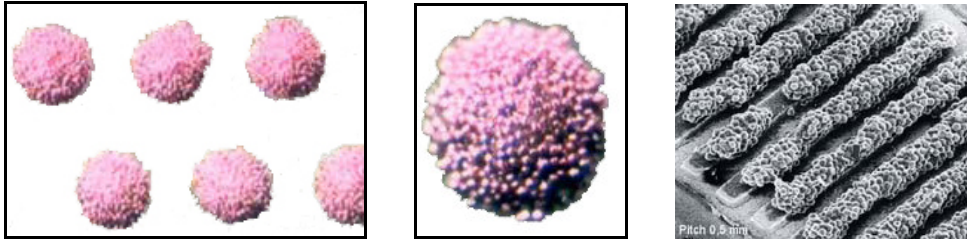


Abb. 47: Lotkügelchen durch Dispensen (links und Mitte), gedruckte Lotdepots (rechts)

Beim Siebdruck wird die Lotpaste mit einem Rakel durch ein Stahlsieb hindurchgedrückt. Dieses ist mit einer Beschichtung versehen, bei der schablonenartig die zu bedruckenden Stellen ausgespart sind, so dass die Lotpaste nur an diesen Stellen durch das Sieb gelangen kann. Die zu bedruckende Leiterplatte liegt in einem definierten Abstand von 0,5 – 1 mm (*Absprung*) unter dem Sieb. Wird das Rakel über das Sieb gezogen, so wird die Lotpaste durch das Sieb gedrückt und bildet auf den Kontaktierungsflächen der Leiterplatte kleine Zinn-Depots.

Der Schablonendruck hat die gleiche Funktionsweise wie der Siebdruck, nur wird hier eine dünne Metallschablone, in der die zu bedruckenden Stellen ausgespart sind, statt des Siebes verwendet. Die Menge der aufgetragenen Lotpaste ist dabei von der Dicke der Schablone abhängig.

Die SMDs werden nach dem Auftragen der Lotpaste mit ihren Anschlüssen auf die Zinn-Depots gesetzt (bestückt). Die mit Bauteilen bestückte LP durchläuft dann auf einem Transportband mit konstanter Geschwindigkeit verschiedene Heizzonen eines speziellen Lötovens und wird z. B. einer Infrarotstrahlung ausgesetzt, welche die Zinnpaste zum Schmelzen bringt. Somit werden die Bauteile verlötet. Dies ist der Produktionsprozess »Reflowlöten« (*Schmelzlöten*).

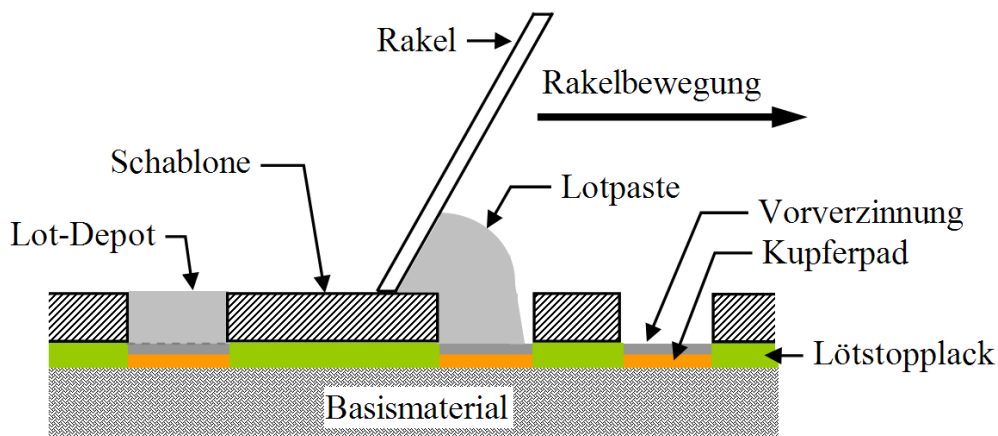


Abb. 48: Schematische Darstellung des Auftragens der Lotpaste auf die Leiterplatte mit Hilfe einer Schablone

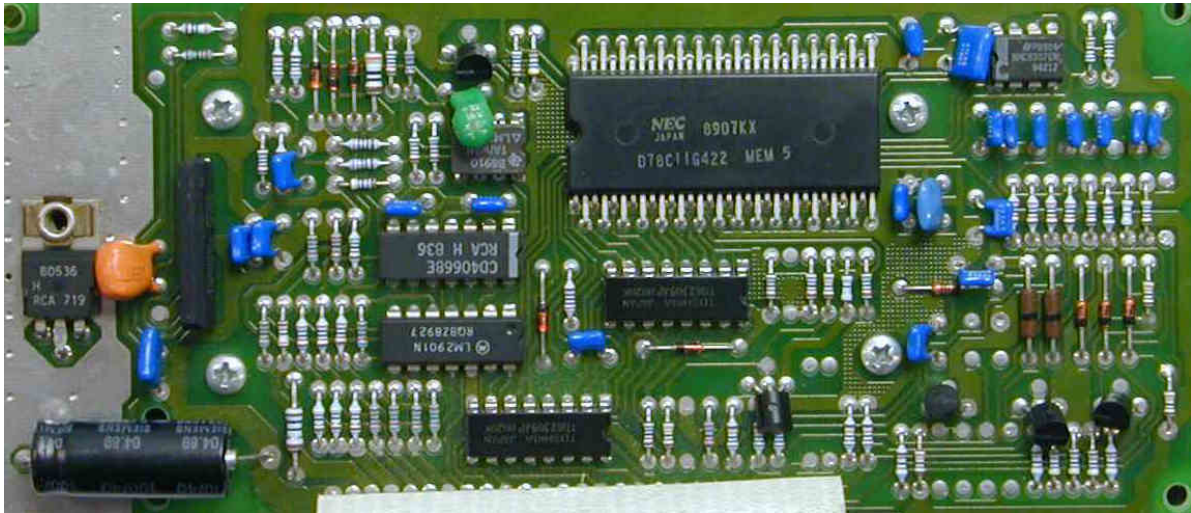


Abb. 50: Beispiel für eine Oberseite bzw. Bestückungsseite einer Leiterplatte mit bedrahteten Bauteilen, Bildquelle: Temic Sitzsteuergerät, mit Genehmigung der Continental AG

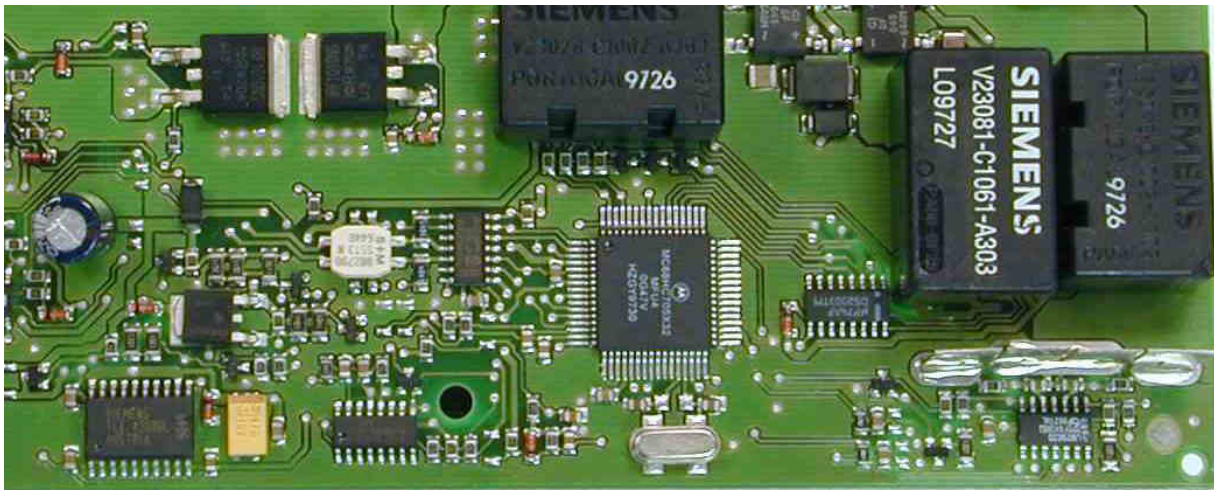


Abb. 51: Ausschnitt einer Leiterplatte mit aufgelöteten SMD-Bauteilen und mit bedrahteten Bauteilen (Mischbestückung)  
Bildquelle: Temic Sitzsteuergerät, mit Genehmigung der Continental AG

---

## Leseprobe 2

### 2.6.6.3 Werkstoffe beim Löten

#### Flussmittel

Erwärmte Metalle verbinden sich sehr schnell mit Sauerstoff aus der Atmosphäre und bilden eine Oxidschicht. Diese verhindert das Benetzen des Werkstoffes durch das Lot, sie hindert das Lot daran, in die Oberflächenporen der Werkstücke einzudringen. Flussmittel werden verwendet, um Oxidschichten zu entfernen und eine gute Benetzung der Werkstoffoberflächen mit Lot sicherzustellen. Außerdem soll eine Neubildung der Oxidschicht verhindert werden, wenn die Lötstelle beim Einleiten des Lötvorganges erwärmt wird. Das Flussmittel setzt die Oberflächenspannung des Lotes herab.

Die Auswahl der Flussmittel richtet sich nach dem zu lötenden Grundwerkstoff und dem Lötverfahren, vor allem aber nach der Arbeitstemperatur des verwendeten Lotes. Die Wirkung der Flussmittel muss unterhalb der Arbeitstemperatur einsetzen und über die maximale Löttemperatur hinaus reichen. Flussmittel werden daher nach ihrem Wirktemperaturbereich eingeteilt.

Außerdem werden Flussmittel unterteilt in

- stark korrodierend  
Dies sind säurehaltige Lösungen von Zink- und Ammoniumchlorid (»Lötwasser«) für stark oxidierte Oberflächen. Sie sind sehr aggressiv, wirken sehr effektiv und beinhalten anorganische Salze. Sie sind korrosiv, leitfähig und in Wasser löslich. Rückstände müssen abgewaschen werden. Bei elektrischen Komponenten werden sie wegen ihrer korrosiven Wirkung nicht eingesetzt.
- leicht korrodierend  
Diese Flussmittel sind ein pastenförmiges Gemisch aus Zink- und Ammoniumchlorid mit organischen Ölen oder Fetten (»Lötfett«), vorwiegend für Kupferlötungen. Rückstände müssen mit Lösungsmitteln entfernt werden.
- nicht korrodierend  
Dies sind natürliche oder synthetische Harze. Sehr bekannt ist ein Bestandteil eines Baumharzes unter der Bezeichnung *Kolophonium*, welches nach Wasserdampfdestillation (Abtrennen von Wasser und Terpentinöl) von Kiefernharz als Rückstand bleibt. Es schmilzt bei 172 °C, der Hauptbestandteil von Kolophonium ist Abietinsäure ( $C_{19}H_{29}COOH$ ).

Der Einsatz nicht korrodierender Flussmittel erfolgt vorwiegend in der Elektronik. Sie sind sehr mild, nicht korrosiv und nicht leitend. Rückstände müssen nicht entfernt werden. Durch organische Salze lassen sich Harzflussmittel aggressiver einstellen. Kupferoxid wird mit Harzsäuren bei 127 °C aufgelöst.

Lötbare Oberflächen sind Ni, Ag, Cu, Au (Nickel, Silber, Kupfer, Gold). Aluminium bildet ein Oxid, die Oberfläche ist nicht lötbar. Silizium-Oxid wird vom Lot nicht benetzt.

#### Bindemittel

Ein Bindemittel ist ein Stoff, mit dem pulverförmige Lote derart gebunden werden, dass sie als Paste an der Lötstelle angebracht oder zu Lötformteilen verarbeitet werden können.

#### Lötstoppmittel

Ein Lötstoppmittel ist ein Stoff, der ein unerwünschtes Ausbreiten von geschmolzenem Lot verhindert. Ein ungewolltes Zusammenlöten von Bauteilen an Stellen mit Lotüberschuss wird so vermieden.

## Das Lot

Lote sind Zusatzwerkstoffe, die in den meisten Fällen aus Legierungen aus zwei oder mehreren Metallen ohne oder mit weiteren Zusätzen bestehen. Sie dienen zur Herstellung der Lötverbindung. Die Zusammensetzung und Bezeichnung der handelsüblichen Lote ist unterschiedlich. Nicht jedes Lot ist für jeden Grundwerkstoff geeignet.

Für Lote gilt allgemein:

- Ihre Schmelztemperatur ist stets niedriger als die Schmelztemperatur der Grundwerkstoffe.
- Sie müssen dünnflüssig werden, die Oberfläche der Grundwerkstoffe benetzen, sich ausbreiten und in den Lotspalt eindringen.
- Bei der Reaktion zwischen Lot und Werkstoff müssen Lösungs- und Diffusionsprozesse ablaufen, die eine haltbare Verbindung in der Lötzone gewährleisten.
- Die linearen Ausdehnungskoeffizienten des Lotes und der Grundwerkstoffe müssen sehr ähnlich sein, um Spannungen oder Risse in der Lötverbindung zu vermeiden.

Die Einteilung der Lote kann nach ihrer Arbeitstemperatur in *Weichlote* und *Hartlote* erfolgen. Hartlote mit Verarbeitungstemperaturen zwischen 500 °C und 1000 °C sind eutektische Legierungen, die häufig auf Silber- oder Messing-Basis beruhen. Im Gegensatz zum Weichlot eignet sich ein Hartlot auch für mechanisch stark beanspruchte metallische Verbindungen. Wie bereits erwähnt, werden in der Elektronik ausschließlich Weichlote eingesetzt. Am häufigsten wird als Weichlot ein Zinnlot eingesetzt.

In der Elektronik wurden bis Juli 2006 als Lote Legierungen aus Zinn (Sn) und Blei (Pb) verwendet. Das Blei sorgt für einen relativ niedrigen Schmelzpunkt, für eine gleichmäßige Benetzung der Bauteilanschlüsse und für eine Korrosionsfestigkeit der Lötverbindung. Blei-Zinn-Lote haben eine Arbeitstemperatur von unter 330 °C. Zinn hat einen Schmelzpunkt von 232 °C, der Schmelzpunkt von Blei ist 327 °C. Je mehr Anteile Zinn ein Zinn-Blei-Lot hat, umso niedriger ist die Arbeitstemperatur. Je nach Zinngehalt besitzt also die Legierung einen unterschiedlichen Schmelzbereich. Die niedrigste Schmelztemperatur liegt bei 183 °C, der so genannten *eutektischen Temperatur*, und damit unterhalb der Schmelztemperaturen der beiden reinen Metalle. Ein eutektisches Gemisch besitzt einen bestimmten Erstarrungspunkt, der unter den Schmelzpunkten der legierten reinen Metalle liegt. Bei dieser Temperatur geht die eutektische Mischung mit einem Zinngehalt von 63 Masse % (der Rest von 37 % ist Blei) aus dem festen direkt in den flüssigen Zustand über. Das heißt, diese Mischung verhält sich wie ein reines Metall und besitzt keinen Schmelzbereich (ein reines Metall schmilzt bei einer bestimmten Temperatur »schlagartig«). Die eutektische Legierung besitzt gute Festigkeitseigenschaften.

Dieses Sn63Pb37-Lot mit seinem Schmelzpunkt von 183 °C wurde lange Zeit als Standardlot in der Elektronik verwendet.

Seit Mitte 2006 sind bleihaltige Elektroniklote aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes verboten. Wegen der großen Bedeutung des bleifreien Lötens werden wichtige Gesichtspunkte im nächsten Abschnitt behandelt.

---

## Leseprobe 3

### 3 Bestückung von Baugruppen

Sind große Mengen von Leiterplatten mit elektronischen Bauteilen zu bestücken, so lohnt sich für die Bestückung der SMD-Bauteile der Einsatz eines SMD-Bestückungsautomaten. Bei Bestückungsautomaten befinden sich die SMD-Bauteile »gegurtet« auf Rollen oder in Stangenmagazinen. Ein fahrbarer Kopf greift sich mit mehreren Ansaugdüsen (engl. *nozzles*) aus eingehängten Bauteilmagazinen (*Blistergurte*) die entsprechenden SMD-Bauteile, dreht sie in die richtige Position, zentriert und misst die Bauteile über eine CCD-Kamera mit intelligenter Bilderkennung und platziert sie auf dem jeweiligen, noch unausgehärteten Lotpastenauftrag. Dies alles erfolgt sehr schnell, es werden hohe Fertigungsstückzahlen erreicht.

#### 3.1 Maschinenkonzepte zur SMD-Bestückung

SMD-Bestückungssysteme basieren auf unterschiedlichen Konzepten zur Bestückung. Folgende vier Methoden werden unterschieden, welche näher erläutert werden:

- manuelle Bestückung
- automatische sequenzielle Einzelbestückung
- automatische Sequenziell-/Simultanbestückung
- automatische Simultanbestückung.

##### 3.1.1 Manuelle Bestückung (Handbestückung)

Mit manuellen Bestückungsplätzen können SMD-Bauteile von Hand auf Leiterplatten bestückt werden. Meist bestehen diese Arbeitsplätze aus einer Vorrichtung auf einem Tisch, welche eine Bauelementezuführung in Form eines Karussells, eine Halterung für die Leiterplatte, eine Arm- oder Handablage und ein handgeführtes Bestückungswerkzeug mit Saugpipette (Handmanipulator) umfassen. Die Bauteile werden in einem Karussell als Schüttgut oder über *Feeder* (Zuführmodule für Bauelemente) bereitgestellt, von einer in der Hand gehaltenen oder mit Hilfe einer Vorrichtung geführten Vakuumpinzette aufgenommen, mit einem manuell bewegten x/y-Arm positioniert und dann auf die Leiterplatte abgesetzt.

Um eine höhere Bestückungsgenauigkeit zu erreichen, sind manche Plätze zur Handbestückung mit optischen Hilfsmitteln ausgestattet. Dies können Lupen oder integrierte Mikroskope sein. Sind Kamerasysteme vorhanden, so ist eine vergrößerte Betrachtung der Bestückungsposition mit dem platzierten Bauteil auf einem Bildschirm möglich. Was früher bei Handbestückungstischen für bedrahtete Bauelemente üblich war, wird auch bei SMD-Handbestückungsplätzen verwendet: Ein Lichtstrahl zur Anzeige der Bestückungsposition. Mit einem hellen Laserpunkt wird auf der Leiterplatte der Ort des Bauelementes angezeigt, welches als Nächstes bestückt werden soll. Je nach Maschine können für Bauteile eigene Lichtsymbole erstellt werden, und die Symbolführung kann an unterschiedliche Baugruppen, Leiterplatten und Bauteilarten angepasst werden. Auf diese Weise werden Bestückungsfehler vermieden.

Die manuelle Bestückung wird hauptsächlich zur Herstellung von Labormustern und Prototypen, bei Reparaturarbeiten und der Fertigung von Kleinserien eingesetzt. Aufgrund der geringen Bestückungsleistung von ca. 500 Bauelementen pro Stunde ergeben sich im Vergleich zu den um ein Vielfaches leistungsfähigeren Bestückungsautomaten sehr hohe Bestückungskosten. Kleine Rastermaße und Bauformen ergeben hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Platzierung und erfordern ein äußerst exaktes Arbeiten. Wird auf Lotpaste bestückt, so sollte nach dem Absetzen eines Bauelementes die Bestückungsposition nicht mehr korrigiert werden, da sonst Lötbrücken durch ein Verschmieren der Lotpaste entstehen können.



Abb. 75: Arbeitsplatz mit Kamera zur manuellen Bestückung von SMD-Bauelementen  
Bildquelle: DIMA Group B.V.

### 3.1.2 Automatische sequenzielle Einzelbestückung

Bei dem Konzept der automatischen sequenziellen Einzelbestückung werden die Bauelemente durch einen programmgesteuerten Automaten einzeln aus den Zuführmodulen aufgenommen, in Bestückungsposition gebracht und einzeln wieder auf die Leiterplatte abgesetzt.

Automatische sequenzielle Einzelbestückungssysteme sind sehr flexibel bezüglich Anzahl und Bauformen verarbeitbarer Bauelemente. Da die Umrüstzeiten<sup>2</sup> kurz sind, können auch kleine Losgrößen wirtschaftlich gefertigt werden.

Bei sequenziellen Einzelbestückungssystemen werden verschiedene Verfahren unterschieden:

- *Pick & Place*
- *Chip Shooter*
- *Collect & Place* (eine Chip Shooter Variante mit zwei Revolverköpfen)
- *Collect & Pick & Place* (mit zwei unterschiedlichen Bestückungsköpfen)

Bei *Pick & Place* Automaten wird jeweils ein Bauelement von der Abholposition im Zuführmodul aufgenommen, zur Bestückungsposition transportiert und auf der Leiterplatte abgesetzt.

Bei *Chip Shooter* Maschinen erfolgt das Aufnehmen und Absetzen des zu bestückenden Bauelementes ebenfalls sequenziell. Um eine hohe Bestückungsleistung (Bauteile pro Zeiteinheit) zu erreichen, werden jedoch mehrere Bauelemente gleichzeitig von der Abhol- zur Bestückungsposition transportiert.

---

<sup>2</sup> Als Rüsten wird die Tätigkeit bezeichnet, eine Maschine für einen bestimmten Bearbeitungsvorgang einzurichten



### 3.1.3 Automatische Sequenziell-/Simultanbestückung

Bei der automatischen Sequenziell-/Simultanbestückung werden mehrere Bauelemente gleichzeitig von einem Bestückungskopf mit Mehrfachaufnahme aus dazu passenden Zuführmodulen aufgenommen und anschließend nacheinander (einzeln oder mehrere gleichzeitig) auf die Leiterplatte gesetzt. Die Bestückungsposition eines Bauteils (oder mehrerer nebeneinander liegender Bauteile) wird angefahren, indem der kammähnliche Bestückungskopf und die Leiterplatte rechtwinklig zueinander verfahren werden.

Da Zuführmodule und Bestückungskopf konstruktiv aufeinander angepasst sein müssen, können nicht alle Typen von Bauelementen verarbeitet werden. Die Bestückung von Leiterplatten mit unterschiedlichen Layouts ist aber möglich. Eine hohe Anzahl von Saugpipetten im Bestückungskopf erschwert eine Optimierung der Bestückungsleistung. Wird der Bestückungskopf auf das simultane Setzen von Bauelementen innerhalb eines Leiterplattennutzens ausgelegt, lässt sich die Bestückungsleistung erhöhen. Die typische Bestückungsleistung von sequenziell-/simultan arbeitenden Bestückungsautomaten beträgt ca. 15000 Bauelemente pro Stunde.

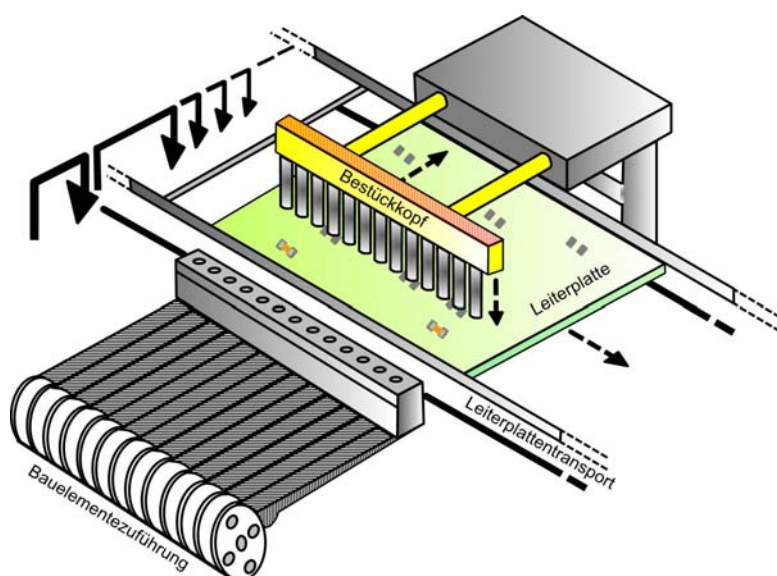


Abb. 76: Funktionsprinzip der automatischen Sequenziell-/Simultanbestückung. Mehrere Bauelemente werden simultan aus der Zuführung entnommen und dann einzeln (oder mehrere nebeneinander liegende) auf die Leiterplatte abgesetzt.

### 3.1.4 Automatische Simultanbestückung

Durch das Konzept der automatischen Simultanbestückung soll eine möglichst hohe Bestückungsleistung erreicht werden. Ein spezieller Bestückungskopf entnimmt aus den Zuführmodulen gleichzeitig eine große Anzahl an Bauelementen und setzt sie in einem einzigen Arbeitsschritt auf die Leiterplatte.

Da viele Bauelemente vom Bestückungskopf sowohl gleichzeitig aufgenommen als auch abgesetzt werden, wird eine sehr hohe Bestückungsleistung mit bis zu 300000 Bauelementen pro Stunde erreicht. Die Bestückungskosten sind entsprechend niedrig. Da die Bestückungswerkzeuge im Bestückungskopf starr angeordnet sind, muss dieser auf Größe und Layout der zu bestückenden Leiterplatte abgestimmt sein. Dies gilt ebenfalls für die Zuführmodule. Wegen der geringen Genauigkeit ist auch die Art der bestückbaren Bauelemente auf zweipolige Chip-Bauelemente und kleine Bauelemente mit wenigen Anschlüssen eingeschränkt. Da die wichtigsten Komponenten des Automaten schaltungs- und produktspezifisch ausgelegt sind, ist der Umrüstaufwand bei einem Loswechsel sehr hoch. Deshalb werden Simultanbestücker relativ selten und ausschließlich bei Produkten mit höchsten Stückzahlen eingesetzt.

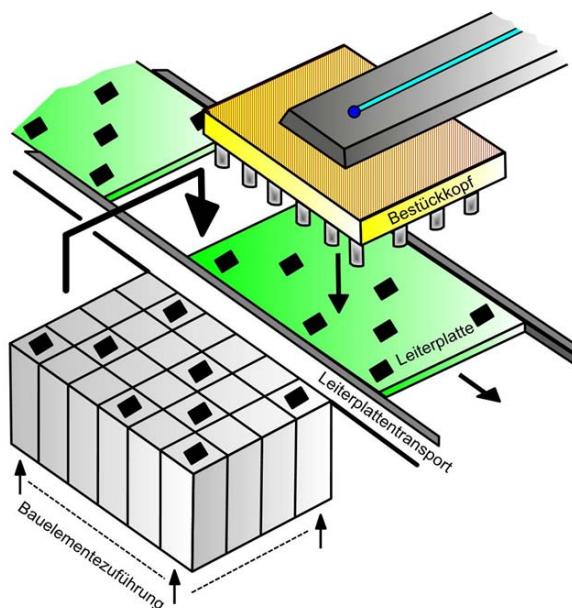


Abb. 77: Funktionsprinzip der simultanen Bestückung. Viele Bauelemente werden gleichzeitig aus der Zuführung entnommen und gleichzeitig auf die Leiterplatte gesetzt.

### 3.1.5 Zusammenfassung

Mit steigender Bestückungsleistung nimmt die Flexibilität bezüglich Anzahl, Bauformen und Anlieferungszustand der zu bestückenden Bauteile und hinsichtlich der Bestückbarkeit von Leiterplatten mit unterschiedlichem Layout ab. Sequenziell/simultane und besonders simultane Bestückungssysteme sind deshalb weit weniger verbreitet als sequenzielle Bestückungssysteme.

---

## Leseprobe 4

### 5 Test von Baugruppen

Elektronische Baugruppen müssen nach der Fertigung oder auch nach einzelnen Prozessschritten geprüft werden. Die im Wesentlichen angewandten Prüfverfahren sind nachfolgend beschrieben. Welche Verfahren angewandt werden, hängt von produktspezifischen Eigenschaften wie Komplexität und Stückzahl der Baugruppe ab. Die Fehlerabdeckung der verschiedenen Prüfmethoden ist unterschiedlich hoch, und es gibt unterschiedliche Fehlerspektren, die erkannt werden. Die beschriebenen Verfahren werden häufig kombiniert, um zu einer optimalen Fehlerabdeckung und einer kostenoptimierten Prüfstrategie zu kommen.

Grob kann man zwischen elektrischen und optischen Prüfverfahren unterscheiden.

#### 5.1 Elektrische Tests

##### 5.1.1 Incircuit-Test (ICT)

###### 5.1.1.1 Verfahren und Adaptierung

Bei diesem Testverfahren werden die auf der Baugruppe befindlichen Bauteile elektrisch vermessen. Getestet werden alle einzelnen elektrischen Verbindungen auf einer Leiterplatte. Kurzschlüsse (jeder Knoten gegen jeden anderen), Unterbrechungen, nicht verlötete, defekte, verpolte und wertmäßige falsche Bauteile oder Toleranzüberschreitungen können entdeckt werden.

Somit werden Löt-, Bestückungs- und Bauteilefehler erkannt. Mit dem Incircuit-Test ist eine Fehlererkennung von über 90 % erreichbar.

Beim IC-Test mit leistungsfähigen Prüfautomaten sind auch Teilfunktionstests kritischer Schaltungsteile, Funktionstests von Schaltungsblöcken oder Gesamtfunktionstests möglich. Dafür gibt es als Komponenten des Incircuit-Testers speziell auf den Funktionstest abgestimmte Komponenten wie Signalgeneratoren und Messinstrumente.

Um den ICT durchführen zu können, ist eine recht aufwendige mechanische Adaption der Leiterplatte nötig. Für den IC-Test ist es notwendig, jedes elektrische Netz der Schaltung über »Nadeln« (gefederte Prüfstifte) zu kontaktieren. Über einen Nadelbettadapter, der für eine Baugruppe extra angefertigt werden muss, wird ein vollständiger elektrischer Zugang zu den Schaltungsknoten hergestellt. Damit eine Leiterplatte testbar ist, werden im Layout Testpunkte für die Kontaktierung mit Prüfnadeln eingefügt. An diagonal gegenüberliegenden Ecken der Leiterplatte werden asymmetrisch Fangbohrungen zur sicheren Positionierung der Leiterplatte auf dem Nadelfeld angebracht. Beim Layout sind bestimmte Punkte eines testfähigen Leiterplattendesigns, wie z. B. Abstände, Größe, Lage der Testflächen, zu beachten.

Für die Kontaktierung gibt es die Konzepte des Vakuumadapters und des Niederhalteradapters.

Beim Vakuumadapter ist der Nadeladapter am Rand mit einem gegen die Platine dichtenden »Gummi« versehen. Ein Vakuum zieht die Platine auf den Adapter und die federnden Nadeln werden auf die hierfür im Design der Leiterplatte vorgesehenen Testpads gedrückt. Es sei erwähnt, dass der (früher verwendete, teure) Vakuumadapter Probleme bei der Abdichtung (Außenkanten und Durchbrüche der Leiterplatte) mit sich bringen kann und nur für eine einseitige Bestückung der Leiterplatte einsetzbar ist.

Mit dem Adaptionkonzept des Niederhalteradapters, der ohne Vakuum auskommt, ist ohne großen Mehraufwand eine beidseitige Kontaktierung der Leiterplatte möglich. Mit Hilfe einer entsprechenden Anzahl von justierbaren Niederhaltern wird die Leiterplatte von oben auf die Prüfstifte gedrückt, um so einen sicheren Kontakt zu gewährleisten. Die Funktionsweise beider Adaptionmöglichkeiten geht aus **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** hervor.

Für die Adaptererstellung können Gerberdaten genutzt werden. Diese Daten werden beim Layout der Leiterplatte erzeugt und werden auch zu ihrer Herstellung benötigt. Durch die Nutzung der Gerberdaten entsteht ein fehlerfreies Bohrprogramm für die Prüfstifte und die Anordnung der Niederhalter.

Die Erstellung eines Adapters bei einer auf diese Arbeit spezialisierten Firma dauert typisch ein bis zwei Arbeitstage.

Durch die zunehmende Miniaturisierung der Bauteile ergeben sich bei der Nadelbett-Technik mehrere Probleme. Die Abstände der Pins integrierter Schaltungen werden immer kleiner und zahlreicher, dadurch liegen die Leiterbahnen immer enger zusammen. Durch die geringen Abstände werden die Anforderungen an die Testmechanik immer höher. Durch mechanische Probleme sind auch Fehlkontakte möglich.

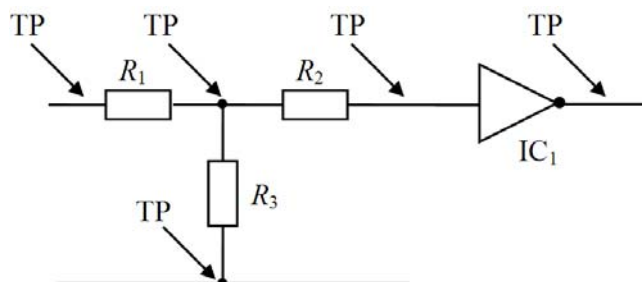


Abb. 101: Prinzip des ICT, jedes Bauteil wird einzeln getestet und muss mit seinen Anschlüssen über Testpunkte (TP) zugänglich sein.

### 5.1.1.2 Prüfungen beim Incircuit-Test

Die Tests im Überblick:

- Kontaktierungstest aller Prüfpunkte des Nadeladapters zum Prüfling
- Kurzschlussstest, jeder Knoten gegen jeden anderen
- Test aller passiven Bauelemente ohne Versorgungsspannung
- Test aller aktiven Bauteile mit Versorgungsspannung optional zusätzlich
- Clustertest (Funktionstest von Schaltungsblöcken)
- Gesamtfunktionstests.

---

## Leseprobe 5

### 5.1.4 Funktionstest (FKT)

Da der Funktionstest häufig der letzte Test vor dem Verpacken der Baugruppe ist, wird der Test auch als *Endtest* bezeichnet. Durch diesen Test wird sichergestellt, dass die Baugruppe so funktioniert, wie sie soll.

Im Unterschied zum Incircuit-Test findet keine Überprüfung auf Bauteilebene statt. Die Elektronik-schnittstellen werden mit den realen Eingangsgrößen (z. B. Strom, Spannung, Widerstand usw.) beaufschlagt, und die entsprechenden Ausgangsgrößen werden gemessen bzw. aufgezeichnet. Der Prüfling wird also durch Anlegen von Eingangssignalen und Überwachung der Ausgänge durch geeignete Messmittel auf *einwandfreies Funktionieren aller Betriebszustände* hin überprüft. So wird gewährleistet, dass der Prüfling tatsächlich »funktioniert« und nicht »nur« richtig bestückt ist.

Das Endtestgerät (der Endtester) ist zwar ein speziell auf eine bestimmte Baugruppe abgestimmter Prüfaufbau, kann jedoch aus Standardgeräten wie Spannungsversorgungen, Strommessgeräten oder Standardkomponenten zusammengesetzt sein. Durch diese Standardisierung des Aufbaus des Endtesters lassen sich bis zu 80 % der Tester-Hardware für ein neues Projekt bzw. ein neues Produkt wieder verwenden. Der projektspezifische Teil wird in einem *Lasteneinschub* untergebracht. Dieser Einschub enthält die komplette Ein- und Ausgangsbeschaltung des Prüflings mit Original- oder Ersatzlasten. Dieser produktabhängige Anteil des Testschanks ist an die Eingangssignale und an die während des Betriebs anzusteuern Lasten der zu prüfenden Baugruppe angepasst. Nur dieser Einschub muss bei einem neuen Projekt neu erstellt werden. Die baugruppenspezifischen Lasten können z. B. ohmsche Widerstände, große Induktivitäten, Glühlampen, Relais oder Elektromotore sein.

In einem solch modular aufgebauten Endtester kann eine über einen Bus programmierbare *elektronische Last* als *Ersatzlast* für die Simulation von Kurzschlüssen, Überlastfällen oder Verbrauchern wie LEDs, Glühlampen, induktiven und ohmschen Lasten eingesetzt werden. Ein *Elektronikeinschub* bildet ein Baukastensystem mit unterschiedlichen Elektronik-Karten. Diese Einheit erledigt alle Schaltvorgänge, wie das Anlegen der Versorgungsspannungen, das Anlegen von Stimuli an die Eingänge und von Lasten an die Ausgänge der zu prüfenden Baugruppe. Der Elektronikeinschub leitet auch die Kommunikation mit dem Prüfling über z. B. LIN- und CAN-Bus weiter. Mit diesen Stimuli-, Mess-, Eingangs- und Ausgangskarten des modular konfigurierbaren Testsystems sind alle denkbaren Beschaltungen von zu testenden Baugruppen realisierbar. Mit einer Relaismatrix kann z. B. die elektronische Last an jeden Lastpin einer zu testenden Baugruppe angeschaltet werden.

Der Tester kann darüber hinaus nicht nur in der Produktion, sondern auch im Labor und bei der Qualifikation eingesetzt werden. So kann eine wirtschaftlich ideale Lösung bei Erfüllung aller Ansprüche bezüglich Testmöglichkeiten und Testgenauigkeit geschaffen werden.

Das für den Endtester erstellte Testprogramm überprüft alle Ausgangsgrößen der Baugruppe in den dafür vorgesehenen Grenzen. Die Messergebnisse werden häufig in einer Datenbank archiviert. Bei erfolgreichem Test kann am Ende des Tests ein Testprotokoll bzw. ein Testaufkleber ausgedruckt werden. Die Adaptierung der Baugruppen erfolgt beim Endtest meist über ihre von außen zugänglichen Stecker.

Die Erstellung des Testprogramms und die Fehlerdiagnose können sehr schwierig sein. Wird der Prüfling (DUT = **D**evice **U**nder **T**est) bereits in der Entwicklungsphase in Funktionsblöcke aufgeteilt und die Schaltung so entwickelt, dass sie blockweise getestet werden kann, so können sich Programmerstellung und Fehlerdiagnose vereinfachen.



Abb. 108: Ein universell verwendbares, modular aufgebautes Endtestgerät (links), ein zugehöriger Lasteneinschub (rechts oben), ein als standardisiertes Baukastensystem ausgeführter Elektronik-einschub (rechts unten). Bildquelle: CGS – Computer Gesteuerte Systeme GmbH