

... drei Buchstaben, die der Bestückung von Leiterplatten neue Dimensionen eröffnet haben.

Kleiner, leichter, komplexer – der Markttrend, der durch Einsatz der SMT erst ermöglicht wurde.

Den Marktanforderungen nach höherer Funktionsdichte bei geringerer Bauhöhe konnte die klassische Durchsteckmontage (THT – Through Hole Technology) nicht mehr gerecht werden. Ihr Einsatz wird sich daher in Zukunft auf einige Spezialanwendungen beschränken.

Der Anteil oberflächenmontierter Bauelemente (SMD – Surface Mounted Device) weist auch weiterhin hohe jährliche Zuwachsraten auf. Sowohl die Substitution von THT-Bauformen durch SMD's, als auch die Einführung neuer, innovativer Bauformen wie z. B. dem Ball Grid Array (BGA), sind Gründe für diese Entwicklung.

Die SMT steht heute nicht mehr nur für eine Methode, bei der Bauelemente auf die Leiterplatte bestückt und gelötet werden. Vielmehr umfaßt sie den gesamten Bereich des Bestückprozesses, von der Entwicklung der Bauelemente bis hin zum Herstellungsprozeß der elektronischen Baugruppe.

Der Trend zur Miniaturisierung und höherer Funktionsdichte bei den SMD hält weiter an und wird eine zunehmende Vielfalt an Verarbeitungstechniken und Gehäuseformen zur Folge haben. Stärker als in der Vergangenheit müssen deshalb Hersteller und Anwender zusammenarbeiten, um die kostengünstigste Lösung zu finden und damit Wettbewerbsvorteile zu schaffen.

Durch die rege interne Kooperation von Bauelemente-Lieferanten, Bestückautomatenhersteller, Fertigungsexperten, Technologie-

zentren und durch unseren engen Kontakt zu Kunden, externen Partnern und Forschungseinrichtungen sind wir stets mit Auge und Ohr direkt am Markt.

So ist Siemens zum Fertigungsexperten und Technologiespezialisten geworden – zu Ihrem General Supplier. Kundenorientierte Gestaltung der Produkte in Verbindung mit neuesten Innovationen ist unser Verständnis von diesem expandierenden Markt.

Ein Wettbewerbsvorteil, der selbstverständlich auch Ihnen zu Gute kommt – beispielsweise durch unsere Hochleistungsbestückssysteme der SIPLACE-Familie.

Wir möchten Ihnen unser Wissen und unsere Erfahrungen natürlich auch direkt zur Verfügung stellen und stehen dabei gern mit Rat und Tat zur Seite.

Dieses Technologie-Handbuch kann und soll das persönliche Gespräch, die Beratung, die gemeinsame Problemlösung und Optimierung natürlich nicht ersetzen. Es soll Ihnen, dem Anwender, vielmehr einen Überblick über eine immer komplexer werdende, sich stets weiter entwickelnde Technologie geben.

Diese Technologiebroschüre wird ständig aktualisiert.

Ihr Siemens Vertriebsingenieur wird Sie stets gerne mit der neuesten Ausgabe versorgen. Rufen Sie ihn an.

Seine Telefonnummer finden Sie auf der Rückseite dieser Broschüre.

Januar 1999

Impressum

Herausgeber

Siemens AG
Bereich Automatisierungstechnik
PL EA 1
Gabriela Reckwerth
Rupert-Mayer-Straße 44
D-81359 München
Tel. (089) 722-25371
Fax (089) 722-45727
<http://www.siplace.com>

Autoren

Herr Bachmann, Herr Buchholz, Herr Dürr,
Herr Eggerer, Herr Geiger, Herr Herzberg,
Herr Krause, Herr Liegel, Herr Meßmer,
Herr Schiebel, Herr Wormuth.
Siemens AG

Der auszugsweise Nachdruck und der Nachdruck vollständiger Texte ist nur mit Einverständnis der Redaktion und der Autoren gestattet.

Inhaltsverzeichnis

1 Gestaltung elektronischer Baugruppen.....	1
1.1 Montagetechniken.....	1
1.2 Vorteile der SMT.....	1
1.3 Aufbauvarianten von elektronischen Baugruppen.....	3
1.4 Fertigungsablauf bei der Herstellung elektronischer Baugruppen.....	3
1.4.1 Durchsteckmontagetechnik.....	3
1.4.2 Oberflächenmontagetechnik.....	4
1.4.3 Mischtechnik.....	5
2 Bauformen und Gehäusetypen.....	9
2.1 Integrierte Schaltungen (IC´s).....	10
2.1.1 Fine Pitch.....	12
2.1.2 Dynamische Speicher.....	15
2.1.3 Flip-Chip.....	15
2.1.4 Bare Die.....	16
2.1.5 Ball-Grid-Array.....	16
2.2 Passive Komponenten.....	17
2.2.1 Diskrete Halbleiter.....	18
2.2.2 Trends bei passiven Bauelementen und Einzelhalbleiter.....	19
2.3 Sonderbauformen.....	19
2.4 Zusammenfassung.....	20
3 Leiterplatten.....	23
3.1 Leiterplattentechnologie.....	23
3.1.1 Gestaltung von Leiterplatten.....	23
3.1.2 Basismaterialien für Leiterplatten.....	24
3.1.3 Oberflächenausführungen von Leiterplatten.....	25
4 Fügeverfahren.....	27
4.1 Klebetechnologie.....	27
4.1.1 Klebstoffe.....	27
4.2 Lotpastenauftrag.....	29
4.2.1 Zusammensetzung der Lotpaste.....	30
4.2.2 No-Clean Pasten.....	32
4.2.3 Verfahren des Lotpastenauftrages.....	33
4.2.4 Schablonendruck-Verfahren.....	34
4.2.5 Metallschablonen.....	35

4.3	Lötverfahren	35
4.3.1	Wellen- oder Schwallöten	36
4.3.2	Reflowlötverfahren	38
4.3.3	Beidseitiges Reflowlöten	41
4.3.4	Reflowlöten unter Schutzgas	42
5	Bestückprozeß	43
5.1	Maschinenkonzepte	43
5.1.1	Einteilung nach Maschinenkonzepten	43
5.1.2	Einteilung nach Leistungskriterien	46
5.1.3	Pick & Place Systeme	46
5.1.4	Chip Shooter-Konzepte	47
5.1.5	Leistungsbetrachtung verschiedener Chip Shooter-Konzepte	54
5.2	Bauelementezuführung	56
5.2.1	Gegurtete Bauelemente	57
5.2.2	Schüttgut / Bulk Case	59
5.2.3	Stangenmagazine	60
5.2.4	Flächenmagazine	61
5.3	Bestückgenauigkeit	61
5.3.1	Bestückgenauigkeit, Positioniergenauigkeit und Wiederholgenauigkeit	61
5.3.2	Normalverteilung der Bestückgenauigkeit	62
5.3.3	Einflußfaktoren auf die Bestückgenauigkeit	64
5.3.4	Konstruktive Maßnahmen zur Steigerung der Bestückgenauigkeit	65
5.3.5	Vision-Systeme	67
5.3.6	Nachweis der Bestückgenauigkeit	71
5.3.7	Maschinenfähigkeits-Index	73
5.4	Bestückleistung	74
5.4.1	Definitionen zur Leistungsbeurteilung	74
5.4.2	Einfluß des Bestückinhalts	76
6	Liniensteuerung und Linienoptimierung	79
6.1	Grafische Oberfläche	79
6.1.1	Linienübergreifende Steuerung durch Leitreechner	82
6.2	Softwarearchitektur der Zukunft	84
6.2.1	Offene Schnittstellen für maximale Software-Flexibilität	84
6.2.2	Monitoring von Bestücksystemen im Jahr 2000	84
6.2.3	Programmieren oder Zaubern: Einsatz von Wizards bei der Leiterplattenprogrammierung	85
7	Bestückkosten	87
7.1	Ermittlung der festen Betriebskosten	88
7.2	Ermittlung der spezifischen Bestückkosten	88

7.3 Ermittlung der realen Bestückkosten.....	90
7.4 Wirtschaftlichkeit und Bestückerheit	91
7.5 Bestückkostenreduzierung durch Nebenzeitenreduzierung.....	92
7.5.1 Bestückerheit oder Transportsystem?	92
7.5.2 Vom Rüstautomat zum Bestückerheit	94
7.5.3 Tanken während der Fahrt	94
7.5.4 Modularität im Jahr 2000.....	95
Verzeichnis der Abkürzungen.....	97

1 Gestaltung elektronischer Baugruppen

Die Gestaltung sowie die Produktion elektronischer Baugruppen wird neben den funktionalen Anforderungen wesentlich von der wirtschaftlichen Machbarkeit geprägt. Die Entwicklung und Einführung der Leiterplatte vor mehr als drei Jahrzehnten schaffte eine wichtige Voraussetzung für die kostengünstige Realisierung komplexer elektronischer Schaltungen in Form von Baugruppen. Die Leiterplatten dienen dabei als Montageträger für die elektrischen und elektronischen Bauelemente und Bauteile und erfüllen zusätzlich mit den Leiterzügen die Aufgabe der elektrischen Verdrahtung der Komponenten.

1.1 Montagetechniken

Bis vor wenigen Jahren wurden in Kombination mit Leiterplatten ausschließlich Bauelemente in sogenannter Durchsteckmontagetechnik (Through Hole Technology – kurz: THT) verarbeitet. Die Leiterplatten sind für diese Technologie mit Bohrungen versehen, in die die Drahtanschlüsse der Bauelemente und Bauteile eingesteckt werden. Die elektrische und mechanische Verbindung dieser Anschlüsse mit den Leiterzügen erfolgt durch Wellenlötungen (Abb. 1-1).

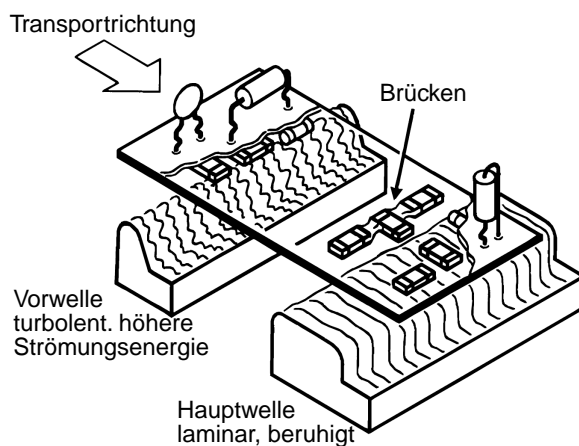


Abb. 1-1 Wellenlötungen

Aus der Hybridtechnik ist bereits seit vielen Jahren eine andere Gestaltungsvariante für elektronische Baugruppen bekannt. Bei dieser werden die Bauelemente flach auf das

Substrat montiert und die elektrischen Anschlüsse auf der Oberfläche mit den Leiterzügen verbunden. Diese flach auf der Oberfläche montierten Bauelemente werden als „Surface Mounted Devices“ – kurz: SMD – bezeichnet.

Diese Bauelementeausführung wird seit mehreren Jahren auch in Kombination mit Leiterplatten verwendet. Diese Technologie wird als „Surface Mount Technology“ – kurz SMT – bezeichnet. Als elektrische Anschlüsse der SMD dienen entweder metallisierte Flächen wie z. B. bei passiven Bauelementen, oder kurze Drahtanschlüsse, die flach auf der Leiterplatte aufliegen, z. B. bei integrierten Schaltkreisen. Die Leiterzüge auf den Leiterplatten werden zu diesem Zweck an den vorgesehenen Kontaktierungsstellen als spezielle Anschlußflächen gestaltet. Die Verbindung der Bauelementeanschlüsse mit diesen Anschlußflächen wird im allgemeinen durch Weichlötungen hergestellt (Abb. 1-2).

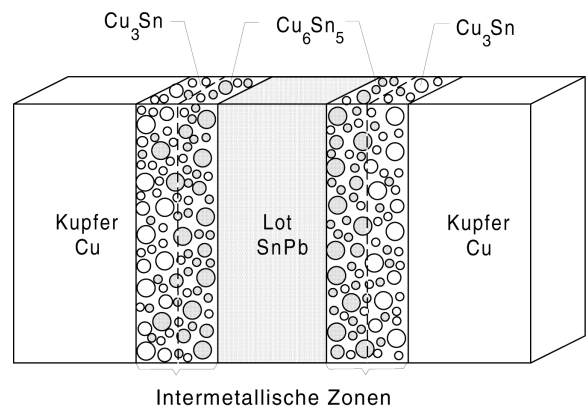


Abb. 1-2 Aufbau einer Weichlötverbindung

1.2 Vorteile der SMT

Die Verarbeitung von SMD in Kombination mit Leiterplatten hat gegenüber der Durchsteckmontagetechnik mehrere Vorteile. In SMD-Ausführung sind die Bauelemente deutlich kleiner als die entsprechenden Ausführungen für die THT. Dadurch sind erhebliche Reduzierungen der Baugruppenabmessungen bei gleichen Funktionsinhalten oder

die Realisierung von mehr Funktionen bei unveränderten Abmessungen möglich. Eine weitere Steigerung der Integrationsdichte ist durch die Möglichkeit der beidseitigen Belegung der Leiterplatten mit SMD erreichbar. Der Einsatz von SMD führt auch zu schaltungstechnischen und funktionalen Vorteilen bei elektronischen Baugruppen. Die reduzierten Abmessungen der Bauelemente und die dadurch ermöglichte höhere Packungsdichte verringern die Signallaufzeiten. Der Wegfall der langen Drahtanschlüsse verbessert die Eigenschaften von Hochfrequenz-Schaltungen.

Die Verarbeitung von SMD ist kostengünstiger als die von Bauelementen in Durchsteckmontage. Für die maschinelle Bestückung letzterer sind in Abhängigkeit von deren

Gehäuseformen verschiedene Automatentypen für axiale, radiale und DIP-Ausführungen erforderlich. Weiterhin ist bei manchen Automatentypen für passiven Bauelemente vorbereitend das Erstellen von Bestücksequenzen notwendig, bei denen verschiedene Bauelemente entsprechend der Bestückreihenfolge zu einem Gurt zusammengestellt werden. Ein nicht unerheblicher Anteil von Bauelementen und Bauteilen für die Durchsteckmontage kann nicht automatisch verarbeitet werden und muß deshalb von Hand bestückt werden. Dem gegenüber bietet die automatische SMD-Bestückung deutliche Vorteile.

Die konsequente Nutzung der SMT ermöglicht gegenüber der THT eine Kostenreduzierung um 30 % und mehr (Abb. 1-3).

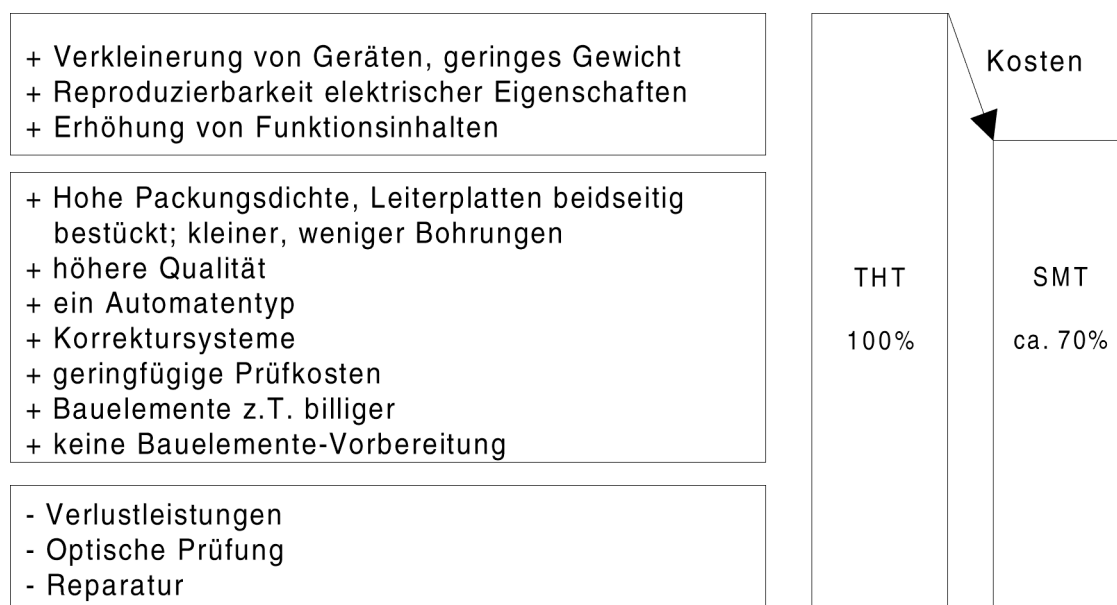


Abb. 1-3 Kostenreduzierung durch SMD-Einsatz

Die mit der SMT bei elektronischen Baugruppen erreichbare hohe Packungs- und Integrationsdichte wird u.U. begrenzt durch den Anstieg der Verlustleistung der Schaltungen infolge der verstärkten Erwärmung. Weiterhin werden die theoretischen Miniaturisierungsmöglichkeiten eingeschränkt durch Randbe-

dingungen, z. B. für die Beschaffenheitsprüfung der Lötstellen, für den elektrischen Test der Baugruppen sowie für eventuell erforderliche Reparaturen fehlerhafter Schaltungen. Ein weiterer Faktor ist die Leiterbahnführung, die einer weiteren Steigerung der Packungsdichte entgegensteht.

1.3 Aufbauvarianten von elektronischen Baugruppen

Die Entwicklung der Baugruppenfertigung war in den letzten Jahren geprägt vom Wechsel von der Durchstecktechnik (THT) zur Oberflächenmontagetechnik (SMT). Dieser Prozeß ist weitestgehend vollzogen, auch wenn in manchen Teilbereichen – aus Preisgründen speziell in der Konsumgüterindustrie – noch THT-Bauelemente eingesetzt werden.

Die Durchsteck- und die Oberflächenmontage sowie deren Kombination lassen eine Reihe unterschiedlicher Belegungsmöglichkeiten der Leiterplatten zu. Die Abb. 1-4 zeigt schematisch die möglichen Aufbauvarianten. Die jeweilige Wahl der Aufbauvariante hängt im wesentlichen von dem Verhältnis der mit THT und SMT zu verarbeitenden Bauelemente und Bauteile ab.

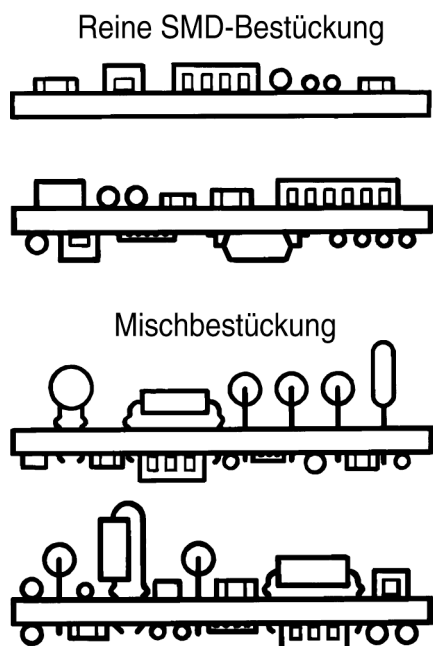


Abb. 1-4 Mögliche Aufbauvarianten bei SMT

SMD-Baugruppen können einseitig oder beidseitig bestückt werden. Die nur einseitige Anordnung der SMD erfordert zwar einen höheren Flächenbedarf, vereinfacht aber den Fertigungsablauf. Bei einer beidseitigen Belegung einer Leiterplatte mit SMD besteht die Möglichkeit, entweder beide Seiten bei der Baugruppenfertigung nacheinander abzuarbeiten oder aber zuerst die Baugruppe komplett, d.h. beidseitig zu bestücken und anschließend in einem Arbeitsgang zu löten. Bei der Komplettbearbeitung wird zur

Erhöhung der Prozeßsicherheit eine Fixierung der Bauelemente mit Hilfe eines Montageklebers auf der zuerst bestückten Leiterplattenseite vorgenommen. Werden beide Seiten nacheinander abgearbeitet ist in der Regel kein zusätzlicher Klebstoff zur Bauelementfixierung notwendig.

Die Mischbestückung ist aus fertigungstechnischer Sicht die aufwendigste Aufbauvariante elektronischer Baugruppen. Auch hier ist eine Kombination der Durchsteckmontagetechnik mit einseitiger oder mit beidseitiger SMD-Belegung möglich. Da das Löten von Bauelementen in Durchsteckmontage mittels Schwallötverfahren erfolgt, können auf der sogenannten Lötseite der Baugruppe nur solche SMD angeordnet werden, die für das Eintauchen des Bauelementkörpers in flüssiges Lot geeignet sind. Dies trifft in der Regel z. B. für passive Bauelemente sowie IC mit geringer Anschlußzahl zu.

1.4 Fertigungsablauf bei der Herstellung elektronischer Baugruppen

1.4.1 Durchsteckmontagetechnik

Bei der Durchsteckmontage erfolgt die Bestückung der Leiterplatten entweder von Hand oder mit Bestückautomaten. Das Handbestücken erfordert als Bauteilvorbereitung das Biegen und Schneiden der Anschlußdrähte auf Länge. Für das automatische Bestücken ist bei passiven Bauelementen die Erstellung einer Bestücksequenz notwendig. Die gegurtert angelieferten Bauelemente werden dazu gemäß der für die Bestückung geplanten Reihenfolge herausgetrennt und zu einer Sequenz wieder gegurtert zusammengestellt. Dies bedeutet, daß bei einem Bestückfehler dieses Bauelement später von Hand nachgesetzt werden muß, da jedes benötigte Bauelement pro Baugruppe in der Bestücksequenz nur einmal vorhanden ist. Zum Bestücken werden die Bauelemente aus dem Gurt geschnitten, die Anschlußdrähte gebogen und in die Bohrungen der Leiterplatte gesteckt sowie auf der Rückseite der Leiterplatte abgebogen. Dieses Abbiegen der Anschlußdrähte stellt sicher, daß die

bestückten Bauelemente während der weiteren Verarbeitungsschritte an ihren Positionen fixiert bleiben. Die verschiedenen Bauformen der Bauelemente für die Durchsteckmontage erfordern den Einsatz unterschiedlicher Bestückautomaten für axiale und radiale Bauformen sowie IC in DIP-Gehäusen. Die Montage sogenannter Exoten – z. B. Spulen, Stecker, Relais – ist mit diesen Automaten nicht möglich. Sie erfolgt im allgemeinen von Hand oder bei großen Stückzahlen mit speziell dafür entwickelten Sondermaschinen.

Als Lötverfahren für Baugruppen in Durchsteckmontagetechnik hat sich bei Serienfertigungen das Wellenlöten durchgesetzt. In diesen Lötanlagen ist der Flußmittelauftrag integriert. Durch das Flußmittel wird eine ein-

wandfreie Benetzung der Lötanschlüsse mit dem flüssigem Lot sichergestellt. Das Flußmittel wird vor dem Löten vorgetrocknet und gleichzeitig die Leiterplatte vorgewärmt. Der anschließende Lötprozeß – der Kontakt der Leiterplattenunterseite mit der Lotwelle – stellt die elektrische und mechanische Verbindung der Bauelementanschlüsse mit den Leiterzügen her.

Sofern auf den Baugruppen Bauelemente in Stecksockeln eingesetzt werden, erfolgt anschließend deren Montage.

Die Abb. 1-5 zeigt schematisch den Fertigungsablauf für die Herstellung elektronischer Baugruppen in Durchsteckmontagetechnik.

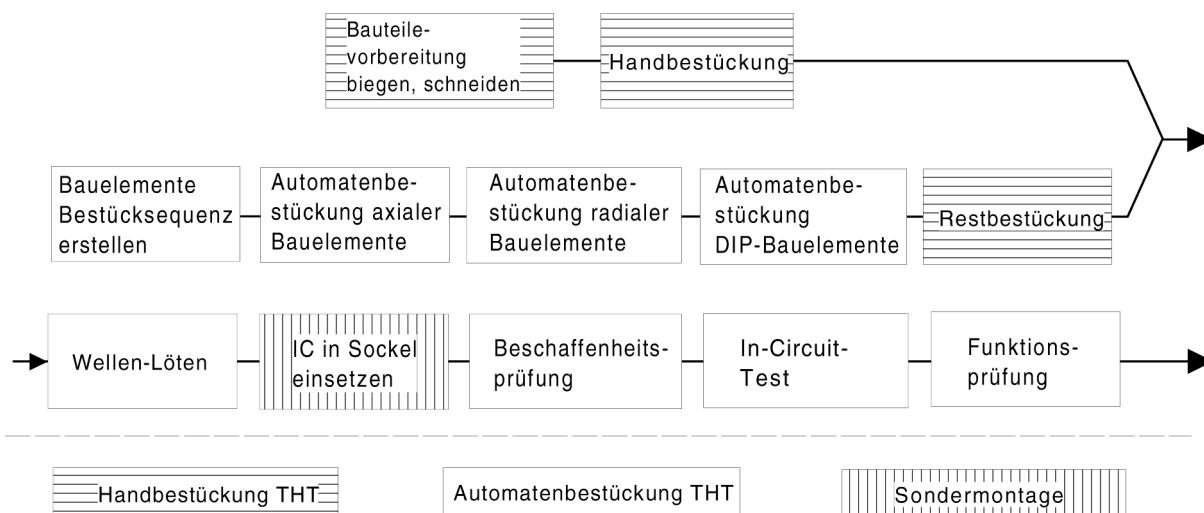


Abb. 1-5 Fertigungsschritte bei Durchsteckmontagetechnik; Gegenüberstellung Handbestückung – automatische Bestückung

1.4.2 Oberflächenmontagetechnik

Die Herstellung von Baugruppen ausschließlich in Oberflächenmontagetechnik ist mit einseitiger oder mit beidseitiger Anordnung der Bauelemente und Bauteile auf den Leiterplatten möglich.

Einseitige Bestückung

Der erste Fertigungsschritt ist der Auftrag von Lotpaste auf die Leiterplatten. Als Verfahren wird hierfür der Siebdruck oder der Schablonendruck eingesetzt. Das anschließende Bestücken der Bauelemente erfolgt in der

Regel mit einem Automatentyp, der nach dem „Pick & Place“ – oder dem „Collect & Place“– Verfahren arbeitet und universell für das gesamte Bauelementespektrum eingesetzt wird. Bei diesem Verfahren wird jeweils ein Bauelement aufgenommen und anschließend bestückt. Die Bauelemente können im angelieferten Zustand verarbeitet werden, eine Bauelementevorbereitung ist nicht notwendig. Mit dem anschließenden Reflowlöten ist der Herstellungsprozeß der Baugruppen bereits abgeschlossen. Als Reflowlötverfahren werden in den Großserienfertigungen das Infrarotlöten oder, vereinzelt, das Dampfphasenlöten eingesetzt.

Beidseitige Bestückung

Die konsequente Nutzung der Surface Mount Technology hinsichtlich Packungs- und Integrationsdichte erfordert die Anordnung von SMD auf beiden Seiten der Baugruppen. Dabei ist zu beachten, daß eine Reihe oberflächenmontierbarer Bauelemente von den Herstellern bisher nur für eine einmalige Löt-wärmebelastung qualifiziert sind.

Eine sequentielle Fertigung beider Leiterplat-tenseiten nacheinander läßt deshalb die Anordnung derartiger Bauelemente nur auf der im zweiten Fertigungsdurchlauf verarbei-teten Baugruppenseite zu. Sofern eine derar-tige Beschränkung nicht möglich ist, müssen die einzelnen Fertigungsschritte so kombi-niert werden, daß abschließend ein beidseitiges Löten in einem Arbeitsgang erfolgt.

Die Herstellung der Baugruppen beginnt dann mit dem Lotpastenauftrag auf beiden Leiterplattenseiten. Für die Bedruckung der zweiten Leiterplattenseite wird als Leiterplat-tenaufnahme ein Drucknest verwendet, wel-ches entsprechend der im ersten Arbeits-gang bedruckten Flächen Freiräume aufweist. Zur Fixierung der später „über Kopf“ zu lötenen Bauelemente und Bauteile werden auf einer Leiterplattenseite Montage-klebepunkte im Dispensverfahren aufge-bracht. Nach der Bestückung der Bauele-

mente wird die Klebeverbindung der ersten Seite ausgehärtet.

Die nächsten Fertigungsschritte sind die Bestückung der zweiten Baugruppenseite und die anschließende beidseitige Reflowlö-tung.

Die sequentielle Fertigung beider Baugrup-penseiten läßt prinzipiell auch den Einsatz von zwei unterschiedlichen Lötverfahren zu, sofern die Bauelemente für das jeweilige Löt-verfahren geeignet sind.

Wenn für die B-Seite das Wellenlöten als Löt-verfahren eingesetzt wird, muß im ersten Fer-tigungsschritt der Montagekleber auf die Lei-terplatte aufgebracht werden. Als Verfahren hierfür wird das Dispensverfahren ange-wandt. Die weiteren Fertigungsschritte sind Bestücken, Kleber aushärten und abschlie-ßend das Wellenlöten.

Erfolgt das Löten der B-Seite ebenfalls mit einem Reflowlötverfahren, beginnt der Ferti-gungsprozeß mit dem Lotpastenauftrag. Der Montagekleber kann anschließend nur durch Dispensen aufgetragen werden. Wiederum schließen sich die Schritte Bestücken und Kleberaushärten an. Das Reflowlöten schließt den Fertigungsablauf der B-Seite ab.

Die Fertigungsschritte und -abläufe für die Baugruppenproduktion mit der Surface Mount Technology sind in Abb. 1-6 zusam-mengefaßt.

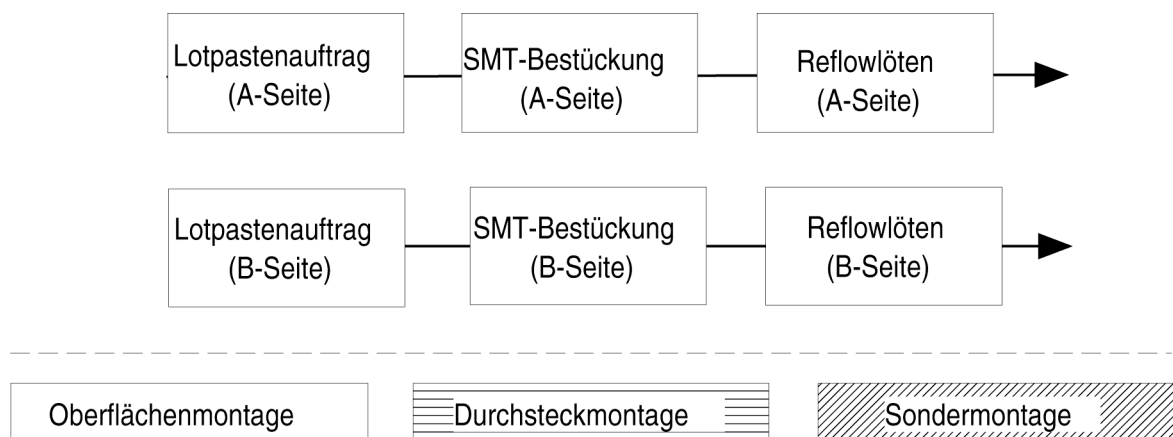


Abb. 1-6 Fertigungsablauf bei reinen SMD-Baugruppen

1.4.3 Mischtechnik

Die Herstellung von Baugruppen in Misch-technik – d. h. der Kombination von Durch-

steckmontage und Oberflächenmontage – erfordert die Abstimmung der Fertigungsver-fahren und -schritte so aufeinander, daß die

Realisierung der gesamten Baugruppe nicht eingeschränkt wird. Das Bestücken der Durchsteckbauelemente kann z. B. nicht vor dem Lotpastendruck erfolgen. Auf Grund der unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten bei der Belegung der beiden Baugruppenseiten ergeben sich verschiedene Varianten der Fertigungsabläufe.

Mischtechnik, SMD nur auf der Schwallseite

Die Baugruppenmontage beginnt mit automatischer Bestückung der Durchsteckbauelemente in radial-, axial- und DIP-Ausführung. Anschließend wird die Baugruppe gewendet und auf der Lötseite werden die Montageklebepunkte für die Fixierung der SMD aufgetragen. Die weiteren Fertigungsschritte sind das Bestücken der SMD und das Aushärten der Klebepunkte. Vor dem Wellenlöten erfolgt jedoch noch die Restbestückung der Durchsteckbauelemente von Hand. Der Flußmittelauftrag und das

Schwallöten schließen den Fertigungsprozeß ab.

Mischtechnik, SMD nur auf der Bestückseite

Diese Aufbauvariante erfordert den Einsatz unterschiedlicher Lötverfahren für die Bauelemente in Durchsteckmontage und die SMD. Die gesamte Baugruppenfertigung ist die Aneinanderreihung der Verfahrenskette für die Herstellung von Baugruppen mit einseitiger SMD-Belegung und anschließend der Prozeßkette für die Durchsteckmontagetechnik.

Mischtechnik, beidseitige Baugruppenbelegung mit SMD

Diese Aufbauvariante ist für die Fertigung die aufwendigste Prozeßreihenfolge der Baugruppenherstellung. Die Reihenfolge der einzelnen Fertigungsschritte ist in Abb. 1-7 beschrieben.

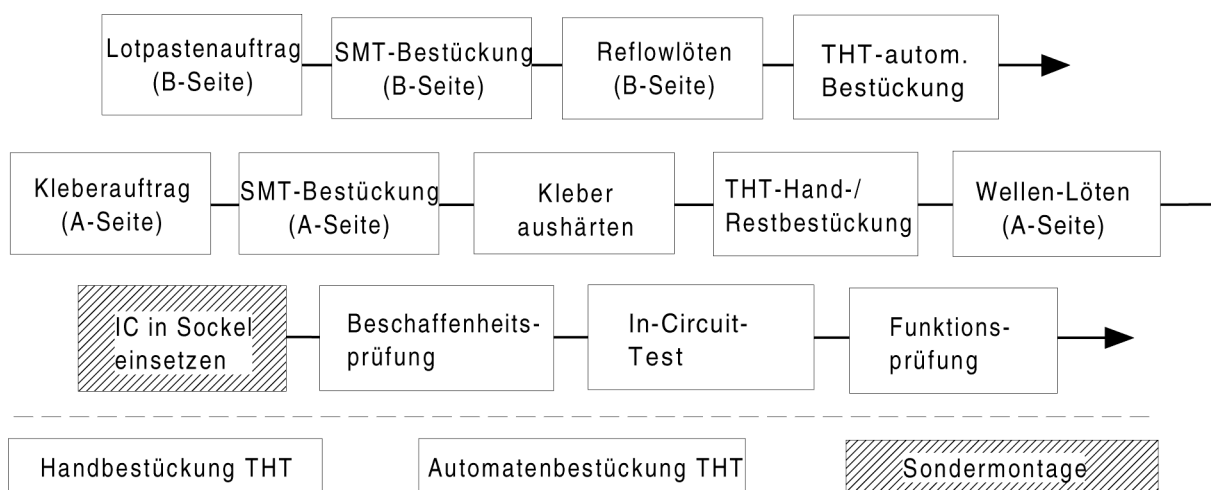


Abb. 1-7 Fertigungsablauf bei mischbestückten Baugruppen

Der steigende Anteil von SMD auf den Baugruppen – insbesondere bei Neuentwicklungen – führt mittelfristig dazu, daß Baugruppen mit einem Anteil von weniger als 10 % an Bauteilen in Durchsteckmontagetechnik herzustellen sind. In diesem Fall ist abzuwägen, ob auf die automatische Bestückung der Durchsteckbauelemente vollständig verzichtet werden kann. Gleichzeitig sollte in diesen

Fällen auch abgeschätzt werden, ob statt des Schwallötens der kompletten Baugruppenunterseite z. B. ein Einzellöten dieser Anschlüsse wirtschaftlicher ist. Dadurch kann die Baugruppe in einem ersten Schritt wie eine ausschließlich mit SMD belegte Baugruppe hergestellt werden. Eine Einschränkung bei der Belegung der beiden Baugruppenseiten mit SMD – resultierend

aus den unterschiedlichen Lötverfahren für beide Seiten – entfällt bei dieser Fertigungsvariante.
Die Fertigungsschritte und -abläufe für die

bei der Mischtechnik möglichen Varianten und Variationen sind in Abb. 1-7 zusammengefaßt.

2 Bauformen und Gehäusetypen

Die steigenden Anforderungen, die an Elektroniksysteme gestellt werden, sowie die wachsende Leistungsfähigkeit, insbesondere von ICs, führen dazu, daß die einzelnen Verbindungstechniken der Packaginghierarchie Chip – Gehäuse – Baugruppe – System einen immer größeren Stellenwert erlangen. Besondere Bedeutung erhält die Gehäuse-thematik als Schnittstelle zwischen dem Bauelementehersteller und Verarbeiter. Ständig wachsende Integrationsdichten, feinere Strukturen, größere Chipflächen, steigende Anschlußzahlen und Frequenzen erfordern neue Gehäusetypen, um die zunehmende Leistungsfähigkeit der Chips besser nutzen und optimal auf die FBG übertragen zu können.

Der Verarbeiter elektronischer Bauelemente wird aus diesem Grunde mit einer ständig wachsenden Vielfalt an Gehäusen hinsichtlich Pinzahl, Anschlußraster und Gehäuseabmessungen konfrontiert. Er sollte die Auswahl der Bauelemente nicht nur auf den Halbleiter-Chip, sondern auch auf das

Gehäuse und damit auf die spätere Verarbeitung beziehen, um die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses sicherzustellen.

SMD-Gehäuse (Surface Mounted Device) haben gegenüber herkömmlichen Steckgehäusen folgende Vorteile: Geringere Bauhöhe, höhere Packungsdichte, rationelle Bestückungsmöglichkeit von Leiterplatten-Vorder- und Rückseite, geringeres Gewicht sowie hohe Qualität und Zuverlässigkeit der gesamten Flachbaugruppe (FBG). Deshalb stellen SMD-Gehäuse bei den ICs inzwischen den größten Marktanteil.

Waren anfangs nur Widerstände, kleine Kondensatoren, Kleinsignaltransistoren und Standard-ICs in SMD-Ausführung erhältlich, so reicht heute das Bauelementespektrum von Steckerleisten über Tantal- und Elektrolytkondensatoren zu hochpoligen ICs in Fine Pitch Gehäusen. Je nach Gehäusotyp und Anwendungsfall kommen verschiedene Anschlußformen zum Einsatz (Abb. 2-1).

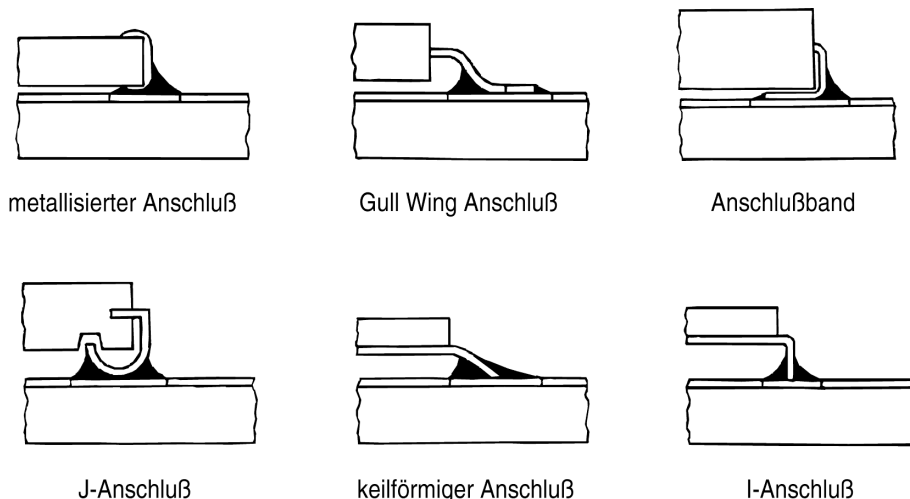


Abb. 2-1 Verschiedene Anschlußformen bei SMD Bauelementen. Keilförmige und I-Anschlüsse haben noch keine praktische Bedeutung erlangt.

Bei kleinen passiven Bauelementen im Chip-Gehäuse werden metallisierte Anschlüsse verwendet. Tantalkondensatoren besitzen

sogenannte Anschlußbänder. Bei ICs finden vorwiegend Gull Wing und J-Anschlußformen Verwendung.

2.1 Integrierte Schaltungen (IC's)

Der Gehäusetrend der den Halbleitermarkt bestimmenden Schaltungen ist geprägt durch die zunehmende Veränderung der einzelnen Gehäusefamilien hin zu höheren Anschlußzahlen, feineren Abständen zwischen den Anschlüssen (Lead Pitch) und geringeren Gehäusedicken.

Wie auch bei den Steckbauformen ist der hauptsächliche Marktanteil von den Plastikgehäusen geprägt, vornehmlich von P-

SO, P-LCC, P-QFP, SOD und SOT. Bei den Keramik Bauformen sind es überwiegend C-LCC, C-Flat-Pack und C-PGA.

Infolge des technologischen Wandels im Bereich der Flachbaugruppen-Fertigung von der Steck- zur SMD-Technik besteht steigender Bedarf an oberflächenmontierbaren Gehäusen. Marktforschungsunternehmen prognostizieren „nur noch“ ein Wachstum von 11% p.a. bei SMD's (Abb. 2-2), dem ein dramatischer Rückgang bei den Steckgehäusen von 22% p.a. gegenüber steht. Das deutet darauf hin, daß der technologische Wandel schon sehr weit fortgeschritten ist.

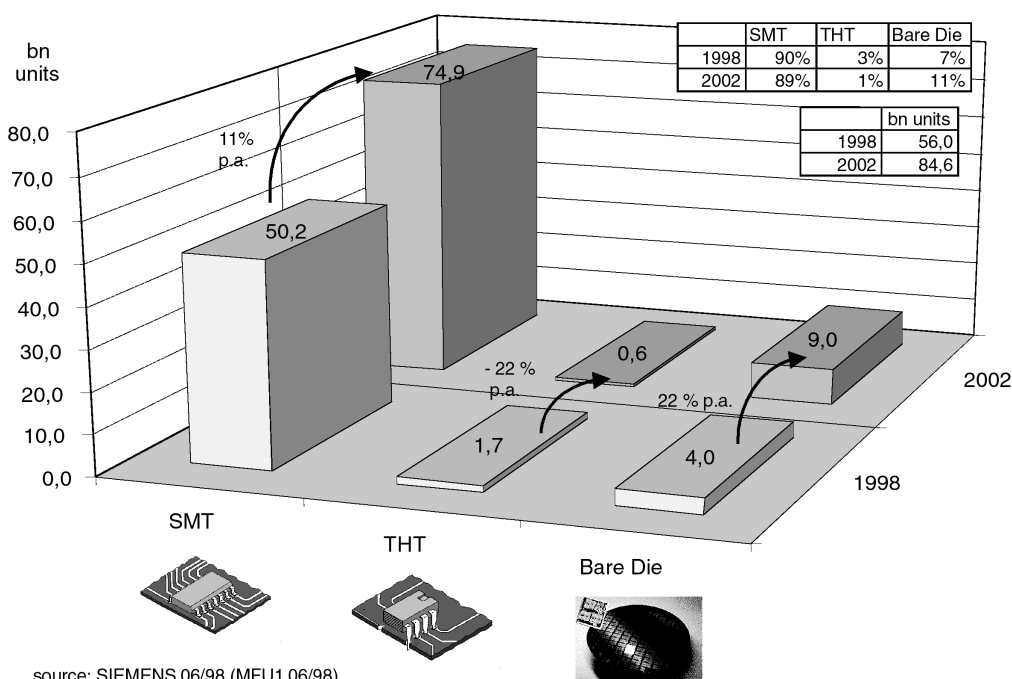


Abb. 2-2 Stückzahlprognose der weltweit verarbeiteten IC's. Die Absolute Zunahme der Gesamtstückzahl ist stark von der wirtschaftlichen Entwicklung abhängig und kann deutlich niedriger ausfallen.

- Vornehmlich haben die SO-Gehäuse die DIP-Bauformen abgelöst. Auch innerhalb der SMD-Gehäusefamilien ändert sich die Struktur:
- P-LCC-Gehäuse werden zunehmend durch neue, hochpolige SO- und niedrigpolige P-QFP-Gehäuse abgelöst. Hauptgründe hierfür sind, neben dem größeren Platzbedarf von P-LCC-Gehäusen auf der Flachbaugruppe, Inspektionsprobleme der Lötstellen als Folge der J-Beinchenbiegung unter dem Plastikkörper an allen vier Gehäuseseiten.
- Während sich die P-LCC-Gehäuse auch seitens der Standardisierung nicht mehr weiterentwickeln, diversifizieren sich die P-SO- und P-QFP-Gehäusefamilien in Unterfamilien mit feineren Anschlußrastern, dünneren Gehäusen, vielfältigeren Gehäusegeometrien und größeren Pinbereichen.
- Diese innovativen Gehäuse bieten die Möglichkeit, die hohe Leistungsfähigkeit moderner ICs besser auf die Flachbaugruppen übertragen zu können.

Neben den angesprochenen beiden klassischen Gehäusefamilien existieren für „Bare Chips“, also ungehäuste Chips, sogenannte High Density Interconnect-Verbindungstechniken (HDI), wie Tape Automated Bonding (TAB), Chip on Board (COB) und Flip Chip (FC), die im Vergleich zur Standard Die- und Wire-Bond-Technik noch höhere Packungsdichten auf der Flachbaugruppe ermöglichen. Ihr Einsatzbereich soll nach Marktforschungsprognosen schon seit Jahren ansteigen. Diese Prognosen waren jedoch zu optimistisch und wurden von Jahr zu Jahr nach unten korrigiert. Gründe dafür sind, daß Ultraflachgehäuse wie P-TSOP oder Thin P-QFP und P-SO in Standardgehäusetechnik in vielen Anwendungsfällen eine Alternative sind, insbesondere gegenüber den Direktverbindungstechniken wie COB und Flip Chip. Sowohl Halbleiterhersteller als auch Anwender der Standardgehäusetechnik können bestehende Verarbeitungsverfahren weiter anwenden. Die Anwender von COB- und Flip Chip-Techniken müssen über ein ähnliches Fertigungs-Equipment und Know-how wie Halbleiterhersteller verfügen. Selbst Produkte, bei denen extrem geringe Abmessungen wichtig sind, wie z.B. tragbare TV-Geräte, CD-Player,

Camcorder und Memory-Karten, enthalten heute vornehmlich TSOP und Thin P-QFP-Gehäuse.

Nach einer Prognose von Dataquest wird sich die IC-Gehäusestruktur wesentlich ändern. Weltweit sollen bereits 1998 rund 90% aller ICs als SMD ausgeführt sein und 2002 wird der Anteil der Steckgehäuse nur noch wenige Prozent betragen. Der „Bare Die“-Anteil soll von 7% auf 11% zunehmen (Abb. 2-2).

Die Gehäusethematik bei ICs gewinnt immer mehr an Bedeutung, einerseits für den Halbleiterhersteller durch die komplexer werden Chips, andererseits in stärkerem Maße für den Anwender durch weiterzuentwickelnde Verarbeitungstechniken.

Innerhalb der SMD-Gehäuse vollzieht sich ein struktureller Wandel, der dadurch gekennzeichnet ist, daß die PLCC-Gehäuse zunehmend durch höherpolige SO- und niederpolige QFP-Gehäuse abgelöst werden (Abb. 2-3). Neben dem größeren Platzbedarf von PLCCs auf der Leiterplatte als Folge des konservativen Pitchrasters von 1,27 mm sind Inspektionsprobleme der Lötstellen – bedingt durch die J-Beinchenbiegung – der Hauptgrund für diese Ablösung.

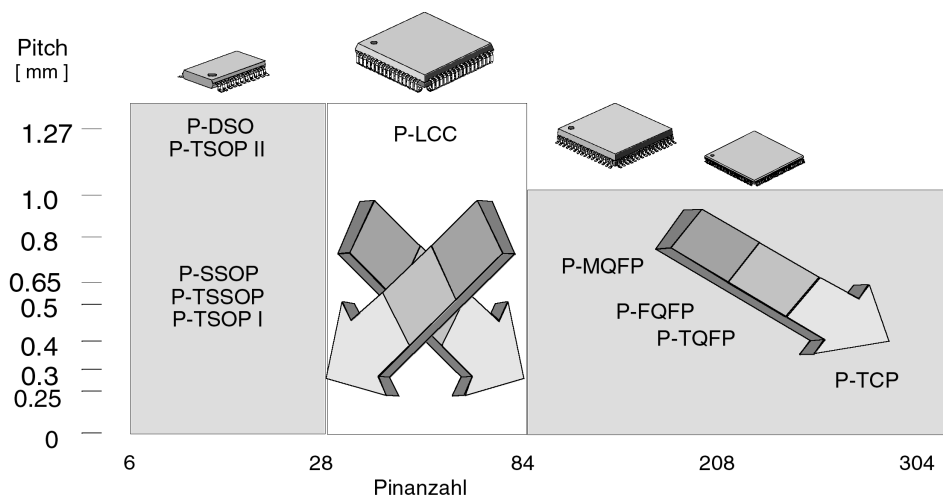


Abb. 2-3 Trends bei IC-Gehäusen. Die PLCC-Gehäuse werden durch höherpolige SO- und niederpolige QFP-Gehäuse verdrängt.

Die SO- und QFP-Gehäuse diversifizieren sich in weitere Unterfamilien und ermöglichen es, die Leistungsfähigkeit der Chips durch feinere Pitchraster, einen größeren

Pinbereich, dünnere Gehäuse und unterschiedliche Gehäusegeometrien besser auf die Leiterplatte übertragen zu können.

Rasters weniger verbreitet, ganz wenige Verarbeiter verwenden Gehäuse mit einem Pitch von 0,4 mm.

Das Hauptproblem beim Verarbeiten von Fine-Pitch-Gehäusen mit einem Raster > 0,5 mm ist, das Verbiegung der filigranen Anschlüsse während des Handling-Prozesses beim Halbleiterhersteller wie auch beim Verarbeiter auszuschließen. An die Koplana-rität der Anschlüsse werden immer höhere Anforderungen gestellt. Bereits ein verbogener Anschluß führt zum elektrischen Ausfall. Eine weitere Rolle spielt die Verwölbung der Leiterplatte am Einbauplatz und deren Oberflächenqualität. Die Lösung dieses Problems vollzieht sich regional unterschiedlich.

In Japan herrscht der Trend vor, FQFPs wie die Standardvertreter mit größerem Anschlußraster dem Kunden geschützt in einem Gurt und bei hochpoligen ICs, die in kleinerer Stückzahl gefertigt werden, meist im Tray anzubieten. Der bevorzugte Entwicklungspfad ist es, Chip und Rastermaß zu verkleinern und das Gehäuse nicht zu vergrößern. Die Schnittstelle IC-Hersteller / Verarbeiter soll mit dem Ziel der Verfeinerung der vertrauten und wirtschaftlichen Standard-SMT-Prozesse auf vorhandenem Equipment beibehalten werden.

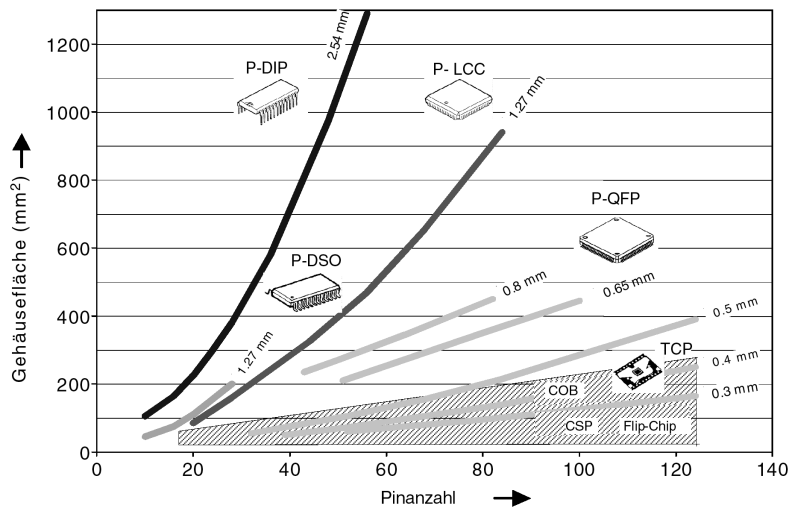


Abb. 2-5 Zusammenhang zwischen Pinzahl und Gehäusefläche bei verschiedenen Gehäusefamilien.

Vor einigen Jahren versuchte man die Problematik der Fine-Pitch-Verarbeitung durch den Einsatz von MCR's (Molded Carrier Ring) zu entschärfen. Der Plastik- IC ist dabei in einen Schutzrahmen aus Plastik eingegossen. Dadurch sind diese Bauelemente hinsichtlich der Robustheit der Anschlußstruktur beim Transport und dem sonstigen Handling den QFP's weit überlegen.

Probleme ergaben sich jedoch nach dem Ausschneiden aus dem Schutzrahmen, da eingefrorene mechanische Spannungen zu unkontrollierten Verschiebungen der Beinchen führten. Durch die vorgegebene Abfolge der Prozeßschritte – IC-Freischneiden und anschließendes Beinchenformen – kann es beim Biegeprozeß der nur einseitig

fixierten Anschlußbeinchen zu einem dramatischen Anstieg der Verschiebungen kommen.

Unabhängig von diesen hohen technischen Risiken treten bei MCR-Modulen auch Preis bzw. Kostenprobleme auf, da sich bei geringen Stückzahlen die Herstellungskosten schon im sechsstelligen Bereich bewegen. Daher konnte diese Bauform die in sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllen.

Ein ähnliches Bild bietet sich bei der Betrachtung der TAB-Technik. Bei diesem Verfahren wird eine Komplettkontaktierung des Bauelements mit Hilfe vorgefertigter Anschlußstrukturen vorgenommen, d.h. alle Anschlüsse werden in einem Kontaktiervorgang gleichzeitig verbunden. Die Erzeugung der

Anschlußformen erfolgt wie bei den MCR-Bauelementen durch Ausschneiden aus dem Träger und Beinchenformen. Da bei der Herstellung der TAB's kein Moldprozeß zum Einsatz kommt, sind diese Verfahrensschritte als bei weitem nicht so kritisch einzustufen. Trotzdem sind die TAB's wegen der zu schlechten Koplanarität der Beinchen in der konventionellen SMD-Massenfertigungstechnik nicht einsetzbar, was sich auf die Verarbeitung bezüglich der Kosten sehr negativ auswirkt. Daher ist in Europa ein Durchbruch dieser Technik auch weiterhin nicht in Sicht.

Standardisierung

Die Standardisierung der QFP-Gehäuse vollzog sich weltweit sehr unterschiedlich und spiegelt den regionalen Stand der Gehäuse- und Verarbeitungstechnik wider.

In den letzten Jahren wurde die Zusammenarbeit der für die Gehäusestandardisierung zuständigen wichtigsten Normungsgremien EIAJ (Japan) und JEDEC (USA) intensiviert, wobei sich JEDEC an das metrische, durch EIAJ vorgegebene Maß anpaßte und deren

generellen, maßgeblich durch die Konsumelektronik und tragbare Datentechnik bestimmten Standardisierungstrends folgt, die durch metrische Maße, feinere Pitchraster, kürzere Anschlußbeinchen, niedrigere Bodenabstände und dünnere Gehäuse gekennzeichnet sind (Abb. 2-6).

In den USA wurden 1987 die bumped QFPs (BQFP) mit 0,635 mm (Inchmaß) Pitchraster standardisiert. Die Bumpers hatten den Zweck, die filigranen Anschlußbeinchen nach dem Formvorgang vor Verbiegungen während der einzelnen Fertigungsschritte beim Halbleiterhersteller und Verarbeiter zu schützen. Diese aufwendige Schutzmaßnahme hatte ursprünglich ihre Berechtigung, zumal die BQFPs zunächst in Schienen als Funktionsverpackung bis zum Bestücken beim Verarbeiter gehandhabt wurden. Durch die Fixierung des Anschlußrasters auf 0,635 mm wurden die Anforderungen an die Verarbeitung beim Kunden nahezu konstant gehalten. Unterschiedlichen Chipapplikationen bzgl. der Pinzahl mußte durch Änderung der Gehäuseabmessungen Rechnung getragen werden.

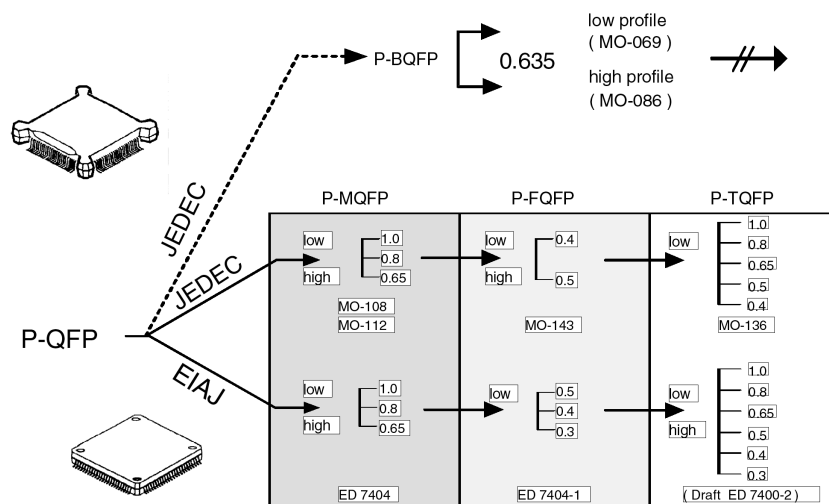


Abb. 2-6 Standardisierung der QFP-Gehäusefamilie.

Das EIAJ-Gehäusekonzept für QFPs sieht die Variation des Anschlußrasters (metrisch) und eine feineren Rastern angepaßte Verarbeitungstechnik vor. So kann nur mit einem teuren Moldwerkzeug ein großer Pinbereich abgedeckt werden.

Auch wenn stückzahlmäßig die Masse aller ICs unter 100 Pins liegt, wird sich der Trend zu hochpoligen Bauformen, forciert durch die Weiterentwicklung von ASICs, Gate Arrays und Mikroprozessoren, weiter fortsetzen (Abb. 2-7).

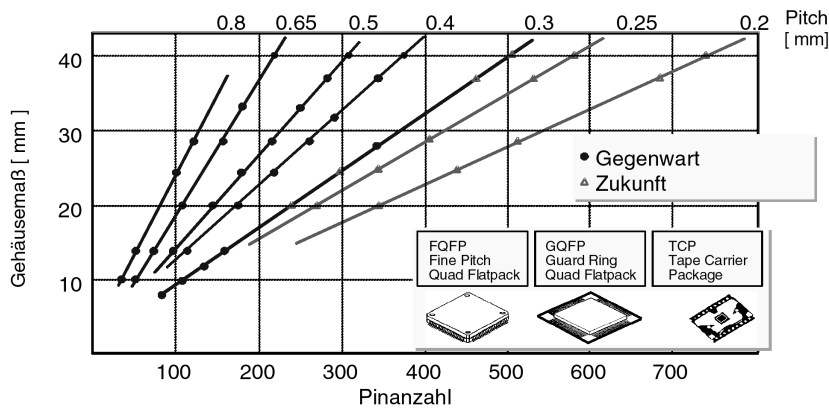


Abb. 2-7 Zusammenhang zwischen Pinzahl, Rastermaß (Pitch) und Gehäuseabmessungen. Der Trend zu höheren Pinzahlen führt in Zukunft notwendigerweise zu weiter abnehmenden Rastermaßen.

2.1.2 Dynamische Speicher

Dynamische Speicher stellen nicht nur die Technologielokomotive für die CMOS-Technik dar, sondern maßgeblich auch für die Ultraflach-Gehäusetechnik.

Ähnlich dem generellen Miniaturisierungstrend, vollzieht sich die Gehäuseentwicklung bei DRAMs in Richtung SMD und Erhöhung der Packungsdichte.

Gegenwärtig werden TSOP-Gehäuse mit 1,0 mm Plastikkörperdicke für die neuesten Speichergenerationen auf dem Markt eingeführt. Beim Übergang von der Ultraflach- in die Paper-thin-Gehäusetechnik mit nur noch 0,5 mm Gesamtdicke wird das Wire-Bonden durch TAB ersetzt.

TSOP-Gehäuse bleiben jedoch nicht allein Speicherchips vorbehalten, sondern werden auch verstärkt in anderen Applikationsgebieten eingesetzt.

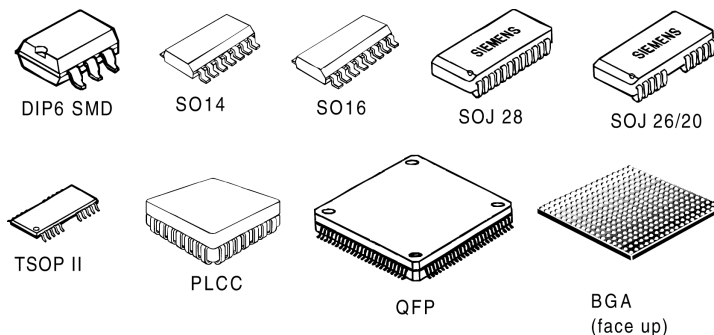


Abb. 2-8 Verschiedene Gehäusetypen für IC's.

Bei ICs gibt es eine Vielzahl an Gehäusefamilien (Abb. 2-8) DIP-Gehäuse (Dual Inline Package) mit speziellen Anschlußbeinen, die die Oberflächenmontage ermöglichen, werden beispielsweise bei DIL-Schaltern eingesetzt. Die Bauformen SO (Small Outline) und SOJ (Small Outline mit J-Anschluß) werden bei Standard-ICs und Speicherbausteinen verwendet.

2.1.3 Flip-Chip

Ein weiteres Verfahren zur Montage ungehäuseter Chips ist die sogenannte Flip-Chip-Technik. Hierbei sind die Anschlüsse flächig über die gesamte Chipfläche verteilt und werden durch Wärmezufuhr aufgeschmolzen. Hierbei sind hohe Packungsdichten und Verarbeitungsgeschwindigkeiten erreichbar. Durch die enge Verwandtschaft zur Standard-SMD-Technik sind weiterhin große Kosteneinsparungen möglich.

Die Verbindung Chip-Substrat kann entweder durch die konventionelle Reflow-Technik oder den klassischen C4-Prozeß (Controlled Collapse Chip Connection) erfolgen. Eine Variationsmöglichkeit stellt die Verbindung mit elektrischen Leitklebern dar, die sich bei der Verwendung bleihaltiger Lote ergebende Problematik entschärfen kann und außerdem eine gegenüber dem Reflow-Verfahren deutlich reduzierte Temperaturbelastung bietet. Bei der Verarbeitung von LCD's mit Flip-Chip muß das Leitkleben zum Einsatz kommen, da die zulässigen Temperaturbelastung dieser Bauelemente weit unter den Temperaturen beim Reflow-Löten bzw. beim Klebstoff-aushärten liegt.

Nachteilig bei der Flip-Chip-Technik sind hauptsächlich das Erreichen der geforderten Zuverlässigkeit mit minimalem Fertigungs- und Materialaufwand und die sich aus dieser Technik ergebenden verschärften Anforderungen an die Leiterplatten- und Bestücktechnik. Bei der Verwendung von FR4 oder ähnlichen Substratmaterialien kann es durch die verschiedenen Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Leiterplatte und Bauelement zu Spannungen in der Verbindung kommen. Schlimmstenfalls kann die Verbindung dadurch zerstört oder zumindest die Lebensdauer deutlich herabgesetzt werden. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Zuverlässigkeit ist daher ein Underfilling erforderlich, bei dem Epoxy-Material – im Dispensverfahren aufgetragen – den Spalt zwischen Bauteil und Substrat vollständig ausfüllt. Dieser Füllstoff nimmt dann den größten Teil der Spannungen auf. Für die Fertigung bedeutet dies jedoch einen zusätzlichen Verfahrensschritt. Zudem ist eine Reparatur nach dem Aushärten des Füllstoffes nicht mehr möglich.

2.1.4 Bare Die

Bei der „Bare Die“-Technologie wird ein ungehäuter Chip auf die Leiterplatte geklebt. Nach dem Aushärten werden die Kontakte (Anschlußpad) auf der Oberseite des Bauelements mit den Kontaktflächen (Anschlußpad) auf der Leiterplatte durch dünne Drähte verbunden. Dabei werden die Drähte mit hoher Frequenz aufgeschmolzen.

Um die feinen Drähte vor mechanischen Einflüssen zu schützen, werden diese anschließend mit einem Kleber übergossen.

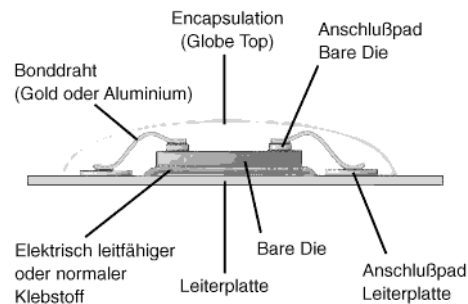


Abb. 2-9 Bare Die auf Leiterplatte

Die Prognosen der letzten Jahre, über die Zuwächse von Bare Die waren zu optimistisch. Nun geht man von einem Anstieg des Marktanteils von momentan 7% auf 11% im Jahr 2002 aus (Abb. 2-2).

Dem geringen Platzverbrauch steht ein aufwendiger Transport der empfindlichen Bauteile und ein aufwendiger Bestückprozeß entgegen.

2.1.5 Ball-Grid-Array

Seit einiger Zeit sorgt jedoch eine neue Gehäuseform für Aufmerksamkeit: Ball-Grid-Arrays, abgekürzt BGA (Abb. 2-10). Diese Bauform ist dadurch gekennzeichnet, daß die nötigen elektrische Verbindung zur Leiterbahn nicht mehr über Anschlußbeinchen, sondern über in einem Array auf der Bauteilunterseite angebrachte Lotkugeln, sogenannte Balls, realisiert wird. Die Anschlußraster betragen 1,0 mm; 1,27 mm und 1,5 mm. Die Entwicklungen für diese neue Bauform laufen rasant. So werden zunehmend die Gehäusedicken reduziert, daß man heute bei 1,2 mm (Super-BGA) angelangt ist.

Die sich aus dieser Bauform ergebenden Vorteile sind offensichtlich:

Durch die flächige Anordnung der Balls ist ein günstigeres Verhältnis zwischen Anschlußzahl und Gehäusegröße zu erreichen. So hat bei gleichen Außenabmessungen ein BGA mit 1 mm Raster 900 Anschlüsse, ein P-QFP mit 0,5 mm Raster nur 208 Anschlüsse. Da die Verbindung über die Balls hergestellt wird, ist das Problem mit verbogenen Anschlußbeinchen gelöst. Auch die Koplanaritätsprobleme sind größtenteils beseitigt. Daher liegen die Lötfehlerraten bei

BGA's im Durchschnitt um den Faktor 10 niedriger als beim QFP's. Eine in diesem Zusammenhang typische Fehlerrate liegt bei 5 dpm.

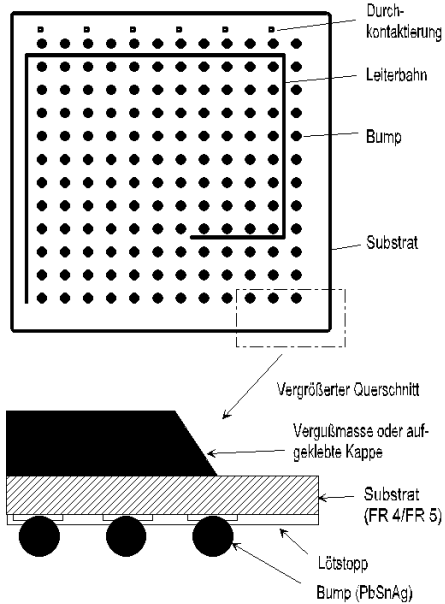


Abb. 2-10 Ball-Grid-Array

Ein durch die Oberflächenspannung des aufgeschmolzenen Lotes bewirkter, ausgeprägter Selbstzentrierungseffekt des Bauteiles in Verbindung mit den relativ großen Balls bzw. Leiterplattenpads reduziert die Genauigkeitsanforderungen auf den Bereich 0,2 bis 0,3 mm.

Des weiteren wird durch reduzierte Induktivitäten und Kapazitäten eine bessere elektrische Leistungsfähigkeit erreicht. Außerdem kann es mit dem vorhandenen Equipment verarbeitet werden.

Die verschiedenen zum Einsatz kommenden BGA-Varianten weisen deutliche Unterschiede in ihren Eigenschaften auf.

- Plastic-BGA's (PBGA) besitzen Balls, die im naheutektischen Bereich liegen.
- Die Ceramic-BGA's (CBGA) besitzen gegenüber den PBGA's eine verbesserte elektrische und thermische Performance, eine geringere Feuchteempfindlichkeit sowie eine höhere Koplanarität. Ihre hochaufschmelzenden Balls verhindern jedoch

eine Selbstzentrierung und sind durch den hohen Bleigehalt weich und damit anfällig gegen Beschädigungen.

- Beim Tape-Grid-Array (TBGA), das sich durch eine äußerst geringe Einbauhöhe und sehr gute elektrische und thermische Eigenschaften auszeichnet, wird der Selbstzentrierungseffekt ebenfalls durch hochschmelzende Pb90Sn10-Balls verhindert.

Der Schritt zum Anschlußraster von 0,4 mm wird in der Elektronikfertigung außerhalb Japans allseits als große Schwierigkeitssteigerung angesehen. Die zuverlässige Verarbeitung des Rastermaßes 0,3 mm ist durchaus als Quantensprung zu bezeichnen. Es gibt Anzeichen, daß man selbst in Japan sich langsam von den bisher angestrebten Super-Fine-Pitch-QFPs mit Raster 0,3 mm entfernt, und die Anstrengungen auf die zuverlässige Verarbeitung von BGAs und Flip-Chips fokussiert.

2.2 Passive Komponenten

Die passiven Komponenten waren ursprünglich die ersten Bauelemente überhaupt in SMT (Surface Mount Technology), beginnend mit den Chip-Widerständen und den Keramik-Kondensatoren.

Bei passiven Bauelementen dominiert das quaderförmige Chip-Gehäuse (Abb. 2-11), das die zylindrische MELF-Bauform teilweise verdrängt hat. Tantal- und Elektrolytkondensatoren, HF-Drosseln und andere passive Bauelemente besitzen häufig spezielle Gehäuseformen.

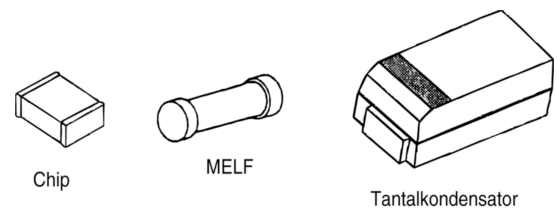


Abb. 2-11 Wichtige Gehäusetypen bei passiven Bauelementen.

2.2.1 Diskrete Halbleiter

Anfang der 70er Jahre wurde die erste SMD-Bauform – SOT 23 – auf den Markt gebracht. Diese Bauform wurde weltweit die Basis der SMD's und Vorbild für alle weiteren Bauformen (Abb. 2-12). Produktionsverfahren, Meßtechnik und Bestückungstechniken wurden in den 80er Jahren dieser Bauform derart angepaßt, daß heute eine wirtschaftliche Produktion von Einzelhalbleitern und die Weiterentwicklung nur in Verbindung mit der SMT-Technologie möglich ist.

Die Forderung der Anwender nach höherer elektrischer Leistung und höheren Frequenzen wurde mit der Einführung von neuen Gehäusetypen erfüllt. Mit der von Siemens entwickelten Bauform MW 4 werden beispielsweise Arbeitsfrequenzen bis 12 GHz erreicht. Die Verringerung der parasitären Einflüsse, Variation der Anschlüsse sowie Verkleinerung der Bauform und Verbesserung der elektrischen Leistungsfähigkeit sind weitere Entwicklungsaufgaben, sind weitere Entwicklungsaufgaben, die in den 90er Jahren bewältigt werden müssen.

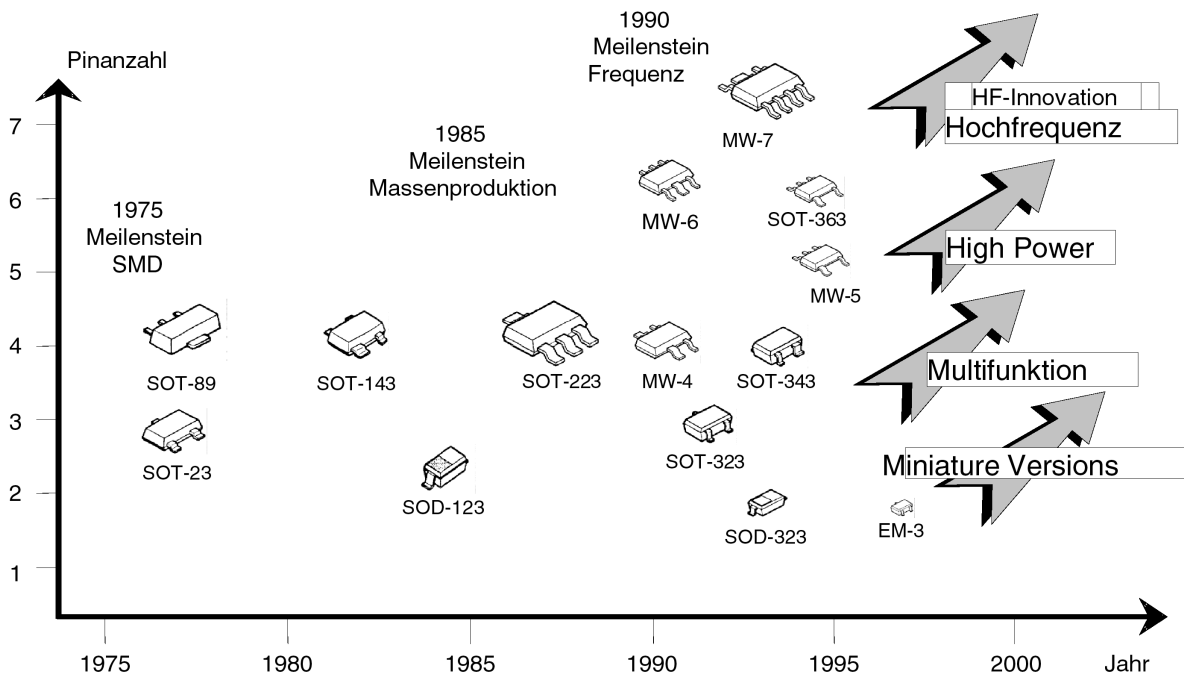


Abb. 2-12 Die Weiterentwicklung bei den Gehäusen für diskrete Halbleiter ist geprägt durch höhere elektrische Leistung, höhere Arbeitsfrequenzen und kleinere Abmessungen.

- Neben dem Trend zu höherer elektrischer Leistung, der zu größeren Gehäusen führt, gibt es bei den diskreten Halbleitern gleichzeitig die Tendenz zur Miniaturisierung.
- Bei diskreten Halbleitern ist die Bauform SOT 23 (Small Outline Transistor) schon seit vielen Jahren im Einsatz (Abb. 2-13). SOD 123 ist die entsprechende Bauform für Kleinsignaldioden. Inzwischen kamen neue Gehäusetypen für höhere Leistungen und mit kleineren Abmessungen

dazu. In Japan wurde auf Basis der Bauform SOT 23 das MINI SOT Gehäuse entwickelt, das sich durch einen auf etwa die Hälfte reduzierten Platzbedarf auszeichnet.

Die Bauform TO 220 SMD (eine andere Bezeichnung ist D²PAK) ersetzt beispielsweise die TO 220 Gehäuse in bedrahteter Technik. Auch für Frequenzen im Hochfrequenzbereich wurden spezielle Gehäuseformen entwickelt.

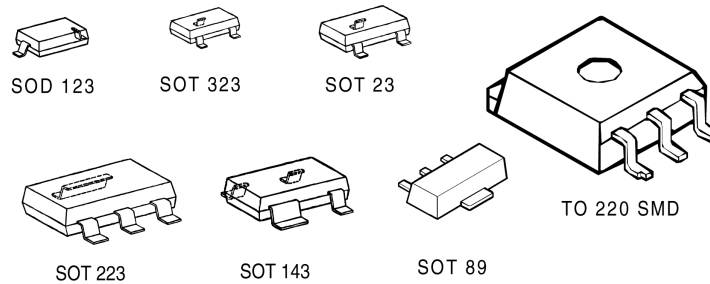


Abb. 2-13 SMD-Gehäusetypen für diskrete Halbleiterbauelemente (Dioden und Transistoren). Auch Bauelemente mit hoher elektrischer Verlustleistung sind in SMD-Gehäusen erhältlich.

2.2.2 Trends bei passiven Bauelementen und Einzelhalbleiter

Stand der Technik in Europa sind die Bauformen 0805 (2,0 mm x 1,2 mm) und 0603 (1,6 mm x 0,8 mm). Der Einstieg in die Verarbeitung der Bauform 0402 (1,0 mm x 0,5 mm) hat mit einem Anteil von ca. 10% begonnen, die wie bei den fine pitch Gehäusen eine Herausforderung für den Verarbeitungsprozeß darstellt.

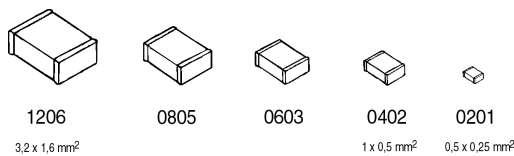


Abb. 2-14 Maßstäbliche Größendarstellung der Chip-Bauformen. Auch hier geht der Trend zu kleineren Abmessungen. Ein Widerstand oder Kondensator der Größe 0201 benötigt nur noch 2,5% der Fläche eines 1206-Bauelements.

In Japan ist dagegen in weit verbreitetem Einsatz die Bauform 0402. Man redet hier heute bereits über 0201 (0,5 mm x 0,25 mm). Die Einführung dieser Bauformgeneration bedeutet aber eine völlig neue Technik bei der Verarbeitung, so daß hier sicher noch erhebliche Ingenieurleistung vor der Einführung in den Markt zu erbringen ist. Trotzdem sind für dieses Jahr die ersten Produkte angekündigt.

Vorteile der kleineren Bauformen sind:

- geringerer Platzbedarf
- verbesserte Hochfrequenz-Eigenschaften (geringere parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten)
- größere mechanische Belastbarkeit (bei Erschütterungen)

- geringere Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen

Gleichzeitig müssen aber einige Nachteile in Kauf genommen werden. So ist die elektrische Belastbarkeit geringer, an den Bestückprozeß werden höhere Anforderungen gestellt und Lötprobleme – insbesondere der Tombstone-Effekt – können zunehmen.

2.3 Sonderbauformen

Bauelemente in Sonderbauformen benötigen Sonderpipetten, Greifersysteme oder die Bauteile müssen vor der Bestückung mit Bestückhilfen versehen werden.

All diese Lösungen haben aber Nachteile:

- Sonderpipetten können keine Standardbauteile aufnehmen. So können z.B. bei einem Revolverkopf mit 12 Pipetten nur noch 11 Pipetten Standardbauteile bestücken. Die Bestückleistung wird geringer.
- Greifersystem haben bei weitem nicht die Bestückleistung wie Pipetten. Außerdem benötigen die Greifer auf der Leiterplatte neben dem Sonderbauteil Platz.
- Bestückhilfen, die auf der Oberfläche glatt sind, werden meist in oder auf das Sonderbauelement gesteckt oder geklebt. Somit können diese Bauelemente mit einer Standardpipette aufgenommen werden. Allerdings müssen die Bestückhilfen und deren Aufstecken bezahlt werden. Nach dem Bestückprozeß muß sie entfernt werden.

, wie z.B. Steckerleisten,

2.4 Zusammenfassung

Die wichtigsten Technologielokomotiven für neue Gehäuseentwicklungen mit großer Marktdurchdringung sind Speicherprodukte, Mikroprozessoren mit ihrer Peripherie, ICs für die Kommunikationstechnik sowie ASICs. Die Ultraflachgehäusetechnik wurde maßgeblich für Speicherprodukte, insbesondere DRAMs, entwickelt und auf andere Anwendungsbereiche übertragen. Entsprechend dem generellen Trend vollzog sich die Gehäuseentwicklung bei DRAMs in Richtung einer Reduzierung von Volumen, d.h. geringerer Einbauhöhe, Körperdicke und Gewicht. Gegenwärtig sind für die neuesten Speicherprodukte Ultraflachgehäuse mit einer Einbauhöhe von nur 1 mm in den Markt eingeführt, Entwicklungen für Gehäusedicken mit 0,7 und 0,8 mm wurden begonnen. Für künftige DRAM-Generationen wie 16, 64 und 256Mbit wird eine Dominanz von TSOP II-Gehäusen prognostiziert. TSOP-Gehäuse müssen jedoch nicht allein den Speicherchips vorbehalten bleiben, sondern können zunehmend auch in anderen Applikationen eingesetzt werden.

Der Trend zu hochpoligen Bauformen wird forciert durch die Weiterentwicklung bei applikationsspezifischen ICs, Gate Arrays und Mikrocontrollern bzw. -prozessoren. Größte Marktchancen werden für metrische P-QFP-Gehäuse prognostiziert, deren maximale Pinzahl von derzeit 376 in den nächsten Jahren ausgeweitet wird.

Für die Zukunft sind drei Entwicklungsrichtungen vorgezeichnet, die eine zunehmende Diversifizierung der Verarbeitungstechniken und Gehäusearten zur Folge haben und das Packaging anwendungs- und damit kundenspezifischer gestalten:

- Das „High-Pin-Count Packaging“ als Folge der zunehmenden Funktionskomplexität der Chips, insbesondere bei ASICs.
- Das „System Packaging“, bei dem der Gesamtkomplex – bestehend aus Chip, Gehäuse und Flachbaugruppe – einer optimalen, integralen Lösung zugeführt wird.
- Das „Paper-thin Packaging“ als konsequente Weiterentwicklung der Ultraflachgehäusetechnik.

Neben der Standardgehäusetechnik, d.h. Die/Wire-Bonden auf Metall-Leadframe und anschließendem Umhüllen mit der Preßmasse (Transfermold-Prozeß) existieren eine Reihe weiterer Verbindungstechniken. So lassen sich mit COB- und Flip Chip-Technologie die Packungsdichten auf den Leiterplatten verdoppeln oder gar verdreifachen. Bei der Flip Chip Technik unterscheidet man zwischen Flip Chip in Package (FCIP) und Flip Chip on Board (FCOB). Während FCOBs bereits in speziellen Produkten zum Einsatz kommen, geht man heute verstärkt dazu über, den Flip Chip in BGA- oder CSP-Gehäusen zu montieren (FCIP). Mit dieser Variante steht dem Anwender ein vollgeprüftes Bauelement, das sich mit Standard-SMT-Prozessen verarbeiten läßt, zur Verfügung. Andererseits erreicht der IC in seinen elektrischen Eigenschaften – wesentlich kürzere Anschlüsse durch Ersatz der Bonddrähte – annähernd die des Flip Chips.

Obwohl direkte Verbindungsverfahren die bestehende Diskrepanz zwischen den Chip- und Leiterbahnenstrukturen auf der Flachbaugruppe minimieren, hemmen die Problematik des Known Good Die (KGD), schwierig kontrollierbarer Underfill Prozeß, Aushärten und Reinraumbedingung die Massenanwendung der Bare Die. Aufgrund dieser Nachteile bleibt die heute vorhandene Eintrittsbarriere für Massenanwendungen noch immer aufrechterhalten. Abhilfe schafft hier die CSP-Technik, weil sie die positiven Eigenschaften der Flip Chip-Technik mit SMT-kompatibler Verarbeitung vereint.

Da CSP-Gehäuse die heute für viele Applikationen geforderten Eigenschaften im Hinblick auf Performance und Miniaturisierung erfüllen, werden sie in den nächsten drei bis fünf Jahren einen Teil der QFP-, SO- und BGA-Bauformen ersetzen. Bedingt durch die weiter steigenden Anforderungen einerseits und andererseits durch die Entwicklung kostengünstiger und reproduzierbarer Flip Chip-Fertigungen werden sich die direkten Verbindungsverfahren auf lange Sicht als Standardtechnik durchsetzen.

Größere Marktchancen haben Produkte, die nicht allein innovative Chiptechnologien haben, sondern auch eine zukunftsweisende Gehäusetechnik und Verarbeitungstechnologie aufweisen. Die zunehmende

Produktvielfalt, die immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen und die rascher aufeinanderfolgenden Technologiewechsel machen die Ausrichtung auf strategisch wichtige Gehäusefamilien und Verbindungstechniken zunehmend bedeutsamer. Stärker als in der Vergangenheit müssen deshalb die

Halbleiterhersteller und -anwender an der Schnittstelle – dem Gehäuse – intensiv zusammenarbeiten, um den richtigen technologischen Entwicklungspfad zu finden, der zur kostengünstigsten und damit wettbewerbsstärksten Systemlösung führt.

3 Leiterplatten

3.1 Leiterplattentechnologie

Die Entwicklung der Leiterplatten resultiert aus der Idee, elektrische Bauelemente und Bauteile auf einem nicht leitenden Trägermaterial zu montieren und für die funktionale elektrische Verbindung dieses Trägermaterial mit Leiterzügen zu versehen. Erste Patentanmeldungen zur Realisierung dieser Idee wurden bereits im Jahre 1925 eingereicht.

3.1.1 Gestaltung von Leiterplatten

- Als Leiterplatten werden heute im allgemeinen starre und ebene Schaltungsträger bezeichnet. Sie werden seit mehr als drei Jahrzehnten eingesetzt, wobei je nach Anordnung der Leiterzüge zwischen folgenden Ausführungen unterschieden wird:
- einseitige Leiterplatte
- doppelseitige Leiterplatte
- Mehrlagenleiterplatte (Multilayer)

Bei der einseitigen Leiterplatte werden die Leiterzüge nur auf einer Seite des Trägermaterials angeordnet. Die für die Montage von Durchsteckbauelementen benötigten Bohrungen können zur Verbesserung der Verbindung von Bauelementeanschluß und Leiterplatte metallisiert sein (Abb. 3-1).



Abb. 3-1 Starre, einseitige kupferkaschierte Leiterplatte mit Durchverkupferung

Die doppelseitige Leiterplatte nutzt beide Seiten zur elektrischen Verknüpfung der Bauelemente, so daß sich der Platzbedarf für die Schaltung deutlich reduziert. Die elektrische Verbindung zwischen den Leiterzügen auf beiden Seiten erfolgt über Durchkontaktierungen (Abb. 3-2).

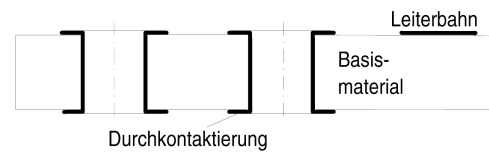


Abb. 3-2 Starre, zweiseitige kupferkaschierte Leiterplatte mit Durchverkupferung

Die steigenden elektrischen und somit auch schaltungstechnischen Anforderungen an neue elektronische Geräte - z. B. Reduzierung der Leiterbahnlänge zur Verkürzung von Signallaufzeiten - sowie die Forderungen nach höherer Integration haben zur Entwicklung von Mehrlagenleiterplatten geführt. Bei diesen werden zusätzliche Schaltungsebenen im Innern der Leiterplatte realisiert. Dies geschieht durch eine Anordnung mehrerer dünner Leiterplatten übereinander. Die elektrische Verbindung der verschiedenen Leitungslagen erfolgt ebenfalls über Durchkontaktierungen (Abb. 3-3).

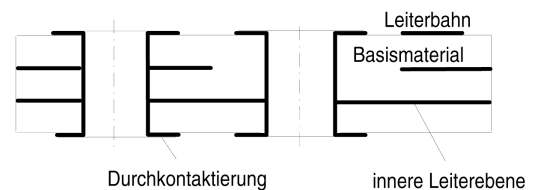


Abb. 3-3 Mehrlagenleiterplatte

Da die Herstellkosten für Leiterplatten mit der Zahl der Innenlagen stark ansteigen, muß der Minimierung der Lagenzahl bei der Entflechtung der Schaltung eine hohe Priorität eingeräumt werden. Typische Mehrlagenleiterplatten weisen heute 4-6 Innenlagen auf. Die äußeren Abmessungen und Formen von Leiterplatten werden oftmals durch den Platz bestimmt, der für den Einbau einer Schaltung in der gerätetechnischen Einheit vorhanden ist. Für die Herstellung elektronischer Baugruppen ist jedoch ein einheitliches Leiterplattenformat vorteilhaft, da bei den meisten Fertigungsschritten die Leiterplatten an ihrer äußeren Kontur aufgenommen werden.

Durch die Zusammenfassung mehrerer kleinerer Leiterplatten zu einem großen Standardformat, welches nach dem Fertigungsprozeß der Baugruppen erst vereinzelt wird, ist eine Vereinheitlichung möglich. Der Vorteil dieser Nutzenfertigung besteht z. B. darin, daß der Leiterplattentransport nicht auf unterschiedliche Breiten umgestellt werden muß. Der Fertigungsdurchsatz steigt somit an.

- Die Einteilung von Leiterplatten wird teilweise auch unter geometrischen Gesichtspunkten vorgenommen. Die Kriterien hierfür sind im wesentlichen
- Leiterbahnbreite
- Leiterbahnabstand
- Reststringbreite.

Für den Einsatz in der Surface Mount Technology sind zunehmend feinere Leiterstrukturen von Bedeutung. Die steigende Anwendung von Fine Pitch-IC's stellt auch erhöhte Anforderungen an das Leiterbild und dessen Präzision.

Neben den starren Leiterplatten werden für spezielle Anforderungen auch flexible Schaltungsträger eingesetzt. Diese ermöglichen die einfache elektrische Verknüpfung von Komponenten, deren Lötanschlüsse in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind.

Spritzgegossene dreidimensionale Bauteile mit integrierter Leiterstruktur (Molded Interconnection Device - kurz: MID) sind eine weitere Variante für die Verbindung und Montage elektrischer und elektronischer Bauelemente. Bei diesen wird z. B. das Gehäuse eines Gerätes gleichzeitig als Leiterbahnträger verwendet, so daß der Einsatz einer zusätzlichen Leiterplatte entfallen kann.

Der größte Teil elektronischer Baugruppen mit SMD wird heute mit starren Leiterplatten realisiert. Die weiteren Ausführungen beschränken sich deshalb ausschließlich darauf.

3.1.2 Basismaterialien für Leiterplatten

Als Trägermaterial für Leiterplatten - dem sogenannten Basismaterial - werden Schichtpreßstoffe verwendet. Diese sind einseitig oder beidseitig mit einer Kupferschichtung versehen. Entscheidend für die Auswahl der Basismaterialien sind dessen

elektrische-, thermische- sowie verarbeitungstechnische Eigenschaften. DIN IEC 249 enthält die Anforderungen an Basismaterialien für gedruckte Schaltungen.

Die isolierende Wirkung des Basismaterials hängt von seinem elektrischen Widerstand ab. Ebenso sind die dielektrischen Eigenschaften für die elektrischen Schaltungen von Bedeutung. Weitere wichtige Eigenschaften sind Wärmeausdehnung, Wölbung und Verwindung. Da es sich bei vielen Basismaterialien um Verbundwerkstoffe handelt, ist die Ausdehnung vom Materialtyp abhängig. Die gebräuchlichsten Basismaterialien sind heute:

- Phenolharz - Hartpapier (z. B. FR 2)
- Epoxidharz - Hartpapier (z. B. FR 3)
- Epoxidharz - Glashartgewebe (z. B. FR 4)

Das Haupteinsatzgebiet für Phenolharz-Hartpapier ist der Bereich der Unterhaltungselektronik. Dem günstigen Preis steht als Nachteil vor allem die starke Verformung bei Erwärmung gegenüber. Die Lötwärmebelastung führt insbesondere bei größeren Leiterplatten zu extremer Durchbiegung, so daß eine Unterstützung notwendig ist.

Für den Einsatz von Epoxidharzhartpapier spricht die deutlich bessere thermische Stabilität sowie die besseren elektrischen Eigenschaften. Es ist allerdings teurer als Phenolharzhartpapier.

Leiterplatten aus Epoxidharz-Glashartgewebe werden vor allem für Produkte der Industrieelektronik verwendet. Die Gründe hierfür sind vergleichsweise gute Dimensionsstabilität bei Erwärmung sowie die besseren Festigkeitswerte und elektrischen Eigenschaften.

Stellen die elektronischen Baugruppen und ihre Einsatzgebiete nochmals höhere Anforderungen an die Basismaterialien, werden z.B. Polyimidharz-Glashartgewebe verwendet oder das Glashartgewebe durch Quarzmatten oder Kevlarfasern ersetzt. Dadurch wird die thermische Beständigkeit der Leiterplatten nochmals deutlich gesteigert.

3.1.3 Oberflächenausführungen von Leiterplatten

- An die Endoberfläche von Leiterplatten werden in der Regel zwei grundsätzliche Anforderungen gestellt:
- gute Benetzungsfähigkeit der Lötflächen für die Bauelemente, auch nach längerer Lagerung der Leiterplatte
- Abdeckung der Leiterbahnen zur Vermeidung von Kurzschlüssen und Korrosion.

Letztere Forderung wird durch Aufbringen einer Folie oder eines Lackes erreicht, wobei die Lötanschlüsse ausgespart bleiben.

Zur Gewährleistung einer guten Benetzungsfähigkeit können verschiedene Wege beschrieben werden. Die gebräuchlichste Variante ist die Beschichtung der Cu-Oberfläche der Leiterplatte nach dem Strukturieren der Leiterzüge und dem Abdecken der Leiterbahnen mit Zinn oder einer Zinn-Blei-Legierung.

- Als Verfahren hierfür werden eingesetzt:
- Heißverzinnung
- galvanische oder chemische Verzinnung
- Lotpastendruck mit anschließendem Umschmelzen

Die Verarbeitung von Leiterplatten mit blanken Kupferflächen ist eine Alternative, die vor allem aus Kostengründen erwogen wird. Zur Sicherstellung einer einwandfreien Lötbarkeit ist jedoch eine Aktivierung der Lötflächen unmittelbar vor der Baugruppenherstellung unumgänglich, da sich bereits nach kurzer Lagerzeit (>> eine Woche) eine Oxidschicht bildet, die eine Lötung verhindert.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die blanken Kupferflächen mit einem Schutzlack zu überziehen. Dieser stellt die Lötbarkeit und Benetzungsfähigkeit sicher und wird durch das Flußmittel bei Erreichen der Löttemperatur aufgeweicht.

Die Weiterentwicklung der Baugruppentechologie kann verstärkt zur Verarbeitung ungehäuster IC's auf Leiterplatten führen. Sofern diese Bare Chips durch Drahtbonden mit den Leiterzügen verbunden werden sollen, ist eine Leiterplattenoberfläche in Nickel-Gold notwendig. Diese Oberfläche zeichnet sich durch Bondbarkeit und gute Lötbarkeit aus.

Unterschieden werden muß zwischen der bekannten Vergoldung mit einer Schichtdicke von 3 – 5 µm und der Flash-Vergoldung. Diese sich zur Zeit in umfassender Erprobung befindliche dünn-schichtige Oberflächenausführung benötigt eine um den Faktor 10 geringere Schichtdicke als beim herkömmlichen Verfahren. Die Flash-Gold-Oberfläche wird bereits kostenneutral zur heißverzinnten Oberflächenausführung, in Abhängigkeit von der Stückzahl, angeboten.

Die Anforderungen der Surface Mount Technology haben zu Varianten der Lötanschlussoberflächen mit Massiv-Lotdepot geführt, die z.B. unter den Bezeichnungen OPTIPAD® oder SIPAD® bekannt sind. Dabei wird ein erhöhtes Lotangebot bereits vom Leiterplattenhersteller erzeugt. Das Anwendungsgebiet beschränkt sich vorzugsweise auf kleine Losgrößen.

4 Fügeverfahren

4.1 Klebetechnologie

Im Kapitel 1 „Gestaltung elektronischer Baugruppen“ wurden die verschiedenen Aufbauvarianten von SMD-Baugruppen beschrieben. Die Vielfalt der gegebenen Möglichkeiten reicht von einer einseitigen Belegung mit SMD bis zur Mischbestückung mit bedrahteten Bauelementen und beidseitig aufgesetzten SMD.

Abhängig von diesen Aufbauvarianten und den angewandten Lötverfahren, müssen bestimmte SMD's vor dem Lötprozeß durch Kleben auf der Leiterplatte fixiert werden.

Dieses Fixieren ist bei Einsatz des Schwallötens Voraussetzung. Beim Reflowlötprozeß ist dieses Montagekleben zusätzlich erforderlich, wenn Bauelemente über Kopf gelötet werden müssen und das Bauteilgewicht höher ist, als die Adhäsionskräfte der aufgeschmolzenen, flüssigen Lotpaste aller Bauelementanschlüsse.

4.1.1 Klebstoffe

Die Montagekleber müssen verschiedene Anforderungen erfüllen, die ihre Eigenschaften und ihre Verarbeitbarkeit betreffen (Abb. 4-1, Abb. 4-2).

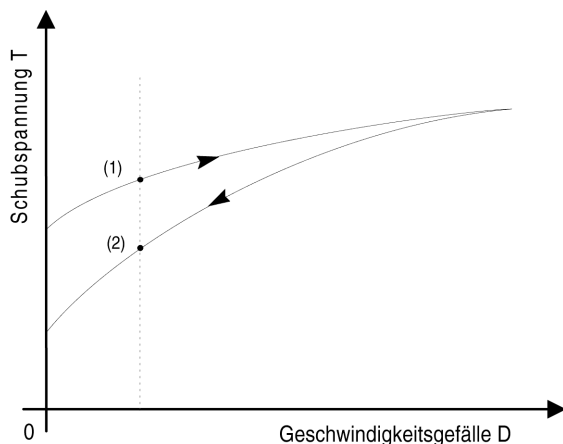


Abb. 4-1 Auf- (1) und Abbau (2) von Bindungskräften in Abhängigkeit des scherzeitabhängigen Klebstoffverhaltens (=Thixotropie)

Von entscheidender Bedeutung ist die Thixotropie. Thixotropes Verhalten eines Klebstoffes bedeutet, daß die Substanzstruktur des Klebstoffes durch eine anliegende Belastung, z.B. Ausübung eines Druckes, verändert wird und seine Festigkeit dabei abnimmt.

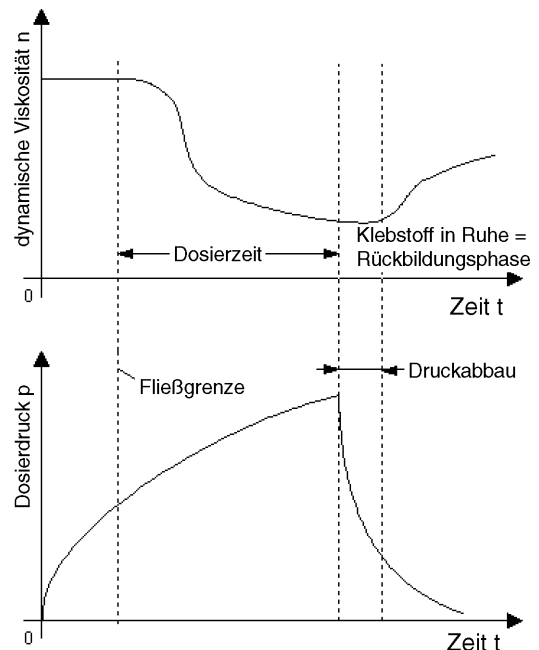


Abb. 4-2 Viskositäts-Zeitkurven

Während der Entlastungsphase (Druckluft wird nach dem Ablauf der Dosierzeit t abgeschaltet) baut sich die ursprüngliche Klebstoffstruktur in mehr oder weniger kurzer Zeit wieder vollständig auf. Dies bedeutet, daß dieser Vorgang beliebig reversibel ist.

Entscheidend für die Qualifikation eines Klebstoffes sind folgend Kriterien:

- **Beschaffenheit:**
Aus Gründen einer besseren Prüfbarkeit der Klebepunkte, sollte der Klebstoff gut sichtbar eingefärbt sein. Die Verarbeitung setzt eine gasblasenfreie Abfüllung in Kartuschen voraus.
- **Elektrolytische Korrosionswirkung und Oberflächenwiderstand:**
Die Prüfung auf korrosive Eigenschaften ist nach DIN 53489 vorzunehmen. Der Kennwert darf nicht schlechter sein als

A 1,4. Die Beurteilung des Oberflächenwiderstandes sollte im Prüfklima 40 °C / 93% r.F erfolgen, wobei der Anfangs- und Endwert nicht kleiner sein darf als 1×10^{10} Ohm.

- **Ausscheidungsfreiheit:**
Der Masseverlust darf nach einer Lagerung von 7 Tagen bei 85 °C nicht mehr als 1% betragen.
- **Bauelementhaftung:**
Der verwendete Klebstoff muß sowohl eine Haftung der SMD's auf der Leiterplatte im ungehärteten, als auch im gehärteten Zustand gewährleisten.
Bei definierten Belastungen bzw. Kräften dürfen bestimmte Lageveränderungen nicht überschritten werden.

Die hierfür angewandten Meßverfahren sind noch nicht national bzw. international genormt.

Auch an die Anforderungen von Klebern bezüglich ihrer Verarbeitbarkeit sind einige Anforderungen zu stellen.

Praktische Erfahrungen haben gezeigt, daß es unbedingt notwendig ist, die von den Kleberherstellern vorgegebenen Lagerbedingungen einzuhalten. Derzeit üblich sind 5 Monate Lagerung bei 5 °C bis 8 °C im Kühlschrank nach Anlieferung.

Nach Anbrechen einer Kleberkartusche wird ein Verarbeitungszeitraum von 7 Tagen gefordert. Während dieser Zeit muß eine gleichmäßig gute Verarbeitung möglich sein.

Der Kleberpunkt sollte aus montagetechnischen Gründen ein Verhältnis Höhe zu Durchmesser von 1:1 bis 1:2 haben.

Generell gilt, daß Bauelemente unmittelbar nach dem Kleberauftrag bestückt werden sollten. Zur Kompensation von Unregelmäßigkeiten im Fertigungsablauf sollte aber der Montagekleber ein Bestücken von bis zu 8 Stunden Offenzeit nach dem Kleberauftrag ermöglichen.

Eine nicht unwesentliche Anforderung an Kleber ist ihre Reparaturfähigkeit. In diesem Falle müssen bei einer Demontage Beschädigungen an Leiterplatte und Bauelement ausgeschlossen werden.

Kleberauftrag

Es ist nicht notwendig, die Leiterplatten vor dem Kleberauftrag zu reinigen. In keinem Fall dürfen sie jedoch mit ungeschützten Händen berührt werden.

In der Surface Mount Technology hat sich als Kleberauftragverfahren das Dispensverfahren durchgesetzt. Neben diesem Verfahren wird vereinzelt der Schablonendruck von Klebern oder der Pintransfer eingesetzt.

Das Dispensverfahren zeichnet sich dadurch aus, daß die Klebertropfengröße auf jede einzelne SMD-Bauform abgestimmt werden kann. Dieses Verfahren ist aufgrund seiner Charakteristik „Losgröße 1“-geeignet. Eine Kombination mit den Bestückmodulen ermöglicht die Gestaltung durchgängiger Fertigungslinien. Für die Produktion bietet sich der Vorteil, aus den CAD-Daten der Baugruppe, die entsprechenden Daten für den Kleberauftrag zu generieren. Die in anderen Zusammenhängen diskutierten Fragen von Rüstzeiten und deren negativen Einflüssen auf die tatsächliche Leistung von Maschinen, stellt sich nicht. Rüstzeiten fallen praktisch nicht ins Gewicht.

Die an den Klebermodulen zu wählende Klebertropfengröße richtet sich nach der jeweiligen Bauform des zu bestückenden SMD's, sowie nach der Leiterplatte, d.h. nach deren Endoberfläche und Abdeckungsausführung.

Beim Kleberauftrag ist es eine Grundvoraussetzung, daß die Löt pads für die SMD's frei von jeglichen Kleberspuren bleiben. Die richtige Wahl der Nadel-/Düsendurchmesser, deren Abstand zur Leiterplatte sowie die auf den Klebertyp abgestimmte Dosierzeit, gewährleisten einen einwandfreien Kleberauftrag.

In der Tabelle 4-1 sind für verschiedene Bauformen die Richtwerte für die entsprechenden Einstellungen angegeben. Die Einstellung dieser Werte ist temperaturabhängig und gilt für 25 °C.

SMD Baugröße	SMD-Boden-freiheit (mm)	Abstand zwischen LP-Obfl. und SMD (mm)	Klebertropfen- nach Bestücken (mm)	Klebertropfen- volumen (mm ³)
0603	0,03	0,06	0,8	0,03
0805	0,03	0,06	0,9	0,04
1206	0,03	0,06	1,4	0,09
1212	0,03	0,06	1,7	0,14
1812	0,03	0,06	2,0	0,19
2220	0,03	0,06	2,5	0,29
SOT 23	0,05	0,08	0,9	0,05
SOT 143	0,05	0,08	0,9	0,05
SOT 89	0,01	0,04	1,2	0,05
SO 8	0,15	0,18	1,5 – 2,5 ¹⁾	0,3 – 0,9 ¹⁾
SO 14	0,15	0,18	1,5 – 2,5 ¹⁾	0,3 – 0,9 ¹⁾
SO 20 L	0,20	0,23	2,0 – 3,5 ¹⁾	0,7 – 2,2 ¹⁾
MINI-MELF (0204)	0,05	0,08	1,0	0,10
MELF (0207)	0,10	0,13	1,0 – 1,5 ¹⁾	0,3 – 0,6 ¹⁾
1) Unterer Wert für Kleber mit hoher Naßfestigkeit, oberer Wert für Kleber mit niedriger Naßfestigkeit				

Tabelle 4-1 Klebertropfenvolumen

Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß zur endgültigen Fixierung der Bauelemente auf der Leiterplatte ein Aushärten der Kleberpunkte nach dem Bestückprozeß erfolgen muß. Abhängig vom eingesetzten Klebertyp, liegen die Aushärteparameter wie folgt:

- Temperatur: 100 °C ... 150 °C
- Aushärtezeit: 1 min ... 3 min

4.2 Lotpastenauftrag

Um eine zuverlässige Lötstelle mittels Reflowlötprozeß zu erzeugen, muß in einem ersten Arbeitsschritt Lotpaste auf die Löt pads aufgetragen werden. Dies kann mit unterschiedlichen Verfahren erreicht werden. Neben dem veralteten Siebdruckverfahren und dem Dispensauftragverfahren, hat sich der Schablonendruck bei dem augenblicklichen Entwicklungsstand der IC-Anschlußraster und der erhöhten Qualitätsanforderung in der Serienproduktion, fest etabliert. Der Prozeß des Lotpastenauftrages spielt im

gesamten Montageprozeß einer elektrischen Baugruppe die wichtigste Rolle, da sich die, während des Lotpastendruckes erzielte Qualität, unmittelbar auf die nachfolgenden Prozeßschritte auswirkt. Somit sind alle nachfolgenden Bearbeitungsstufen abhängig von einem fehlerfreien Lotpastenauftrag.

Die Vorteile des Lotpastenauftrages, gegenüber dem Wellenlöten (Kapitel Kapitel 4.3.1), bieten sich in folgenden Möglichkeiten:

- Flußmittel und Lot wird in einem Arbeitsgang nur an den Stellen aufgebracht, an denen sie tatsächlich benötigt werden.
- Die Zusammensetzung der Lotpaste, hinsichtlich Lotpulver und Flußmittel, kann den Erfordernissen entsprechend optimal aufeinander abgestimmt werden.
- Die Verfahren ermöglichen eine genaue Dosierung der Lotpastenmenge und damit die Erfüllung höchster Qualitäts- und Zuverlässigkeitsanforderungen der Lötstellen.
- Der Verbrauch an Flußmittel und Lot wird reduziert.

4.2.1 Zusammensetzung der Lotpaste

Lotpaste ist eine homogene Mischung aus Metallpulver und Flußmittelzusätzen. Das Metallpulver besteht bei den derzeit in der SMT verwendeten Lotpasten aus einer Zinn-Blei-Legierung, teilweise mit Silberzusätzen. Auch werden immer mehr bleifreie Lote aufgrund einer verbesserten Umweltverträglichkeit qualifiziert.

Das Flußmittel setzt sich aus Bindemitteln (Harzen), Lösungsmitteln, Aktivoren und Thixotropiemitteln zusammen.

Zusammensetzung einer typischen Lotpaste (Prozentangabe in Gewichtsprozent):

- 90% Lotpulver:
Zinn-Blei-Legierung (evtl. Silberzusätze)
- 10% Flußmittel:
5% Harz, 4% Lösungsmittel und 1% Aktivoren und Thixotropiemittel

Die Volumenanteile einer Standard-Lotpaste betragen dagegen ca. 50% Lotpulver und 50% Flußmittel (Volumenprozent).

Die Lotpasten für die SMD-Technik werden durch die technische Lieferbedingung SN 59650 beschrieben. Neben den verschiedenen Anwendungsbereichen, den Bezeichnungen und den Zusammensetzungen, werden ausführlich die Anforderungen an die Lotpasten, bezüglich ihrer Konturenstabilität, Benetzbarkeit, Oberflächenwiderstände, elektrolytischen Korrosionswirkung, Klebefä-

higkeit, Viskosität etc. aufgeführt. Weiterhin werden die Lagerfähigkeit, die Entsorgung und weitere Normen zitiert

Lotpulver

Das Lotpulver bzw. der Metallgehalt ist ausschlaggebend für den Lötprozeß. Häufig verwendete Lote sind die Typen S-Sn60Pb40 mit einem Schmelzbereich von 183 °C bis 190 °C und S-Sn63Pb37 mit einem Schmelzpunkt von 183 °C.

Werden Bauelemente mit einer Silber-Palladium-Anschlußmetallisierung verwendet, kann dem Metallpulver der Lotpaste 1,5 bis 2% Silber beigefügt werden, um einem Ablegieren des Silberanteils während des Lötprozesses entgegen zu wirken. Eine Standard-Legierung hierfür lautet S-Sn62/Pb/Ag2 mit einem Schmelzbereich zwischen 178 °C und 190 °C.

Das Metallpulver beeinflusst durch seine Form und Größe die Druckbarkeit bzw. Druckqualität der Lotpaste. Die Lotpulverteilchen sollten eine runde, gleichmäßige Kugelform mit glatter Oberfläche besitzen oder nur geringfügig von dieser Form abweichen.

Die Pulvergrößeneinteilung erfolgt in verschiedenen Klassen. Die Größeneinteilungen nach Norm SN 59650 ist in Tabelle 4-2 dargestellt.

Pulver typ	min. 85% zwischen	max. 10% zwischen	max. 3% unter	max. 3% zwischen	kein Partikel über
1	75 µm – 125 µm	63 bis < 75 µm	63 µm	> 125 bis 140 µm	140 µm
2	45 µm – 75 µm	32 bis < 45 µm	32 µm	> 75 bis 80 µm	80 µm
3	20 µm – 45 µm	15 bis < 20 µm	15 µm	> 45 bis 50 µm	50 µm
4	15 µm – 25 µm	10 bis < 15 µm	10 µm	> 25 bis 30 µm	30 µm

Tabelle 4-2 Anteil und Korngröße der Partikel nach SN 59650 (Juli 1994)

In der Fine-Pitch- und Ultra-Fine-Pitch-Technik (Raster 0,5 mm bis 0,3 mm) finden die Lotpasten mit einer Korngröße der Klassen 3 und 4 Verwendung. Mit diesen feinen Metallpartikeln läßt sich die Montage der meisten Bauformen realisieren.

Eine starke Verringerung der Lotpartikeldurchmesser erfordert auch die Betrachtung der Problematik, daß bei kleinerer Korngröße aber gleichem Lotvolumen die gesamte Oberfläche der zu lötenen Lotpartikel stark zunimmt (Abb. 4-3).

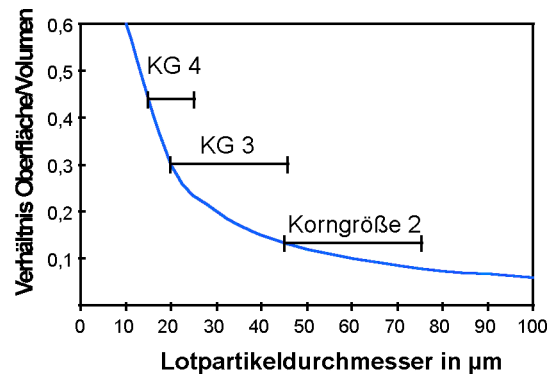
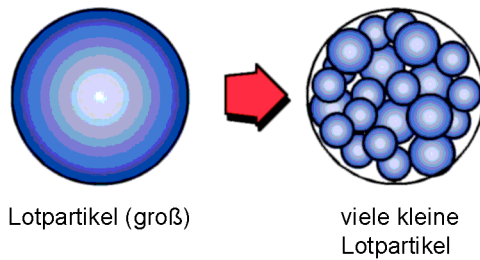


Abb. 4-3 Anstieg der Lotoberfläche (pro Volumen) bei Verringerung der Partikeldurchmesser

Der zwangsläufige Anstieg der gesamten Oberfläche beim Wechsel zu kleineren Lotpartikeln kann zu einer verstärkten Oxidbildung führen. Dies kann sich nachteilig auf die Qualität der Lötstelle auswirken. Die Oxide entstehen entweder schon während der Herstellung des Metallpulvers oder bei der Verarbeitung. Dadurch wird während des Lötprozesses die Benetzungsfähigkeit und die Lotkugelbildung negativ beeinflusst. Um hier Qualitätseinbußen vorzubeugen, muß die Lotpaste stets ausreichend aktiviert sein (siehe später „Aktivatoren“).

Bindemittel-Harze (Kolophonium)

Die Harze sind ein wesentlicher Bestandteil des Flußmittels (aber auch der Flußmittelrückstände nach dem Löten). Sie schützen die Lotpartikelflächen weitgehend vor Oxydation und beeinflussen die Klebefähigkeit der Lotpaste (wichtig um SMD's während des Bestückprozesses zu fixieren) sowie ihre rheologischen Eigenschaften. Diese sind das Fließverhalten (irreversible Verformung) und die Viskosität.

Enthält eine Paste weniger Harz, reduziert sich der Rückstand an Flußmittel nach dem Löten. Gleichzeitig aber nimmt die abschirmende Wirkung des Harzes ab.

Ein zu hoher Harzgehalt wiederum wirkt sich ungünstig auf das Auslaufverhalten aus. Die mögliche Folge ist das Zusammenlaufen von Lotdepots.

Aktivatoren

Aktivatoren haben die Aufgabe, die Oxidschichten auf den Lotpartikeln (Metallpulver) und den Lötflächen (Pad und BE-Beinchen) zu entfernen. Es entstehen metallisch reine Oberflächen. Die Lotpartikel schmelzen somit besser zusammen und benetzen die Anschlußflächen. Aktivatoren sind beispielsweise Halogene und Säuren. Die Konzentration der Aktivatoren kann jedoch nicht beliebig hoch sein, da in vielen Anwendungsfällen die Reaktionsprodukte und Rückstände nach dem Lötprozeß auf der Flachbaugruppe verbleiben. Die resultierenden Werte für elektrolytische Korrosion, Oberflächenwiderstand und ionische Rückstände sind zu beachten. Diese Spezifikationen sind bei neueren Pastentypen interessant, bei denen man sich den Reinigungsprozeß einsparen möchte (siehe No-Clean Pasten). Die wenigen Rückstände dieser Pasten verbleiben auf der Leiterplatte.

Typ	Charakterisierung	
R	rosin non activated	Kolophonium ohne Aktivator
RMA	rosin mildly activated	Kolophonium, schwach aktiviert
RA	rosin activated	Kolophonium, aktiviert
RSA	rosin super activated	Kolophonium, stark aktiviert

Tabella 4-3 Einteilung der Flußmittel im englischen Sprachgebrauch

Lösungsmittel

Die zugesetzten Lösungsmittel haben die Aufgabe, das Bindemittel (Harz) anzulösen. Hierfür werden bevorzugt (hochsiedende) Alkohole und Ester eingesetzt. Um eine ausreichend lange Schablonen- und Bestückungsstandzeit zu gewährleisten, dürfen die Lösungsmittel bei Raumtemperatur nur langsam verdunsten. Andernfalls wird die Lotpaste zähflüssiger, d.h., die Viskosität erhöht sich. Die Folgen wären eine schlechtere Druckbarkeit sowie eine erhöhte Klebrigkeit der Paste an Rakel und Schablone. Die Lotpaste würde dann z.B. in den schmalen Schablonendurchbrüchen verbleiben.

Beim späteren Aufheizen der Lotpaste in der Reflowlötanlage müssen die Lösungsmittel, im Gegensatz zur Raumtemperatur, schnell abdampfen, um ein weiteres Auslaufen der Lotpaste zu verhindern. Durch ein schlechtes Auslaufverhalten während des Lötprozesses können Defekte wie Lotbrücken oder kleine Lotkugeln zwischen den Pads verursacht werden.

Thixotropiemittel / Additive

Die Viskosität einer Lotpaste wird durch das Flußmittel (bzw. dessen Feststoffgehalt), das Lösungsmittel, die Lotpartikel (Form, Größe und Volumenanteil in der Paste) sowie durch Additive bestimmt. Additive bzw. Thixotropiemittel, wie Zellulose und Acrylharze, beeinflussen die druckabhängige Viskosität bzw. das thixotrope Verhalten der Lotpaste. Thixotropie heißt die Abnahme der Viskosität infolge andauernder mechanischer Beanspruchung und Wiederzunahme nach dem Beenden der Beanspruchung. Thixotropes Verhalten bedeutet demzufolge einen Abbau

der Substanzstruktur während der Belastungsphase (innere Strukturkräfte werden überwunden bzw. gebrochen). Dies bewirkt eine Verringerung der Festigkeit (geringere Viskosität, besseres Fließverhalten). Während der Entlastungsphase baut sich die ursprüngliche Struktur wieder auf. Es handelt sich um einen zeitabhängigen, reversiblen Vorgang.

Die Zähflüssigkeit im Ruhezustand und die Düninflüssigkeit der Pasten durch Bewegung und Druck, erfüllen die beim Schablonendruck erforderlichen gegensätzlichen Anforderungen während des Druckprozesses (düninflüssig auf der Druckschablone) und nach dem Druckprozeß (zähflüssig auf der Leiterplatte).

Diese Eigenschaft ist auch ausschlaggebend für die Verarbeitbarkeit von Lotpasten nach einer Stillstandszeit der Druckmaschine, d.h. einer Verweildauer der Lotpaste auf der Druckschablone im Ruhezustand.

4.2.2 No-Clean Pasten

Die Lotpastenbezeichnung „No-Clean“ sagt aus, daß die nach dem Reflowlöten vorhandenen Flußmittelrückstände nicht mehr durch einen Waschvorgang beseitigt werden müssen. Für die Verwendung dieser Art von Lotpasten gibt es verschiedene Gründe. So wird es bei einer weiteren Miniaturisierung der Bauelemente und einer daraus resultierenden Schaltungsverdichtung immer schwieriger, die Elektronikbaugruppen reproduzierbar, d.h. mit gleichbleibender Qualität, zu reinigen. Ein anderer Grund, warum immer mehr Baugruppenhersteller die No-Clean-Lotpasten einsetzen, ist das Verbot der Verwendung von FCKW's, welche u.a. als Reinigungsmedium eingesetzt wurden. Aus dem Verzicht des Waschvorganges ergibt sich eine Einsparung von Investitionskosten (Rei-

nigungsanlage) und laufenden Kosten (Reinigungsmedium, Abfallbeseitigung). Der harte Preiskampf, besonders in der Konsumelektronik- und Computerbranche, veranlaßt viele Hersteller, auf das Waschen zu verzichten.

4.2.3 Verfahren des Lotpastenauftrages

Schablonendruck

Beim Lotpastendruck mit Metallschablonen werden sämtliche Lotdepots einer Leiterplatenseite in einem Arbeitsgang aufgebracht. Die Metallschablone enthält das zu druckende Muster und wird entweder direkt in einem Spannrahmen fixiert oder in einen, mit einem Sieb oder einer Folie bespannten Rahmen, eingeklebt. Beim Metallschablo-

nendruck wird ohne Absprung gearbeitet. Dies ist erforderlich, da eine Metallschablone sehr viel weniger elastisch ist als beispielsweise ein Sieb. Die Schablone liegt während des Druckvorganges vollständig auf der Leiterplatte auf (Abb. 4-4).

Beim Lotpastendruck wird die vorher homogenisierte und auf die Schablone gegebene Lotpaste von einer Rakel über die Metallschablone geschoben. Dabei kommt es zu einer Abrollbewegung der Paste vor der Rakel. Die Lotpaste wird durch die Öffnungen der Schablone auf die darunter liegenden Pads gedrückt bzw. sie fließt im Moment des Einwirkens eines Druckes durch die Schablonenöffnungen auf die Pads (thixotropes Verhalten).

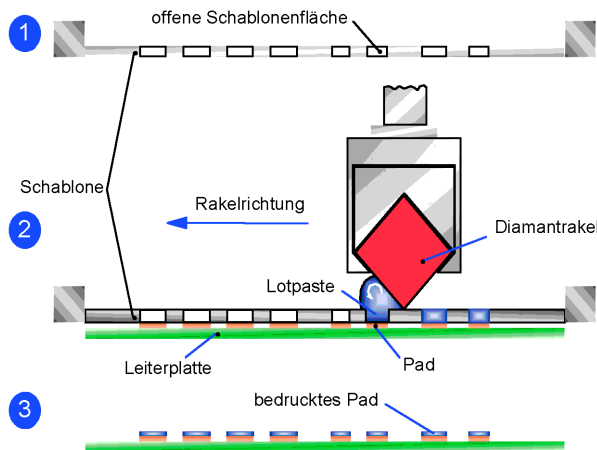


Abb. 4-4 Lotpastenauftrag mittels Schablonendruck (mit „Diamant“-Rakel)

Die für den Druckvorgang verwendete Rakel besteht aus Hartgummi oder Metall. Beim Lotpastendruck mit Metallschablonen wird ohne Flutrakel gearbeitet. Es findet statt dessen die Alternativ-Drucktechnik Verwendung, bei der sowohl im Vorwärts- als auch im Rückwärtslauf der Rakel eine Leiterplatte bedruckt wird.

Die übliche Lotpastenschichtdicke für die Fertigung von Flachbaugruppen liegt zur Zeit bei 150 μm , kann jedoch je nach Anwendungsfall, auch größer oder kleiner sein.

Für den Fine-Pitch-Bereich ist ein IC-Anschlußraster von 0,5 mm Stand der Technik. Das Raster 0,4 mm wird nur in wenigen Fertigungslinien oder im Musterbau verarbeitet. Das derzeit kleinste QFP-Anschlußraster

von 0,3 mm ist nicht in der Massenfertigung zu finden, sondern zur Zeit nur im Labormaßstab realisierbar.

Die Grenzen des Schablonendruckes werden durch die zu druckenden Geometrien bzw. Anschlußraster, die eingesetzte Lotpastenkörnung, die erforderliche Lotpastenschichtdicke und die Art der Druckschablone, d.h., nach welchem Verfahren die Schablone hergestellt wurde, bestimmt. Mit einer Verringerung der Korngröße der Lotpartikel und der Schablonendicke können auch sehr kleine Padabmaße bedruckt werden.

Schablonenherstellverfahren

Zur Herstellung der Schablonen kommen drei Verfahren zur Anwendung:

- Ätztechnik
- Lasertechnik
- Galvanischer Aufbau der Schablonen

Von den Kosten her sind geätzte Schablonen am preiswertesten, gefolgt von den lasergeschnittenen Schablonen. Die galvanisch aufgebauten Nickelschablonen sind am kostenintensivsten.

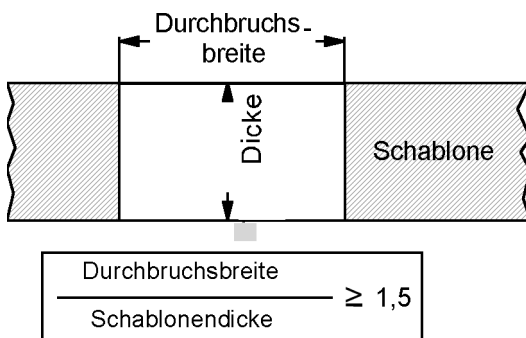


Abb. 4-5 Faustregel für Durchbruchgeometrien

Als allgemeine Faustregel (Abb. 4-5) für einen fehlerfreien Lotpastendruck gilt, daß das Verhältnis zwischen Durchbruchbreite und Schablonendicke größer oder gleich 1,5 ist. Läßt sich dieses Verhältnis aufgrund einer schmalen Öffnungsbreite nicht realisieren, so muß die Schichtdicke reduziert werden.

4.2.4 Schablonendruck-Verfahren

Bei diesem Verfahren werden sämtliche Lotdepots einer Leiterplattenseite in einem Arbeitsgang aufgebracht.

Dabei wird die Lotpaste von einer Rakel über eine Metallschablone geschoben, die als Bildträger das zu druckende Muster enthält. Die Rakel drückt durch seine Bewegung Lotpaste durch die Öffnungen der Schablone auf die darunterliegende Leiterplatte (Abb. 4-3).

Die Metallschablone wird entweder direkt in einem Spannrahmen fixiert oder in einem mit einem Sieb bespannten Rahmen eingeklebt.

Da Metallschablonen aufgrund der verwendeten Werkstoffe grundsätzlich weniger elastisch als Siebe sind, wird ohne Absprung gearbeitet, d. h. die Schablone liegt vollständig auf der Leiterplatte auf.

Die für den Druckvorgang verwendete Rakel besteht aus harten Werkstoffen, wie z.B. Hartgummi oder Metall, da der Verschleiß an den scharfen Kanten der Durchbrüche bei Verwendung weicher Materialien sehr groß wäre und ein Teil der Lotpaste wieder aus den Durchbrüchen herausgerakelt wird. Daher werden heute oft Metallrakel eingesetzt.

Beim Schablonendruck-Verfahren wird generell ohne Flutrakel gearbeitet. Stattdessen verwendet man die sogenannte Print-Print- oder Doppeldrucktechnik. Die Rakel drückt sowohl im Vorwärts- als auch im Rückwärtslauf. Bei Beendigung des Druckvorganges wird die Rakel angehalten.

Im Vergleich zum Siebdruck-Verfahren mit Standzeiten von einigen tausend Drucken pro Sieb lassen sich beim Schablonendruck-Verfahren mehrere 10.000 Druckvorgänge durchführen, sorgfältige Behandlung der Schablonen vorausgesetzt.

Bei der Auswahl der Schablonendruckmaschinen müssen die technologischen Anforderungen des zu fertigenden Baugruppenspektrums in erster Linie berücksichtigt werden, aber auch aus wirtschaftlichen Gründen die Leistungsfähigkeit, der Automatisierungsgrad sowie die Fähigkeit einer Integration in SMT-Fertigungslinien.

Ziel in einer Großserienfertigung sollte auch aus fertigungstechnischen Gründen ein In-line-Betrieb sein.

- In diese Betrachtung muß aber auch die Tatsache, daß mehr als 60% aller beim Baugruppentest festgestellten Fehler auf diesen Prozeßschritt zurückzuführen sind, einbezogen werden (Abb. 4-4). Es ist deshalb dringend anzuraten, den Prozeßschritt in seiner Gesamtheit zu bewerten, d. h. also das Zusammenspiel von
 - Schablonendruckmaschine
 - Schablonenausführung
 - Lotpastentyp

Maschinen- und Prozeßfähigkeitsuntersuchungen sind deshalb keine Fehlinvestitionen!

4.2.5 Metallschablonen

Es ist bereits erwähnt worden, daß sich heute allgemein der Schablonendruck durchgesetzt hat.

Die hierfür eingesetzten Metallschablonen können nach den folgenden Verfahren hergestellt werden:

- Chemisches Ätzen
- Laserschneiden
- Galvanischer Aufbau

Der Anteil durch chemisches Ätzen hergestellter Schablonen liegt heute etwa bei 95%. Der Einsatz von ICs mit engeren Rastermaßen sowie passiver SMDs in stark miniaturisierten Bauformen haben dazu gezwungen, die beiden anderen Schablonenherstellverfahren näher zu betrachten.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß beim Ätzverfahren die Fertigungsstreuung für Durchbruchbreite, Rastermaß und Stegbreite mit abnehmender Schablonendicke kleiner wird. Es ist deshalb sehr darauf zu achten, ob Schablonen, nach diesem Verfah-

ren hergestellt, noch die Anforderungen an den Lotpastenauftrag für ICs mit Rastermaßen von 0,5 mm und kleiner erfüllen (Bild 4.5).

Bei lasergeschnittenen Schablonen muß das Augenmerk dagegen insbesondere auf die Kantenqualität und Maßhaltigkeit der Durchbrüche gelegt werden. Durch eine zusätzliche Ätzbehandlung kann diese Problematik jedoch entschärft werden.

Nach heutigem Kenntnisstand erfüllen, abgesehen von Dickenschwankungen des additiv aufgebauten Materials, galvanoplastisch erzeugte Schablonen hohe Anforderungen. Problematisch könnte hier allerdings die mit dem Schablonenmaterial Nickel erzielbare Standzeit beim Drucken werden.

4.3 Lötverfahren

Löten ist das heute in der Elektronik überwiegend eingesetzte Füge- bzw. Verbindungsverfahren. Der Lötprozeß beruht auf dem Aufschmelzen einer Lotlegierung und einem Anlegieren der zu verbindenden Komponenten.

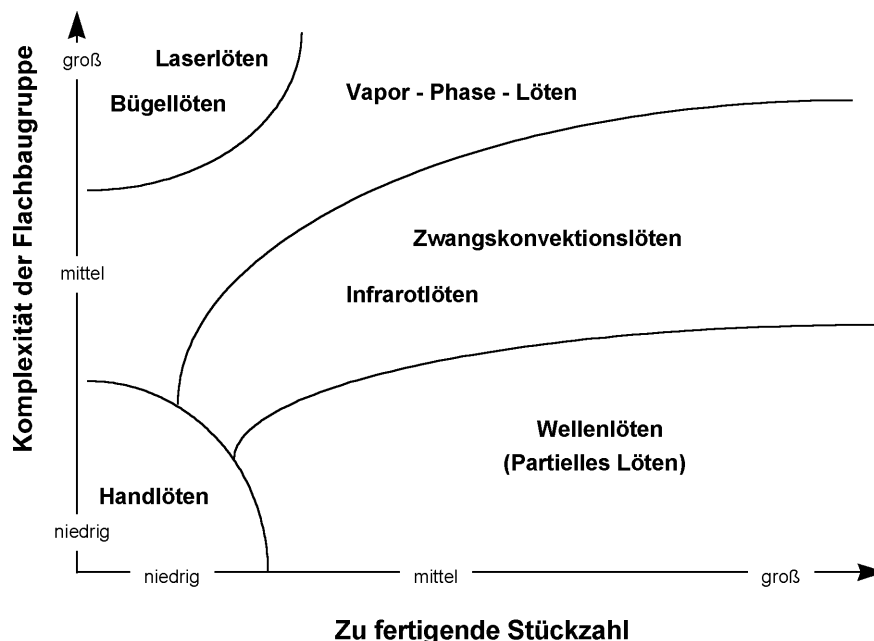


Abb. 4-6 Lötverfahren für SMT-Übersicht und Einsatzschwerpunkte

Wesentliches Merkmal des Lötvorganges ist das Benetzen der Oberflächen von Leiterplatten und Bauelementen. Voraussetzung dafür ist eine gute Lötbarkeit, die durch geeignete Oberflächenvorbehandlungen oder durch die Wirkung eines aktivierenden Flußmittels hergestellt werden muß. Der Trend geht hier eindeutig in Richtung feststoffarmer Flußmittel und damit Vermeidung von Reinigungsprozessen.

Die in der Flachbaugruppenmontage zum Einsatz kommenden Lötverfahren lassen sich in drei Gruppen einteilen.

- Wellenlötverfahren
- Reflowlötverfahren
- Einzel- und Sonderlötverfahren

Seit den fünfziger Jahren dient die Technologie des Wellenlötens als das wichtigste Instrument um Baugruppen in Durchsteckmontagetechnik zu fügen. Auch mit dem Aufkommen von Baugruppen in Mischtechnologie wurde eine Seite der Baugruppe häufig noch wellengelötet.

Reflowlötverfahren sind notwendig, um die Lotdepots aufzuschmelzen. Sie sind aus der Hybridtechnik her bekannt und wurden für die SMD-Montage weiterentwickelt und optimiert.

Zu den Einzel- und Sonderlötverfahren können alle nachfolgend aufgeführten Verfahren gezählt werden.

- Das Hand- oder LötKolbenlöten, sozusagen das Urverfahren der Löttechnik, für Reparaturen und Sonderlötungen auch heute unentbehrlich.
- Das Flammlöten sowie die Weiterentwicklung des Mikroflammlötens.
- Das Heißgaslöten, weitverbreitet als Reparatur- und Montageverfahren für IC-Gehäuse.
- Das fokussierte IR-Strahl-Löten, ebenfalls zum simultanen Löten einzelner Bauelemente, vorzugsweise SMD.
- Das Laserlöten, bei dem heute überwiegend Nd-YAG-Laser zum Einsatz kommen.
- Das Bügellöten, zur Verlötung vielpoliger, flach aufliegender Anschlüsse.

- Das partielle Mikroschwallöten, bei dem eine miniaturisierte Lotwelle zum Ein- / Auslöten benutzt wird

Bei diesen Verfahren handelt es sich überwiegend um manuelle oder halbautomatische Verfahren. Von größerer Bedeutung für die Elektronikmontage sind die Massendlötverfahren.

4.3.1 Wellen- oder Schwalllöten

Kennzeichnend für dieses Verfahren ist das gleichzeitige Zuführen von Lot und Lotwärme durch eine hochgepumpte, ständig überlaufende und dadurch oxidfreie Lotwelle. Die typische Prozeßreihenfolge besteht aus:

- Flußmittelauftrag, üblicherweise im Schaum- oder Sprühfluxer
- Vorwärmung zur Flußmitteltrocknung und -aktivierung
- Wellenlötprozeß, bei dem das Lötgut tangential durch den Scheitelpunkt der Lotwelle transportiert wird.

Mit diesen Lötanlagen wurden Baugruppen in Durchsteckmontagetechnik jahrzehnte lang mit hoher Qualität gelötet. Erst die zunehmende Komplexität von Bauteilen sowie die Einführung von schwallseitig montierten SMD, zwangen zum Überdenken der Wellenlöttechnologie.

Zur Sicherstellung eines bestmöglichen Lotanflusses wurde der ursprünglichen Hauptwelle eine zweite, dynamisch wirkende Chipwelle hinzugefügt, die eine Benetzung auch abgeschatteter Bereiche gestattet. Um den Prozeß an das anspruchsvoller werdende Lötgut anpassen zu können, wurden parametergesteuerte, computergeregelte Wellenlötanlagen entwickelt.

Je nach Konfiguration und Lage der Lötstellen können

- Flußmittelauftrag
 - Vorwärmung
 - Chipwelle
 - Anstellwinkel
 - Durchfahrgeschwindigkeit
 - und Eintauchtiefe
- angepaßt werden.

Layout (Schwallowseite)	Welleneinstellung	Leiterplatte	Flux
Vorzugsrichtung	Düsenkonstruktion	Dicke	Feststoffgehalt
Lotfinger Padgeometrie	Sektorenlöten Prozeßparameter	Lagenzahl	notwendige Vorheizung (Trocknung, Aktivierung)
Mindestabstände Lotabschattung	Instandhaltung	LP-Verwölbung (speziell bei Doppelwelle)	Abwascheffekt beim Passieren von zwei Wellen
Beinchenüberstand	Prozeßkontrolle Prozeßregelung	Oberflächenausführung	Eignung für Schutzgas Rückstandsverhalten

Tabelle 4-4 Einflußgrößen beim Wellenlöten

Zusätzlich wurde das Prozeßfenster des Wellenlötens durch Einsatz von Schutzgas, meist Stickstoff – z. T. mit Aktivatorzusatz, erweitert. Das völlig oxidfreie Lot gestattet den Einsatz

feststoffarmer Flußmittel. Dies führt zu weitestgehend rückstandsfrei gelöteten Verbindungen.

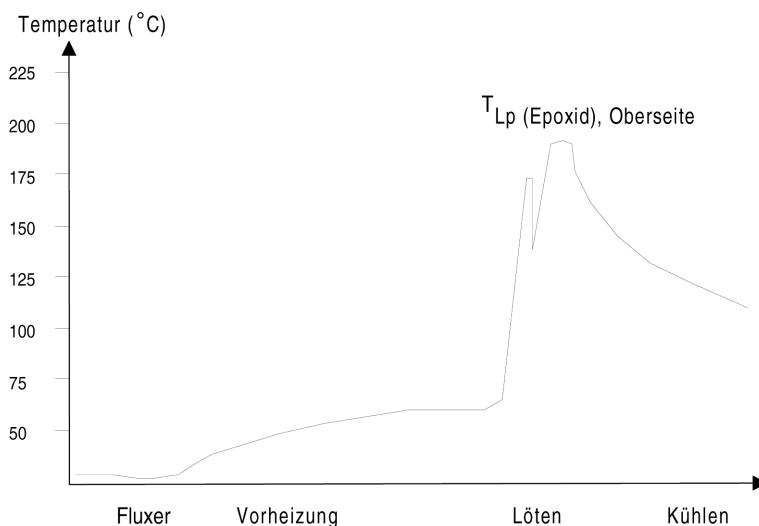


Abb. 4-7 Temperaturverlauf beim Wellenlöten (schematisch)

Praktische Erfahrungen mit dem Einsatz von Schutzgaswellenlötanlagen zeigen allerdings, daß neben den Vorteilen:

- Vermeiden von Flußmittelrückständen
- Größeres Prozeßfenster
- Vermeidung von Lotkrätze
- Stabilerer Prozeß

einige Nachteile feststellbar sind, z.B.

- Auftreten von Lotperlen
- Kosten durch Stickstoffverbrauch
- Komplexere Anlagentechnik.

Immer höhere Packungsdichten, die damit verbundene Miniaturisierung der Bauelemente sowie immer feiner werdende Rastermaße hochpoliger Bauelemente, machen auch ein Umdenken in der Flachbaugruppenfertigung notwendig. Bezogen auf den Lötprozeß wird in Zukunft das klassische Wellenlöten eine untergeordnete Rolle spielen, da dieses Verfahren den wachsenden Anforderungen der Fertigungstechnik nicht mehr gerecht wird. Aus diesem Grund wird man künftig versuchen, die Flachbaugruppen beidseitig in Reflow-Technik zu verarbeiten. Da zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht alle Bauelemente reflowfähig sind (z.B. durch unzulässig hohe Wärmebelastung), bzw.

eine Reflow-Verarbeitung aus anderen Gründen, wie der geforderten mechanischen Festigkeit von Steckverbindern nicht möglich ist, sind derzeit noch zusätzliche Arbeitsgänge wie Restbestückung und Handlöten erforderlich. Dies war seitens der Löttechnologie der Anlaß zur Entwicklung diverser Sonderlötvorgänge, mit denen es möglich ist, die verbleibenden THT-Bauelemente partiell zu löten.

Die aktuellen am Markt angebotenen partiellen Lötanlagen beruhen auf unterschiedlichen Verfahren. So kann das Löten der restlichen bedrahteten Bauelemente entweder simultan (die verbleibenden Lötstellen werden gleichzeitig in einem Arbeitsgang erzeugt) oder sequentiell (Erzeugen der Lötstellen nacheinander) erfolgen.

4.3.2 Reflowlötvorgänge

Im Gegensatz zum Wellenlötvorgang müssen die Reflowlötvorgänge nur die zum Aufschmelzen eines bereits vorhandenen Lotdepots erforderliche Energie bereitstellen. Hierbei wird jedoch die gesamte Baugruppe der Löttemperatur ausgesetzt. Die heute erkennbaren Tendenzen in der Baugruppenteknik erzwingen eine ständige Weiterentwicklung der Reflowlöttechnik mit homogener Wärmebringung. Dadurch wird ein möglichst geringer thermischer Streß für die Baugruppe erreicht.

Gegenüberstellung der Reflowlötvorgänge:

Verfahren	Wärmeübertragung	Komplexität der FGB	Kosten	Anwendung
IR	IR-Strahlung + natürliche Konvektion	mäßig bis mittel	niedrig	abnehmend
FC	Zwangskonvektion (Forced Convection)	hoch	mäßig	sehr weit verbreitet
VP	Kondensation (Vapor Phase)	sehr hoch	hoch	vereinzelt

Tabelle 4-5 Vergleich der Lötverfahren

Aufgrund der unterschiedlichen Wärmeübertragung unterscheidet man:

- Infrarot-Lötverfahren
- Zwangskonvektions-Lötverfahren als Weiterentwicklung des IR-Lötens
- Dampfphasen-Lötverfahren, Vapor-Phase-Löten (VP)

Infrarotlöten

Dieses Verfahren ist hinsichtlich Beschaffung und Betrieb am wirtschaftlichsten. Es ist jedoch nur für Baugruppen mit mäßiger Komplexität geeignet.

Als Wärmequelle dienen meist Quarzstrahler unterschiedlicher Ausprägung oder Flächenstrahler mit einem stärkeren Anteil natürlicher

cher Konvektion. Typisch ist die Aufteilung der Anlage in mehrere Zonen, in denen die Baugruppen von oben und unten erwärmt werden.

Um das unterschiedliche Wärmeverhalten lokaler Bereiche einer Baugruppe auszugleichen und die Lotpaste vorzutrocknen, wird zunächst ein Aufheizen auf 120 °C bis 150 °C durchgeführt. In einem Durchwärmbereich erhält das Lötgut Zeit zum Temperaturengleich zwischen heißen und kalten Bereichen. Ziel ist eine Zusammenführung aller Temperaturen bei 150 °C bis 170 °C vor der eigentlichen Lötung. Anschließend erfolgt die Lötung im sog. Lötpeak. Dieser muß ein Ausschmelzen der Lotdepots und ein sicheres Benetzen aller Lötstellen gewährleisten. Die Temperatur soll bei 210 °C liegen.

Anlagenkonstruktion	Leiterplatte	Bauteilspektrum	Bauteillage	Lotpaste
Heizkörpertyp	Dicke	Gewicht/Größe	Packungsdichte	Vortrocknung
Zoneneinteilung	Fläche	Anschlußform (Beinchentyp)	Anordnung	zulässige T-Belastung
Konvektionssystem	Lagenzahl	thermische Belastbarkeit		Typ
	Schirmflächen			

Tabelle 4-6 Einflußgrößen auf das Lötprofil beim IR-Löten

Zusätzliche Kriterien für die Bewertung von IR-Lötanlagen sind:

- Querprofil, d.h. die Temperaturverteilung quer zur Durchfahrtrichtung des Lötgutes
- Prozeßstabilität, d.h. die Lastunabhängigkeit der Anlageneinstellung und des Erwärmungsverhaltens

- Flexibilität
- Fördersystem, wie z.B. Fingerkettentransport oder Gittermaschenband
- Mittenunterstützungssysteme

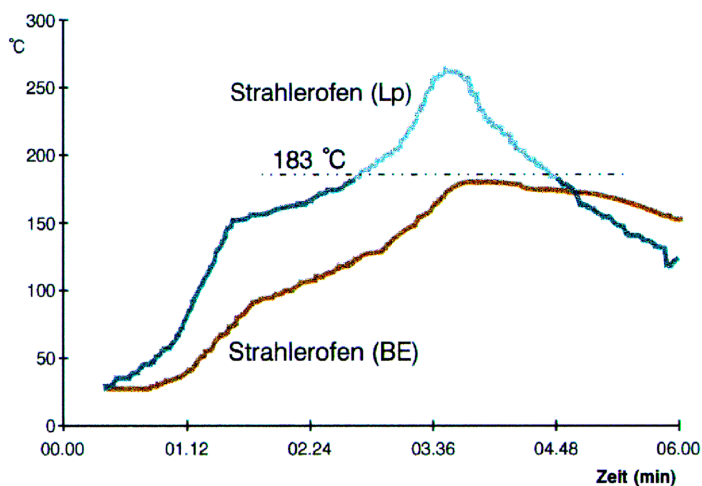


Abb. 4-8 Temperaturverlauf beim Infrarotlöten (schematisch)

Da die Basismaterialien der Leiterplatten beim Löten über den Glaserweichungspunkt (T_g) erwärmt werden, ist ein sicherer Transport durch die Prozeßkammer sowie eine problemlose Übernahme bzw. Übergabe der Baugruppen von großer Bedeutung.

Konvektionslöten

Die Weiterentwicklung des IR-Lötverfahrens führte zu Zwangskonvektionsanlagen, in denen die Erwärmung der Baugruppen durch

erzwungene Konvektion erzielt wird. Diese Anlagen besitzen keine Quarzstrahler, sondern ein Heizsystem für das Prozeßgas. Ein leistungsstarkes Gebläse drückt dieses auf das Lötgut. Da die Wärmekopplung in der Baugruppe hoch ist, genügt je nach Gasströmung eine kurze Zeit bis zum thermischen Ausgleich zwischen Prozeßgas und Baugruppe. Dies bedeutet, daß die Temperatur der Heizelemente niedriger sein kann, als bei Strahleröfen. Dadurch wird die Homogenität der Erwärmung verbessert.

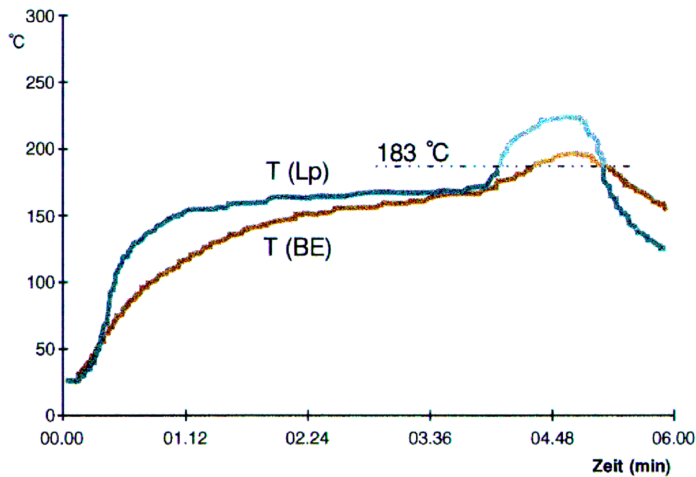


Abb. 4-9 Temperaturverlauf beim Zwangskonvektionslötten (schematisch)

Bei hochkomplexen Baugruppen erfolgt durch den Übergang von IR- auf Zwangskonvektionsanlagen eine Reduzierung thermischer Belastungen elektronischer Baugruppen. Bei verschiedenen Flachbaugruppen mit ähnlichem Wärmehaushalt ist nur ein Lötprofil zur Verarbeitung des Spektrums nötig. Somit entfallen teilweise die aufwendigen Profileinstellungen.

Kondensationslötten (VP-Lötten)

Das Kondensationslötten nutzt die latente Wärme einer gesättigten Dampfphase als Übertragungsmedium. Die Baugruppen werden bei diesem Lötverfahren in die Dampf-

phase eingebracht, wobei das auf der kalten Baugruppe kondensierende Medium seine Kondensationswärme direkt und schnell an diese abgibt. Die dabei auftretenden Temperaturgradienten können zu einer Schädigung der Bauelemente (Popcorn-Effekt) und zu erhöhten Lötfehlern (Tombstoning, Wicking) führen.

Durch die Vorschaltung einer Vorwärmzone werden diese Fehlermöglichkeiten ausgeschaltet. Die bei Elektronikfertigungen eingesetzten Medien für die Dampfphase haben einen Siedepunkt zwischen 215 °C und 220 °C. Sie erfüllen die heute bestehenden gesetzlichen Sicherheitsanforderungen ohne Einschränkungen.

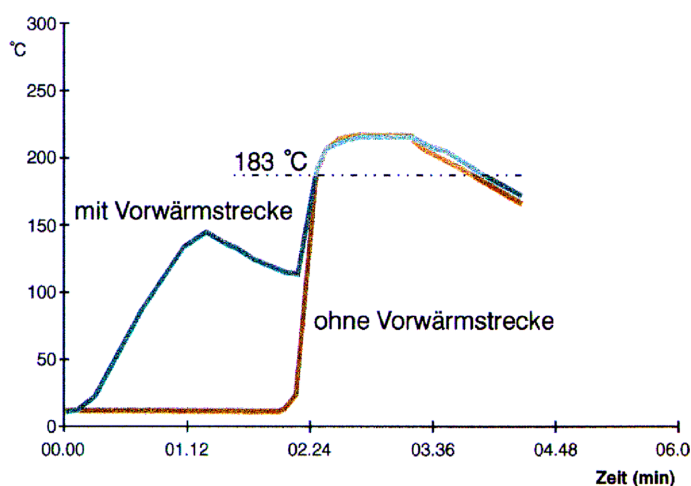


Abb. 4-10 Temperaturverlauf beim VP-Lötten (schematisch)

Die einzigen Regelgrößen für den Lötvorgang bei Dampfphasenlötanlagen sind – abgesehen von der Wahl des Mediums – die Vorwärmung für die Baugruppen und bei In-Line-Anlagen die Durchlaufzeit bzw. bei Pendelanlagen die Verweilzeit in der Dampfphase.

Eine Überhitzung der Baugruppen ist bei diesem Lötverfahren ausgeschlossen. Ebenso entfallen Umrüstzeiten beim Wechsel von Fertigungslosen.

Als Vorteile des VP-Lötens sind zu nennen:

- Nach oben begrenzte Maximaltemperatur (= Siedetemperatur des Prozeßmediums)
- Luftabschluß im unmittelbaren Lötbereich (gesättigte Dampfphase)
- Hohe Gleichmäßigkeit der Wärmeeinbringung in das Lötgut unabhängig von unterschiedlichen thermischen Massen

- Unkomplizierter Prozeß mit sehr großem Prozeßfenster, „Losgröße 1“-fähig, Lötzeit ist einziger Stellparameter

Die Nachteile des VP-Lötens sind:

- Sehr gute Wärmeübertragung kann zu extremen Temperatur-Gradienten führen (bis zu 40 K/sec. beim Start bei Raumtemperatur)
- Kondensatreste auf den Baugruppen
- Typische Lötfehler (Tombstone, Wicking), die im Layout und in der Anlagentechnik besonders berücksichtigt werden müssen
- Aufwendige Anlagentechnik
- Aufwendiger Betrieb (Wartung, Medienverlust)

Durchlaufgeschwindigkeit	Primärmedium	Anlagenkonstruktion	Vorheizung
Lötzeit	Siedetemperatur = Löttemperatur	Medienverluste	Trocknen der Lotpaste
Verschleppungsverluste	Aerosolbildung	Prozeßsicherheit gegen Überhitzung	Vermeidung eines thermischen Schocks für LP, Paste und SMD
	Siedepunktsdrift im Einsatz	Verkettung	
	Stabilität gegen Zersetzung	Wartungsfreundlichkeit	

Tabelle 4-7 Einflußgrößen beim VP-Löten

Vergleich der Reflowlötverfahren

Der Vergleich des Kondensationslötens mit dem Infrarotlöten ergibt für ersteres Vorteile auf Grund der einfachen Prozeßführung. Dem stehen heute höhere Anschaffungskosten sowie höhere Betriebskosten infolge des Mediumverbrauches gegenüber. Die Anforderungen der zukünftigen Flachbaugruppentechologie mit komplexeren Leiterplatten und Bauelementen der unterschiedlichen Geometrien hat eine Weiterentwicklung der Reflow-Lötanlagen, z.B. hinsichtlich Schutzgasbetrieb und Prozeßkontrolle bewirkt:

Heute ist das Reflow-Löten mit Zwangskonvektion das am häufigsten eingesetzte Verfahren.

4.3.3 Beidseitiges Reflowlöten

Für die beidseitige, reinrassige SMD-Montagetechnik wird zur Zeit überwiegend ein zweimaliger Reflowlötprozeß eingesetzt. Die Prozeßvarianten für ein- und zweimaligen Durchlauf unterscheiden sich wie folgt:

Einmaliger Durchlauf:

- Lotpastenauftrag – Kleberauftrag – Bestücken – Kleber aushärten – Leiterplatte wenden – Lotpastenauftrag – Bestücken – Reflowlöten

Zweimaliger Durchlauf:

Lotpastenauftrag – Bestücken – Reflowlöten – Leiterplatte wenden – Lotpastenauftrag – Bestücken – Reflowlöten

Für den zweimaligen Durchlauf spricht das identische Linienkonzept für beide Seiten. Nachteilig ist, daß die erste Seite der Baugruppe zweimal der Lötwärme ausgesetzt wird.

Ein Abfallen der im Lotmeniskus hängenden SMD findet im allgemeinen nicht statt. Lediglich mechanische Einwirkungen, z.B. Vibrationen des Transports oder ein sehr ungünstiges Verhältnis von Lötstellenoberfläche zu Bauteilgewicht führen zum Abfallen.

4.3.4 Reflowlöten unter Schutzgas

Um der rasanten Entwicklung der SMD-Technik in den letzten Jahren (neue, kleinere Gehäuseformen, Weiterentwicklung der Leiterplattentechnik) sowie strengere Umweltschutzvorschriften (FCKW-Verbot) und ständig steigende Anforderungen an Qualität und Produktivität gerecht zu werden, wird heute das Reflowlöten vielfach unter Schutzgasatmosphäre (aus Kostengründen meist Stickstoff) durchgeführt. Die Anwender versprechen sich vom Stickstoff-Reflowlöten eine hohe Prozeßqualität und Prozeßflexibilität. Folgende Vorteile des Einsatzes von Stickstoff werden genannt:

- Geringe Verbräunung des Leiterplattenmaterials
- Glänzendere Lötstellen, überwiegend durch Vermeidung von Reoxidationsprozessen in Durchwärm- und Lötzone
- Bestimmte „no-residue“-Lotpasten, also rückstandsarme Lotpasten, benötigen Schutzgas zur sicheren Benetzung von Leiterplatte und SMD
- Mit abnehmender Lotpulvergröße, d.h. zunehmendem Anteil an Pulveroberfläche, wird das Verhindern einer Reoxidation der Paste in der Anlage immer wichtiger

- Eine Lötung gelagerter Leiterplatten mit Cu-blank-Oberflächen ist unter Stickstoff möglich

Mittlerweile wurden verschiedene Tests durchgeführt, um die Vorteile des Einsatzes von Stickstoff eindeutig nachweisen zu können. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigten die bisherigen Annahmen:

- Die Stickstoffatmosphäre verbessert eindeutig die Lötresultate bei der Verwendung von no-clean Lotpasten
- Die erforderliche Stickstoffreinheit ist abhängig von mehreren Faktoren (Lotpaste, Temperaturprofil, Rastermaß)
- Je niedriger die gewünschte Rückstandsmenge der Lotpaste, desto geringer muß der Sauerstoffgehalt im Ofen sein, dementsprechend ist eine genaue Kenntnis der Anforderungen empfehlenswert

Um gute Lötstellen zu erhalten, genügt bei no-clean Pasten mit höherer zulässiger Rückstandsmenge ein Restsauerstoffgehalt von 500 – 1000 ppm in Durchwärm- und Lötzone. Bei niedrigerer Rückstandsmenge sollte reiner Stickstoff mit einem Sauerstoffgehalt < 100 ppm verwendet werden.

Ob durch weiteres Reduzieren des Restsauerstoffgehaltes zusätzliche Qualitätsverbesserungen erzielbar sind, wie z.B. Vermeidung von Lotbrücken, offenen Lötstellen oder Lotperlen, ist bislang nicht eindeutig geklärt.

Beim Einsatz von Stickstoff ist mit einer deutlichen Kostensteigerung des Reflowprozesses zu rechnen. Bei einem mittleren Verbrauch von 20 m³/h, angesetzten Stickstoffkosten von 0,25 DM/m³ und einem angenommenen Durchsatz von 100 Baugruppen/h, führt dies zu einer Verteuerung der Flachbaugruppen um 0,05 DM.

Dabei sollte man die alternative Stickstoff/Zwangskonvektion mit Blick auf einen sicheren und schonenden Lötprozeß bewerten. Die homogene Erwärmung im Zwangskonvektions-Lötöfen ist ein wesentlicher Vorteil für die Qualität und Sicherheit.

5 Bestückprozeß

5.1 Maschinenkonzepte

5.1.1 Einteilung nach Maschinenkonzepten

Bei SMD-Bestücksystemen kommen unterschiedliche Bestückverfahren zum Einsatz. Dabei kann zwischen folgenden vier Methoden unterschieden werden:

- Manuelle Bestückung
- Automatische sequentielle Einzelbestückung
- Automatische Sequentiell-/Simultanbestückung
- Automatische Simultanbestückung

Im folgenden werden die einzelnen Bestückverfahren näher erläutert.

Manuelle Bestückung

Manuelle Bestückplätze erlauben das handgeführte Bestücken von SMD. Sie bestehen in der Regel aus einem Karussell oder einem Tisch mit Bauelementzuführungen, einer Halterung für die Leiterplatte und einem handgeführten Bestückwerkzeug mit Saugpipette (Abb. 5-1).

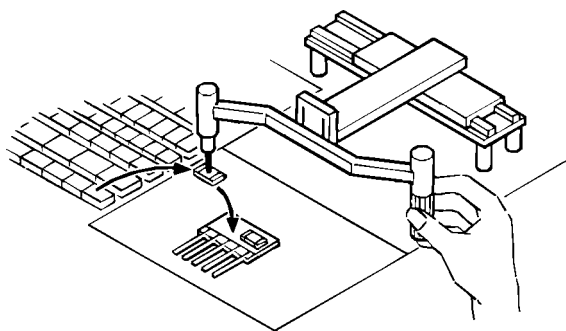


Abb. 5-1 Manuelle Bestückung von SMD-Bauelementen.

Um die Bestückgenauigkeit zu verbessern, sind einige Geräte mit optischen Hilfsmitteln wie Lupen oder integrierten Mikroskopsyste-

men ausgestattet. Ähnlich wie bei Handbestücktischen für bedrahtete Bauelemente sind auch für SMD-Bestückplätze Bestückpositionsanzeigen verbreitet, die mittels Lichtstrahl auf der Leiterplatte die Lage des jeweils als nächstes zu bestückenden Bauelements anzeigen.

Die manuelle Bestückung wird vorwiegend bei Labormustern, Prototypen, Reparaturarbeiten und Kleinstserien eingesetzt. Für größere Serien ist sie aus wirtschaftlichen und verfahrenstechnischen Gründen nicht geeignet. Aufgrund der geringen Bestückleistung (ca. 500 BE/h) ergeben sich im Vergleich zu den um ein Vielfaches leistungsfähigeren Automaten sehr hohe Bestückkosten. Zunehmende Genauigkeitsanforderungen durch kleine Rastermaße und Bauformen verlangen ein äußerst exaktes Arbeiten. Beim Bestücken auf Lotpaste ist ein Korrigieren der Bestückposition nach dem Absetzen eines Bauelements nicht möglich, da durch unweigerliches Verschmieren der Lotpaste die Gefahr der Brückenbildung besteht.

Automatische sequentielle Einzelbestückung

Bei der automatischen sequentiellen Einzelbestückung werden die Bauelemente durch einen programmgesteuerten Automaten einzeln aus den Zuführmodulen aufgenommen und auch wieder einzeln auf die Leiterplatte abgesetzt.

Automatische sequentielle Einzelbestücksysteme zeichnen sich durch eine sehr große Flexibilität in bezug auf die Anzahl und Bauformen der verarbeitbaren Bauelemente aus (Abb. 5-2). Kurze Umrüstzeiten erlauben die wirtschaftliche Fertigung auch bei kleinen Losgrößen. Aus diesen Gründen ist es nicht verwunderlich, daß diese Systeme mit Abstand über den höchsten Verbreitungsgrad verfügen.

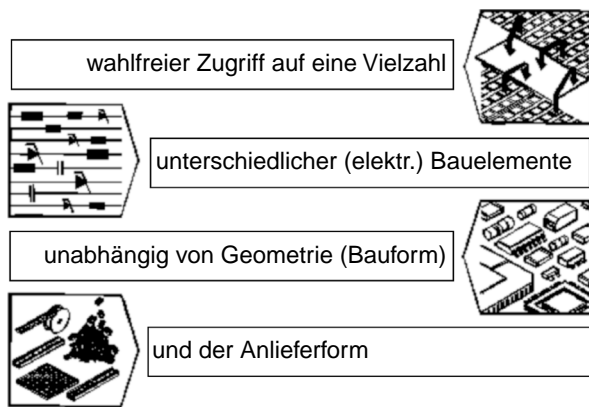


Abb. 5-2 Kriterien für die Flexibilität von SMD-Bestückautomaten hinsichtlich der verarbeitbaren Bauelemente.

Bei sequentiellen Einzelbestücksystemen wird zwischen zwei Verfahren unterschieden, dem Pick & Place-, dem Collect and Place, dem kombinierten Collect and Pick and Place und dem Chip Shooter-Verfahren.

Pick & Place Automaten nehmen jeweils ein Bauelement von der Abholposition im Zuführmodul auf, transportieren es zur Bestückposition auf der Leiterplatte und setzen es ab.

Bei Chipshootern erfolgt Aufnahme und Absetzen des zu bestückenden Bauelementes ebenfalls sequentiell. Es werden jedoch mehrere Bauelemente gleichzeitig oder in einem kontinuierlichen Bauelementefluß von der Abholposition zur Bestückposition transportiert, um eine kurze Taktzeit und damit eine hohe Bestückleistung zu erzielen.

Aufgrund der großen Bedeutung der Pick & Place Maschinen und Chipshootern werden diese beiden Verfahren jeweils in einem eigenen Kapitel beschrieben.

Automatische Sequentiell-/Simultanbestückung

Bei der automatischen Sequentiell-/Simultanbestückung werden mehrere Bauelemente von einem speziellen Mehrfachbestückkopf simultan aus entsprechend angeordneten Zuführmodulen aufgenommen und dann sequentiell auf die Leiterplatte gesetzt (Abb. 5-3). Dabei wird jeweils eine Bestückposition angefahren, indem der kammähnliche

Bestückkopf und die Leiterplatte rechtwinklig zueinander verfahren werden, und dann das entsprechende Bauelement bestückt wird. Dabei gibt es Varianten mit einem x-y Portalssystem oder mit in x-Richtung beweglicher Leiterplatte und in y-Richtung beweglichem Bestückkopf.

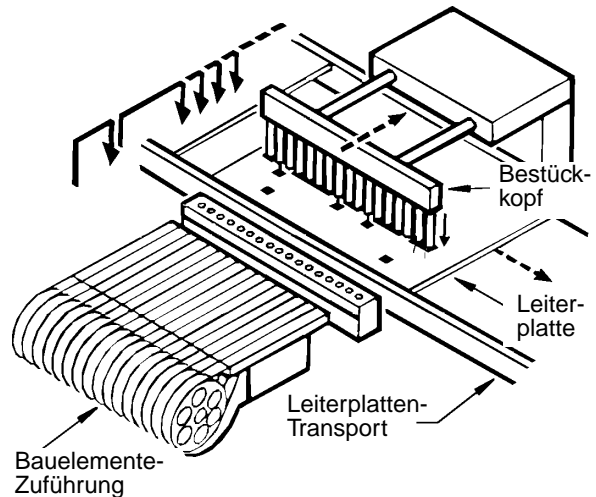


Abb. 5-3 Funktionsprinzip der automatischen Sequentiell-/Simultanbestückung. Mehrere Bauelemente werden simultan aus der Zuführung entnommen und dann einzeln auf die Leiterplatte abgesetzt.

Aufgrund der konstruktiven Anforderungen an Zuführmodule und Bestückkopf gibt es Einschränkungen hinsichtlich der Art und Anzahl der bestückbaren Bauelementtypen. Der Bestückkopf ermöglicht aber die Bestückung unterschiedlicher Leiterplatten.

Die Optimierung hinsichtlich der Bestückleistung wird mit zunehmender Anzahl an Pipetten im Bestückkopf immer schwieriger. Werden mehrere, im Nutzen angeordnete Einzelschaltungen bestückt, können bei entsprechender Auslegung des Bestückkopfes auch mehrere, gleiche Bauelemente simultan auf die einzelnen Schaltungen gesetzt werden, wodurch sich die Bestückleistung noch einmal deutlich steigern läßt. Allerdings wird das verarbeitbare Bauelementspektrum entsprechend reduziert.

Heute hergestellte, sequentiell/simultan arbeitende Bestückautomaten erreichen eine maximale Bestückleistung von bis zu 30.000 BE/h.

Höchstleistungsbestücksysteme

Es existieren Höchstleistungsbestücksysteme, die mit einer Vielzahl von Bestückköpfen aufgebaut sind. Die einzelnen Bestückköpfe arbeiten nach dem Pick- & Place bzw. nach einem simultan/sequentiellen Bestückverfahren

Bei diesen Automaten wird nicht mehr der gesamte Bestückinhalt von einem oder mehreren Bestückköpfen in einem Arbeitsbereich bestückt, sondern der Bestückinhalt wird aufgeteilt. Es wird jeweils nur der Teil der Bauelemente bestückt, der im Verfahrensbereich eines der Bestückköpfe liegt.

Damit lassen sich sehr hohe Bestückleistungen bis 148.000 BE/h erreichen. Die Flexibilität dieser Maschinen hinsichtlich des verar-

beitbaren BE-Spektrums und der Umrüstzeiten ist gering, aber wesentlich günstiger als bei Simultanbestückern.

Zusammenfassung

Bei SMD-Bestücksystemen nimmt mit steigender Bestückleistung die Flexibilität hinsichtlich Anzahl, Bauformen und Anlieferzustand der bestückbaren Bauelemente und hinsichtlich der Bestückung unterschiedlicher Leiterplatten ab (Bild 5.5). Das hat dazu geführt, daß die Verbreitung von sequentiellen/simultanen Bestücksystemen gegenüber der sequentieller Bestücksysteme stark zurückblieb. Zur großen Marktdurchdringung sequentieller Bestücksysteme hat auch beigetragen, daß es in den letzten Jahren gelang, die Bestückleistung deutlich anzuheben und gleichzeitig die Flexibilität noch zu erhöhen.

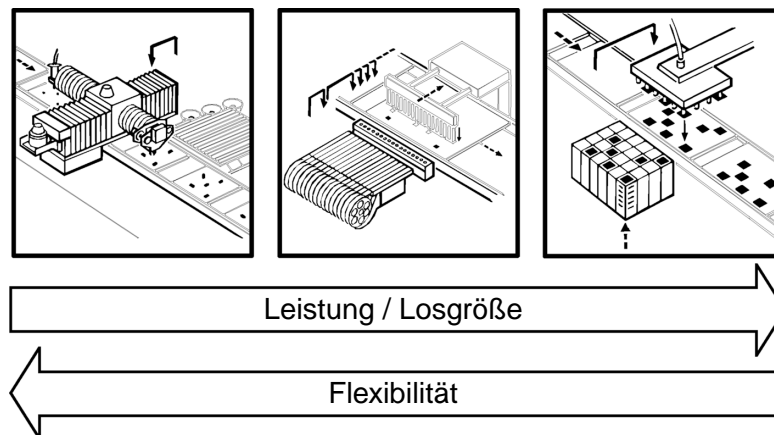


Abb. 5-4 Zusammenhang von Flexibilität und Bestückleistung bei verschiedenen SMD-Bestücksystemen.

Kriterium	Klassifizierung Bestücker					
	Einstiegssystem	Standardsystem	Hochleistungssystem Pick & Place	Hochleistungssystem Collect & Place	Hochleistungssystem Chip Shooter	Höchstleistungsbestücker
Bestückleistung (BE/h)	< 2000	2000 – 4000	4000–12000	10000–50000	25000–55000	100000–140000
Bestückverfahren	sequentiell, Pick & Place	sequentiell, Pick & Place	sequentiell, Pick & Place	sequentiell, Revolverkopf	sequentiell, Revolverkopf	Pick & Place oder sequentiell/ simultan
Leiterplattenwechsel	manuell	manuell oder automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch
Anzahl Bauelementetypen	oft < 60	60–120	60–300	80–300	80–300	100–200
Flexibilität	hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	hoch	gering
Ausbaumöglichkeiten	beschränkt	vielfältig	vielfältig	vielfältig	vielfältig	gering
Zielgruppe/Anwendungsbereich	Kleinserien, Prototypenfertigung, Ausbildung	Lohnbestücker, mittelständische Unternehmen	Lohnbestücker, mittelständische und große Unternehmen	mittelständische und große Unternehmen, leistungsorientierte Fertigung	mittelständische und große Unternehmen, leistungsorientierte Fertigung	Großunternehmen der Konsumgüterindustrie oder Stückzahlen wie Konsumgüterindustrie

Tabelle 5-1 Klassifizierung von SMD-Bestücksystemen nach der Bestückleistung.

5.1.2 Einteilung nach Leistungskriterien

- Eine weitere Möglichkeit, das breite Spektrum an SMD-Bestückautomaten einzuteilen, ist die Klassifizierung nach der stündlichen Bestückleistung. Dabei hat sich die Aufteilung in folgende sechs Gruppen bewährt:
- Einstiegssysteme
- Standardsysteme
- Hochleistungssysteme Pick & Place
- Hochleistungssysteme Chip Shooter
- simultan arbeitende Hochleistungssysteme
- Höchstleistungsbestücker

Eine Übersicht über die wesentlichen Merkmale der Gruppen zeigt Tabelle 5-1, wobei in Einzelfällen ein Über- bzw. Unterschreiten der angegebenen Daten möglich ist.

5.1.3 Pick & Place Systeme

Bei Pick & Place Maschinen erfolgt der komplette Bestückvorgang der Bauelemente sequentiell. Der Bestückkopf holt ein Bauelement aus einem Zuführmodul (Pick), transportiert es zur Bestückposition und setzt es auf die Leiterplatte (Place). Erst danach wird das nächste Bauelement aus einem Zuführmodul abgeholt.

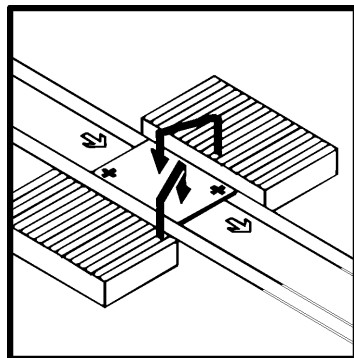
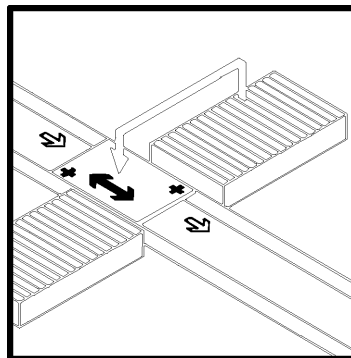
Um ein Bauelement aufzunehmen und zu bestücken, ist es notwendig, den Bestückkopf relativ zu den Zuführmodulen und zur Leiterplatte zu positionieren. Um dies zu erreichen, sind zwei konstruktive Varianten möglich (Bild 5.6). Beide Varianten werden bei SMD-Bestückautomaten eingesetzt.

Ist die Leiterplatte feststehend, muß der Bestückkopf über ein zweiachsiges Portalsystem positionierbar sein. Bei einer positio-

nierbaren Leiterplatte (bei den beiden anderen Varianten) genügt ein einachsiges Positioniersystem für den Bestückkopf.

Leiterplatte bewegt

Bauelementezuführung feststehend



Leiterplatte feststehend

Bauelementezuführung feststehend

Abb. 5-5 Verschiedene konstruktive Varianten bei Pick & Place Bestücksystemen

Bei einer bewegten Leiterplatte besteht aufgrund der für hohe Bestückleistungen notwendigen Beschleunigungskräfte die Gefahr, daß bereits bestückte Bauelemente verrutschen. Gefährdet sind insbesondere zylindrische Bauformen (MELF Bauelemente) sowie niederpolige große oder schwere Bauelemente (z.B. große Kondensatoren, Leistungsdioden und -transistoren, HF-Drosseln, Relais). Gerade niederpolige schwere Bauelemente werden aber heute vermehrt eingesetzt, da man bestrebt ist, alle bedrahteten Bauelemente - soweit möglich - durch SMD-Bauelemente zu ersetzen. Das Problem des Verrutschens läßt sich nur durch eine Reduzierung der Bestückgeschwindigkeit lösen. Derartige Systeme werden deshalb heute immer seltener eingesetzt.

Pick & Place Bestücksysteme werden heute vorwiegend zur Bestückung von hochpoligen Bausteinen und Fine Pitch Bauelementen eingesetzt (Fine Pitch Placer). Diese Maschinen zeichnen sich durch eine äußerst hohe Flexibilität aus und lassen sich mit automatischen Zuführsystemen für die unterschied-

lichsten Gehäusetyten ausstatten. Visionsysteme, Module zur Koplanaritätsmessung von Bauelementanschlüssen und die Möglichkeit, verschiedene Gehäusetyten in Bezug auf Bewegungsablauf, Bewegungsdynamik und Aufsetzkraft individuell zu behandeln, sorgen für eine hohe Bestücksicherheit.

Selbstverständlich sind Pick & Place Systeme auch zur Bestückung von Standard-Bauelementen geeignet, sie sind also in der Lage, nahezu das gesamte Bauelementspektrum bestücken (General Purpose Placer). Aufgrund der hohen Bestückgenauigkeit können je nach Maschinenkonzept auch kleinste Bauelemente bis zur Größe 0402 bestückt werden. Bei höheren Stückzahlen sollten aber zur Bestückung von Standard-Bauelementen Collect and Place oder eventuell auch Chip Shooter Systeme vorgezogen werden, die durch ihre um ein Vielfaches höhere Bestückleistung geringere Bestückkosten ermöglichen.

Neben den aufwendigen Automaten zur Fine Pitch Verarbeitung gibt es auch kostengünstige Pick & Place Systeme zur Fertigung kleiner Stückzahlen.

5.1.4 Chip Shooter-Konzepte

Den bei hohen Stückzahlen steigenden Anforderungen an die Bestückleistung konnten Pick & Place Bestücksysteme nicht mehr gerecht werden. Sie entwickelten sich daher zunehmend zu spezialisierten Systemen für die Bestückung von hochpoligen und Fine Pitch Bauelementen. Die Bestückung von Chip-Bauelementen und niedrigpoligen Bauelementen übernahmen Chipshooter, bei denen das Pick & Place Prinzip weiterentwickelt wurde, um bei reduzierter Flexibilität eine möglichst hohe Bestückleistung zu erzielen.

Bei entsprechenden Stückzahlen wird diese Arbeitsteilung realisiert, indem Fine Pitch Placer mit Chipshooter verkettet werden. Jede Maschine übernimmt dann die Bestückung der entsprechenden Bauelemente. Bezüglich der Kriterien Flexibilität, Bestückleistung und -genauigkeit kann der Bestückprozeß so optimiert werden.

Es gibt eine ganze Reihe von konstruktiven Möglichkeiten, hohe Bestückleistung

gen bei Chipshootern zu erzielen. Im folgenden werden beispielhaft vier bedeutende Prinzipien besprochen.

Bestück-Karussell mit feststehender Bauelemente-Zuführung

Das Chip Shooter System nach Bild 5.7 arbeitet mit einem großen, ortsfesten Bestück-Karussell und einer Vielzahl von Saugpipetten (bis zu 120). Die Bauelemente werden von den Saugpipetten aus feststehenden Zuführmodulen übernommen, die um das Bestück-Karussell herum angeordnet sind. Durch schrittweises Weiterdrehen des Karussells werden sie zur Bestückstellung

transportiert. Um die Bestückposition zu erreichen, wird die Leiterplatte während der Karusselldrehung positioniert.

Beurteilung des Bestückprinzips:

- Durch das schnelle Positionieren der Leiterplatte besteht die Gefahr des Verrutschens bereits bestückter Bauelemente, d.h. die Bestückleistung wird je nach BE-Größe reduziert.
- Die Zuführmodule sind feststehend, Nachfüllen der Bauelemente während des Bestückens und Schüttgutverarbeitung sind also prinzipiell möglich.
- Die Größe des Bestück-Karussells begrenzt die maximale Anzahl der Zuführmodule.

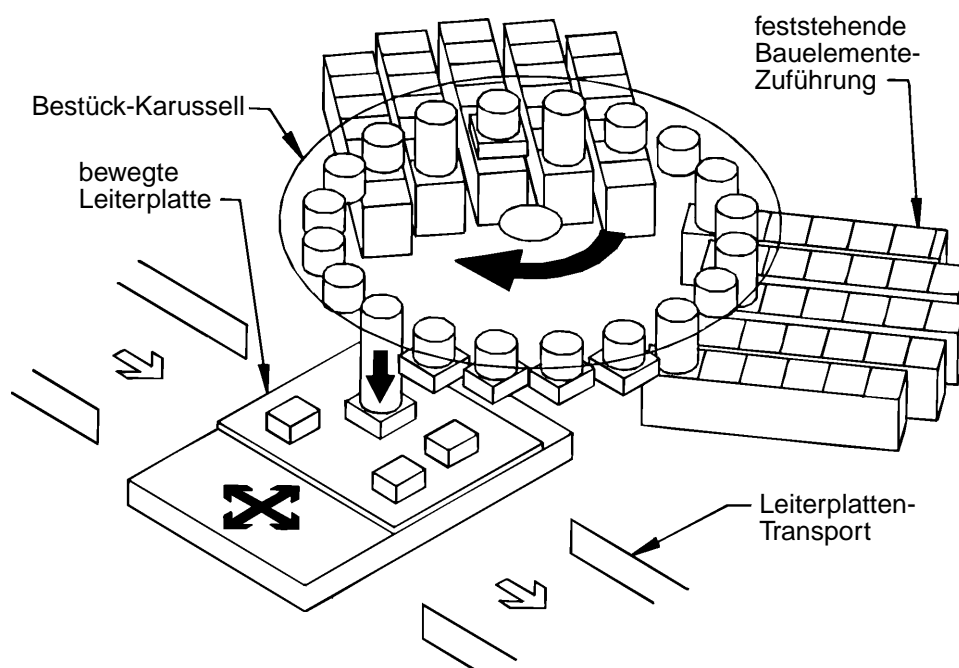


Abb. 5-6 Chip Shooter Variante mit ortsfestem Bestück-Karussell und feststehenden Zuführmodulen. Vor dem Absetzen jedes Bauelements wird die Leiterplatte entsprechend positioniert.

- Zuführmodule und Leiterplatte sind gut, das Bestück-Karussell ist relativ gut zugänglich.
- Die ungenügende Genauigkeit beim Abholen (bedingt durch die Fixierung der Abholposition durch die Mechanik) macht die Verarbeitung kleiner Bauelemente der Größe 0603 und 0402 praktisch unmöglich.
- Der Zugriff auf alle Zuführmodule erfolgt wahlfrei, d.h. ein zeitintensives Positionieren der Module ist nicht erforderlich.
- Durch die sehr schwierige Sequenzbildung hinsichtlich optimaler Bestückleistung aufgrund der hohen Anzahl an Pipetten wird der Anteil dieser Maschinen deutlich zurückgehen.

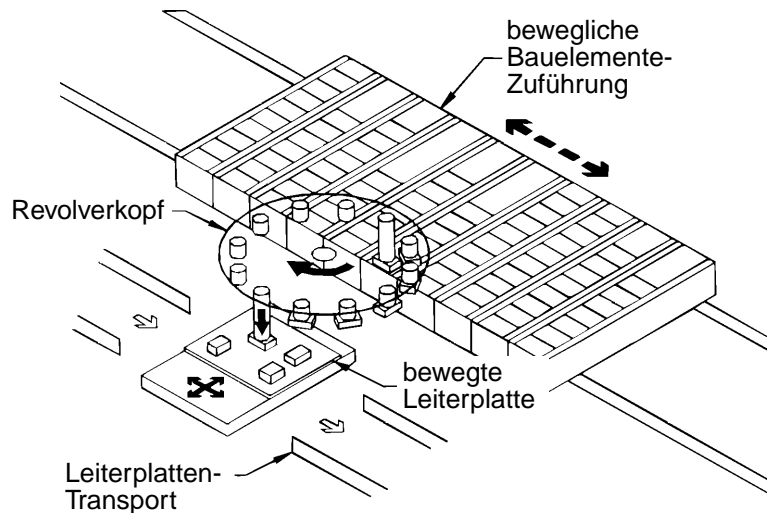


Abb. 5-7 Chip Shooter Variante mit Revolverkopf und Zuführmodulen auf einem verfahrbaren Bauelementetisch.

Revolverkopf mit verfahrbarer Bauelemente-Zuführung

Die am weitesten verbreitete Chip Shooter Variante mit Zuführmodulen auf einem verfahrbaren Bauelementetisch zeigt Abb. 5-7. Gegenüber der Version mit ortsfester Bauelement-Zuführung kann auf eine deutlich höhere Anzahl an Zuführmodulen zugegriffen werden.

Das Absetzen eines Bauelements auf die Leiterplatte und die Aufnahme eines neuen Bauelements aus einem Zuführmodul erfolgt gleichzeitig. Während der Revolverkopf um einen Schritt weiterdreht, wird die Leiterplatte für das nächste zu bestückende Bauelement positioniert und der Bauelementetisch - falls notwendig - verfahren.

- Beurteilung des Bestückprinzips:
- Durch das schnelle Positionieren der Leiterplatte besteht die Gefahr des Verrutschens bereits bestückter Bauelemente, d.h. die Bestückleistung wird je nach BE-Größe reduziert.
- Die Zuführmodule sind verfahrbar, das Nachfüllen der Bauelemente während des Bestückens ist nicht möglich. Es gibt auch Maschinen mit einem zwei- oder viergeteiltem Bestücktisch, der ein Nachfüllen der einen Hälfte der Module erlaubt, während aus der anderen Hälfte bestückt wird.

Dadurch wird aber die Anzahl der im Zugriff stehenden Zuführmodule auf die Hälfte reduziert.

- Wegen der verfahrbaren Zuführmodule ist die Schüttgutverarbeitung aus Bulk Cases problematisch.
- Durch die bei einigen Modellen fehlende Positionierbarkeit der Saugpipetten an der Abholposition in radialer Richtung des Revolverkopfes ist die Verarbeitung von Bauelementen der Größe 0402 aus Genauigkeitsgründen erschwert.
- Zuführmodule, Revolverkopf und Leiterplatte sind gut zugänglich.
- Die optimale Bestückleistung wird meist nur dann erreicht, wenn der Bauelementetisch während des Weiterschaltens des Revolverkopfes um maximal eine Zuführspur verfahren werden muß. Andernfalls nimmt die Bestückleistung stark ab. Desweiteren werden die Bauteile abhängig von deren Masse mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bestückt.
- Aus diesen Gründen ist es notwendig, daß bei einem Loswechsel die Anordnung der Zuführmodule im Hinblick auf die Bestückreihenfolge zu optimieren ist. Daraus resultiert ein beträchtlicher Umrüstaufwand. Eine Festrüstung häufig genutzter Bauelemente ist im Hinblick auf die Bestückleistung nicht sinnvoll. Deshalb ist

dieses Bestückprinzip vorwiegend für hohe Stückzahlen geeignet, die selten ein Umrüsten erfordern.

- Durch zeitgleiches Abholen und Bestücken von Bauelementen sind hohe Bestückgeschwindigkeiten möglich, die aber stark von der realen Bestückleistung abweichen.

Revolverkopf an zweiachsigem Portalsystem (Collect & Place)

Eine weitere Chip Shooter Variante arbeitet mit zwei Revolverköpfen mit horizontaler Drehachse (Abb. 5-8). Der Transport der Bauelemente von der Abhol- zur Bestückposition erfolgt hierbei nicht durch Drehen des Bestückkopfes, sondern durch ein zweiachsiges Portalsystem, mit dessen Hilfe der Bestückkopf alle erforderlichen Positionen anfahren kann. Dadurch kann auf das Positionieren der Leiterplatte verzichtet werden. Auch die beidseitig der Leiterplatte angeordneten Zuführmodule sind feststehend.

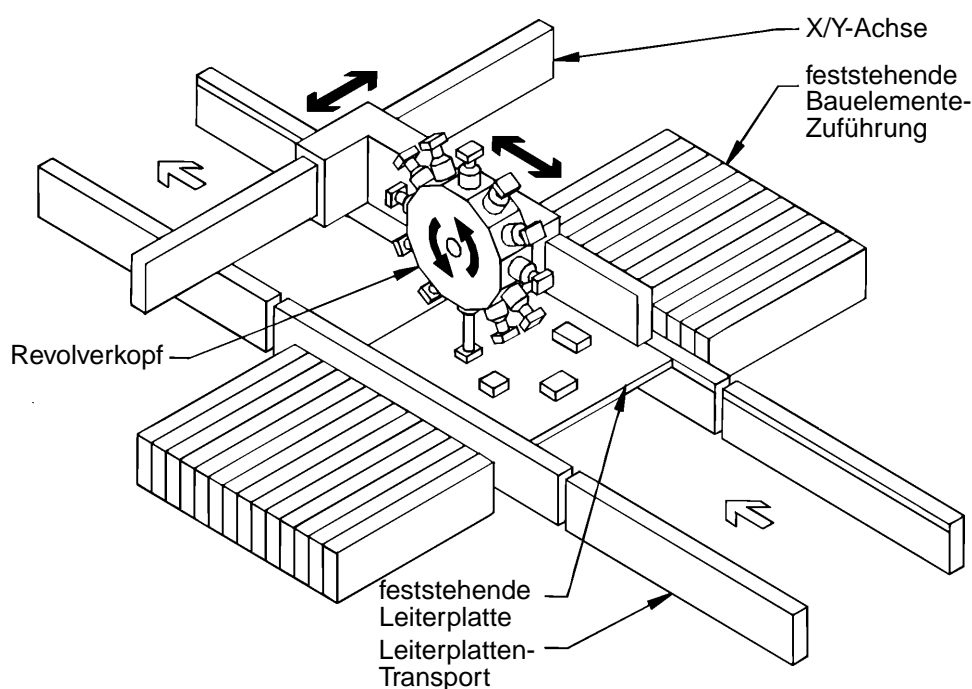


Abb. 5-8 Chip Shooter Variante mit einem Revolverkopf an einem zweiachsigem Portalsystem. Durch die freie Positionierbarkeit des Bestückkopfes kann auf ein Bewegen der Leiterplatte verzichtet werden.

Ein Bestückzyklus wird durch das sequentielle Aufnehmen von insgesamt zwölf Bauelementen eingeleitet. Dabei nimmt der Bestückkopf jeweils ein Bauelement mit einer der zwölf Saugpipetten aus einem Zufuhrmodul auf, fährt dann - falls notwendig - eine neue Abholposition an und dreht sich gleichzeitig weiter, bis sich die nächste Saugpipette unten in Aufnahme position befindet (Abb. 5-9).

Das Absetzen der Bauelemente auf die Leiterplatte erfolgt auf die gleiche Weise. Aufgrund der Arbeitsweise wird diese Chip Shooter Variante auch Collect & Place genannt.

Durch die meist sehr kurzen Verfahwege und die geringe Taktzeit für das Weiterdrehen des Kopfes werden sehr hohe, reale Bestückleistungen erreicht. Durch Optimierung der Bestückreihenfolge werden die Verfahwege verkürzt.

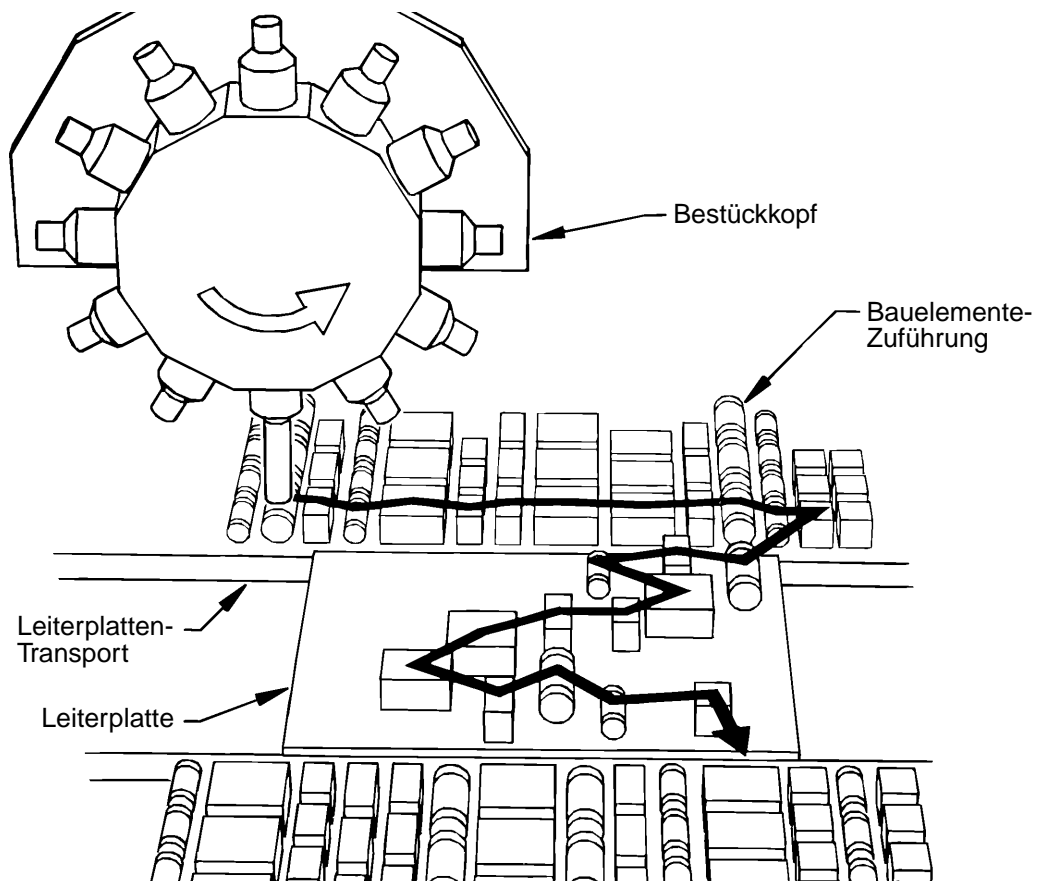


Abb. 5-9 Sammeln und Bestücken (Collect & Place) der Bauelemente bei der Chip Shooter Variante mit Revolverkopf an einem zweiachsigem Portalsystem. Die schwarze Linie zeigt die Bahn der jeweils untenstehenden Saugpipette.

Um verschiedene Bauelementgrößen sicher aufnehmen zu können, werden unterschiedliche Saugpipetten eingesetzt. Diese werden bei einem Loswechsel automatisch gewechselt.

- Beurteilung des Bestückprinzips:
- Durch die feststehende Leiterplatte besteht keine Gefahr des Verrutschens von bereits bestückten Bauelementen. Eine Reduzierung der Bestückgeschwindigkeit ist deshalb nicht erforderlich.
- Die beidseitige Anordnung der Zuführmodule ermöglicht eine sehr kompakte Bauweise und damit ein gutes Verhältnis von Aufstellfläche zu Leistung.
- Die feststehenden Zuführmodule erlauben ein Nachfüllen der Bauelemente und ein Anspießen der Gurte während des Bestückbetriebs sowie die Verarbeitung von Schüttgut.
- Die freie Positionierbarkeit des Bestückkopfes in beiden Achsrichtungen ermöglicht ein individuelles Anpassen der Abhol-

position an die einzelnen Zuführmodule. Dadurch wird die zuverlässige Verarbeitung von Bauelementen der Größe 0402 gewährleistet.

- Der wahlfreie Zugriff auf alle Zuführmodule erlaubt die Festrüstung von Bauelementen bei häufigen Loswechseln, so daß der Umrüstaufwand gering bleibt. Durch die schnelle Positionierbarkeit des Bestückkopfes in Verbindung mit einer Bestückreihenfolge-Optimierung ist auch bei nicht optimaler Verteilung der Bauelemente auf die Zuführmodule nur mit geringen Einbußen bei der Bestückleistung zu rechnen.
- Die horizontale Lage der Drehachse des Revolverkopfes erlaubt die ortsfeste Anbringung verschiedener Arbeitsstationen in der Peripherie des Kopfes (Abb. 5-10). So kann z.B. die Bestücksicherheit durch eine elektrische Identitätsprüfung zweipoliger Bauelemente (CRDL-Messung) erhöht werden, ohne die Bestückleistung zu verringern.

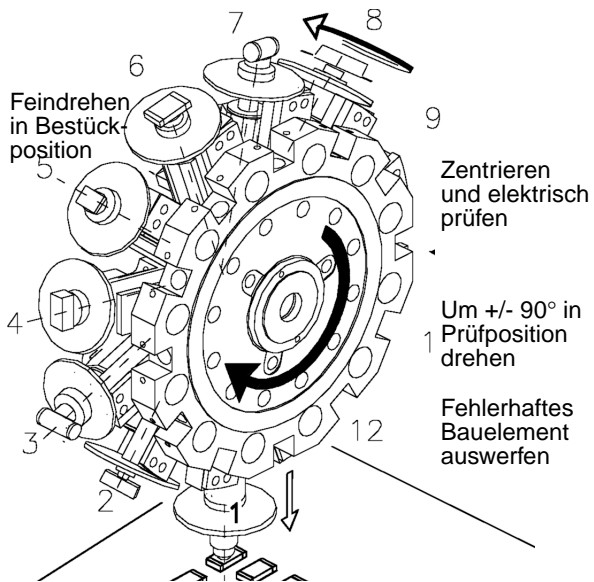


Abb. 5-10 Integration verschiedener Funktionen in der Peripherie des Revolverkopfes mit horizontaler Drehachse.

Eine konsequente Umsetzung des Collect & Place Prinzips ermöglicht eine weitere Steigerung der Bestückleistung. Analysiert man den zeitlichen Ablauf bei Verwendung eines Revolverkopfes, stellt man fest, daß nur die Hälfte der Zeit für den eigentlichen Bestückvorgang verwendet wird. In der restlichen Zeit werden die Bauelemente vom Bestückkopf aufgenommen. Daher ist es naheliegend, einen zweiten Bestückkopf einzusetzen, der Bauelemente auf die Leiterplatte setzt, während der erste neue Bauelemente aufnimmt. Abb. 5-11 zeigt das Prinzip, das seit einigen Jahren bei Bestückautomaten Verwendung findet.

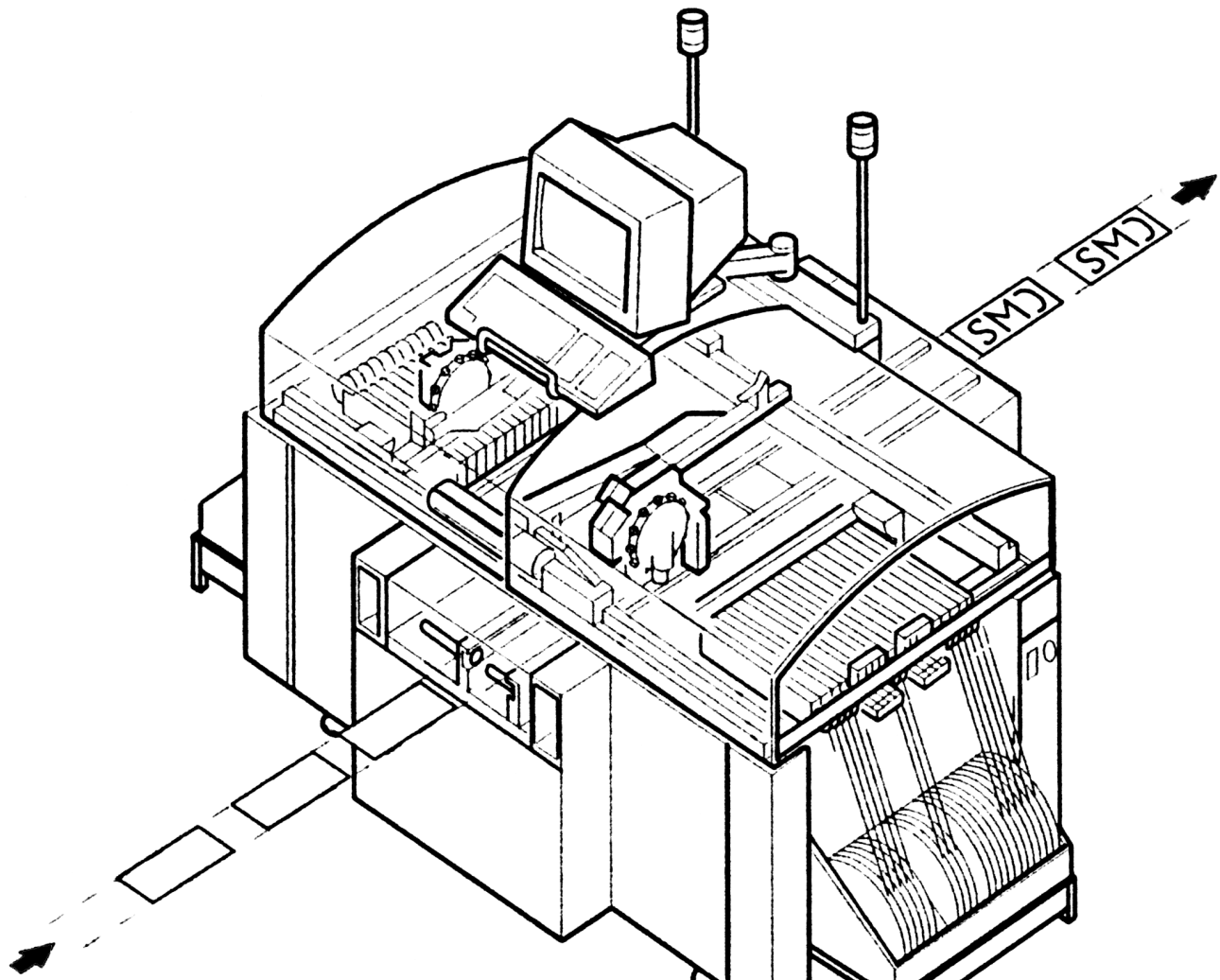


Abb. 5-11 Collect & Place Variante mit zwei Revolverköpfen an einem Doppelportalsystem. Während ein Bestückkopf neue Bauelemente aufnimmt, setzt der andere seine aufgenommenen Bauelemente auf die Leiterplatte.

Beide Bestückköpfe sind jeweils über ein zweiachsiges Portalsystem unabhängig voneinander positionierbar. Einzige Einschränkung ist ein notwendiger Sicherheitsabstand zwischen den beiden Köpfen zur Vermeidung einer Kollision. Ein unbedingt erforderliches Verfahren zur Kollisionsvermeidung ist aber wegen der beiden orthogonalen Linearachsen einfach zu realisieren und stellt auch wegen der zeitlich genau definierten Arbeitsteilung keinerlei Einschränkung für den Arbeitsablauf dar.

Während der erste Bestückkopf zwölf Bauelemente aus den Zuführmodulen aufnimmt, setzt der zweite Kopf seine zwölf Bauelemente auf die Leiterplatte. Danach gibt er den Bestückbereich über der Leiterplatte für den ersten Kopf frei und nimmt neue Bauelemente auf. Da die beiden Köpfe nicht aneinander vorbeifahren können, greift jeder von ihnen jeweils nur auf einer Seite auf die Zuführmodule zu. Die zu bestückenden Bauelemente werden also gleichmäßig auf beide Seiten verteilt. Die optimale Konfiguration der Zuführmodule wird von Optimierungsprogrammen ermittelt.

Das Collect & Place System mit zwei Revolverköpfen auf einem Doppelportalsystem zeichnet sich durch eine sehr weitgehende Symmetrie in Bezug auf Antriebssystem und Aufbau der beiden Portalsysteme, der Bestückköpfe und auch des Bestückablaufs aus. Daher wird im Vergleich zu einer entsprechenden Maschine mit nur einem Revolverkopf nahezu die doppelte Bestückleistung erreicht. Bezüglich der Beurteilung des Bestückprinzips gilt entsprechendes wie bei der Variante mit einem Revolverkopf.

Revolverkopf und Fine Pitch Kopf an einem Portalsystem

Bei der neu entwickelten Collect & Place Variante nach Abb. 5-12 handelt es sich um eine Fine Pitch Maschine, die neben dem Fine Pitch Kopf einen Revolverkopf mit horizontaler Drehachse zum schnellen Bestücken von Standardbauelementen enthält. Damit kann mit einem solchen System das gesamte Bauelementspektrum wirtschaftlich bestückt werden.

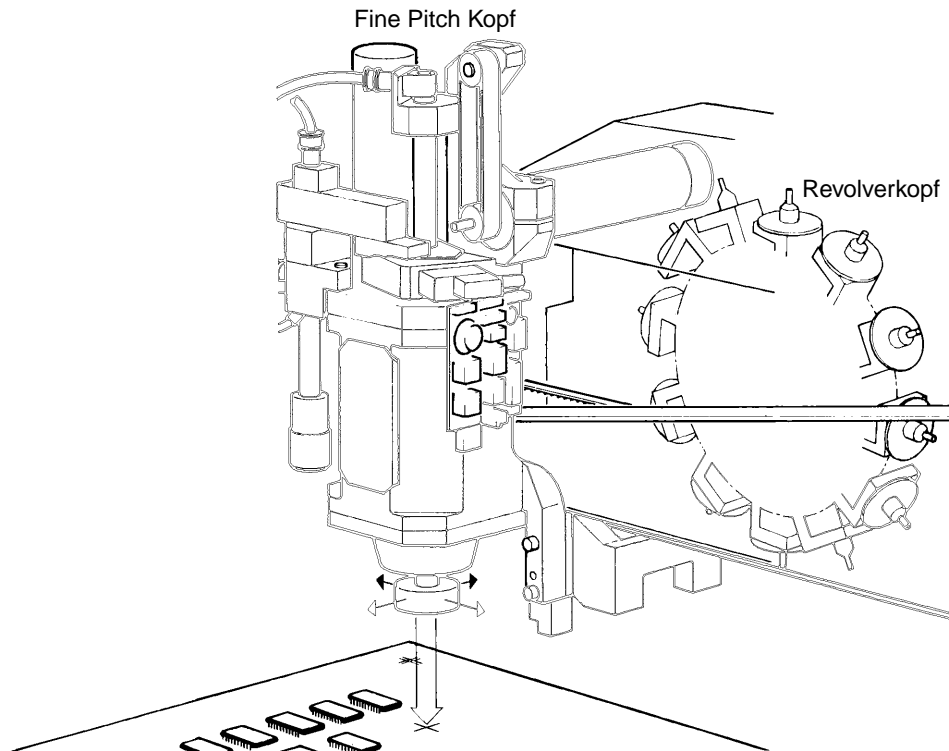


Abb. 5-12 Chip Shooter Prinzip mit einem Revolverkopf und einem Fine Pitch Kopf an einem zweiachsigen Portalsystem.

Die beiden Bestückköpfe befinden sich an einem gemeinsamen, zweiachsigen Portalsystem und kommen jeweils nacheinander zum Einsatz. Der Fine Pitch Kopf arbeitet nach dem Pick & Place Prinzip und ermöglicht eine hohe Bestückgenauigkeit. Der Revolverkopf arbeitet nach dem Chip Shooter (oder Collect & Place) Verfahren und erreicht beim Bestücken aller Standardbauelemente bis hinunter zur Größe 0402 eine hohe Bestückleistung.

Grundsätzlich gelten für dieses Bestücksystem die gleichen Beurteilungskriterien wie für die Variante mit einem Revolverkopf am zweiachsigen Portalsystem. Leiterplatte und Zuführmodule sind feststehend, was zu den bereits beschriebenen Vorteilen führt.

Ein Fine Pitch Automat mit der Möglichkeit zur schnellen Bestückung von Standardbauelementen kann in vielen Fällen die Wirtschaftlichkeit einer Bestücklinie erhöhen. Häufig befinden sich auf Leiterplatten nur wenige (1 bis 5) Fine Pitch Bauelemente, so daß ein reiner Fine Pitch Automat nur unzureichend ausgelastet ist. Bei der zusätzlichen Bestückung von Standardbauelementen auf einem Fine Pitch Automaten ergeben sich aufgrund der geringen Bestückleistung und der relativ hohen Anschaffungskosten des Automaten aber sehr hohe Bestückkosten pro Bauelement. Durch einen zusätzlichen, schnellen Revolverkopf lassen sich in der zur Verfügung stehenden Zeit weit mehr Bauelemente bestücken, so daß sich deutlich geringere Bestückkosten ergeben. In einigen Fällen kann dann sogar auf den Einsatz eines nur teilweise ausgelasteten Chipshooters Maschine in der Bestücklinie verzichtet werden.

5.1.5 Leistungsbetrachtung verschiedener Chip Shooter-Konzepte

Da sich die erreichbaren Leistungen der verschiedenen Konzepte hinsichtlich der angegebenen Leistungen stark voneinander unterscheiden, soll hier ein kurze Vergleich der beiden z.Zt. gebräuchlichsten Konzepte angestellt werden.

Bestückleistung

Durch das Collect & Place Prinzip mit Revolverköpfen auf X/Y Protalen wird eine reale Bestückleistung erzielt, die sehr nahe der theoretischen Leistung ist. Alle Bauelemente werden unabhängig von der Größe mit der gleichen Bestückgeschwindigkeit plaziert. Eine hohe reale Bestückleistung über das gesamte Bauelementespektrum ist somit gewährleistet.

Bei einem Chip-Shooter wird in diesem Zusammenhang von einer Taktzeit pro Bauelement gesprochen, die dann auf eine Bestückleistung hochgerechnet wird. Dieser errechnete Wert kann allerdings nicht in einem Bestücktest, der Leiterplattenwechsel- und Markenerkennungszeiten beinhaltet, nachgewiesen werden. Daher erlaubt diese Angabe keine Orientierung am praktischen Einsatz.

Taktzeit

Die Taktzeit entspricht der Zeit, die nötig ist, ein Bauelement aufzunehmen und zu bestücken.

	SIPLACE HS-50	SIPLACE S-23 HM	SIPLACE F5 HM
Taktzeit	70 ms	140 ms	280 ms
Bestückköpfe	4	2	1
max. Bestückleistung	50.000 BE/h	23.000 BE/h	11.500 BE/h

Tabelle 6: Taktzeit / Bestückleistung von SIPLACE-Maschinen

Beim SIPLACE Revolverkopf ist die Taktzeit pro Bauelement für alle Bauelemente gleich. Um realistische und praxisnahe Werte zu erhalten, werden bei der Ermittlung der Taktzeit pro Bauelement tatsächlich Bauelemente bestückt. Damit wird die Taktzeit pro Bauelement ermittelt, diese liegen heute bei ca. 140 ms (0,14 s).

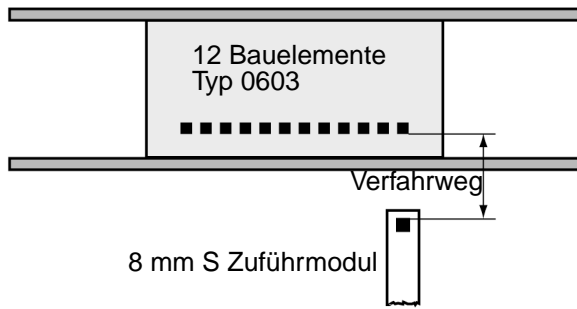


Abb. 5-13 Festgelegter Meßvorgang zur Ermittlung einer realistischen Taktzeit

Beim Chipshooter hingegen wird für jede Gehäuseform eine bestimmte Taktzeit vorgeschrieben, die z.B. zwischen 0,09 und 0,65 s liegt. Daraus folgt eine Bestückgeschwindigkeit zwischen 5.500 und 40.000 Bauelementen pro Stunde. Vergleicht man die Durchschnittswerte beider Konzepte, stellt man fest, daß die Abweichung deutlich geringer als zunächst angenommen ist. Die maximale theoretische Bestückleistung der SIPLACE S-23 HM liegt bei ca. 25.700 BE/h für alle Bauelemente. Die maximale Leistung, bezogen auf die Taktzeit pro Bauelement, von einem schnellen Chipshooter liegt zwischen 5.500 und 40.000 BE/h, stark abhängig vom zu verarbeitenden Bauelementespektrum.

Bauelement	Hochleistungs-Chipshooter	SIPLACE 80 S-23
0402	0,09 s	0,14 s
0603	0,09 s	0,14 s
0805	0,09 s	0,14 s
1206	0,14 s	0,14 s
SOT23	0,12 s	0,14 s
DPAK	0,20 s	0,14 s
Tant A	0,16 s	0,14 s
Tant B	0,20 s	0,14 s
Tant C	0,20 s	0,14 s
Tant D	0,25 s	0,14 s
ALU E	0,40 s	0,14 s
TRIM POT	0,30 s	0,14 s
TRIM CAP	0,40 s	0,14 s
COIL	0,40 s	0,14 s
SO 28 L	-	0,14 s

Tabelle 7: Verschiedene Bauelemente und deren Taktzeit

Grund hierfür ist die durch den größeren Bestückkarusselldurchmesser des Chip-Shooters steigende Zentrifugalkraft, vor allem bei großen Bauelementen. Bei zu hohen Bestückgeschwindigkeiten würden die Bauelemente dadurch von der Pipette geschleudert werden. Deshalb ist bei Chipshootern mit Turret-Kopf immer das größte/schwerste Bauelement taktbestimmend. Bei SIPLACE-Maschinen werden alle Bauelemente mit der gleichen Taktzeit bestückt.

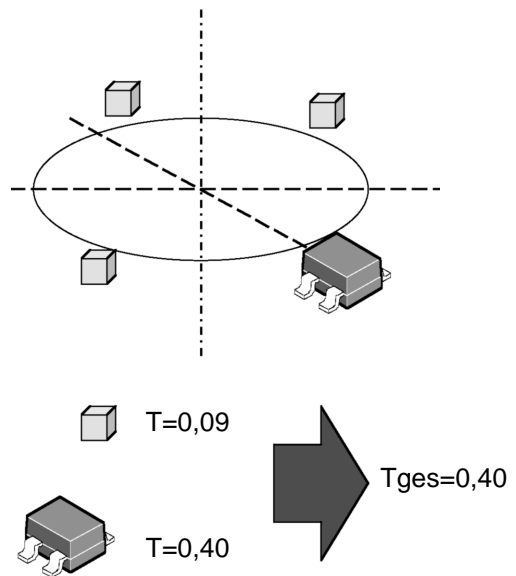


Abb. 5-14 Chipshooter

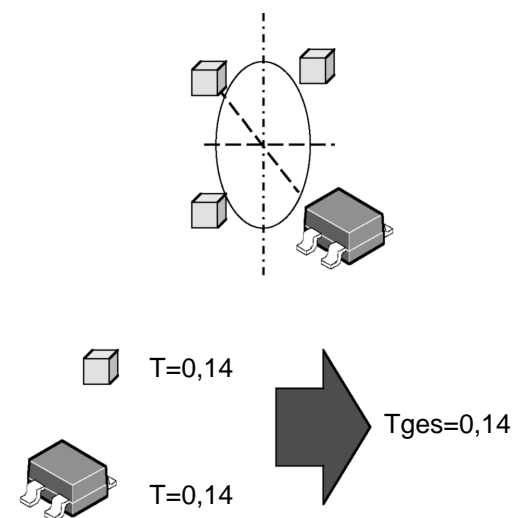


Abb. 5-15 SIPLACE

Taktzeitwechsel

Da beim SIPLACE-Prinzip alle Gehäuseformen mit der gleichen Taktzeit bestückt werden, stellt sich dieses Problem bei diesen Automaten nicht.

Jedoch tritt es beim Chip-Shooter aufgrund der unterschiedlichen Taktzeiten verstärkt auf. Wird zum Beispiel ein Bauelement mit einer Taktzeit von 0,5 s aufgenommen und befinden sich im Bestückkarussell Bauteile, die mit 0,14 s bestückt werden könnten, so werden alle diese Bauteile mit einer Taktzeit von 0,5 s bestückt werden. Wenn dieser Vorgang nur einmal pro Leiterplatte auftritt, so ist der Zeitverlust relativ gering. Dieser verstärkt sich jedoch bei chaotischen Rüstungen der Bauelemente, d.h. bei Rüstungen, bei denen die Taktzeiten der Bauelemente nicht berücksichtigt wurden. Ist dies der Fall, fallen diese Taktzeitwechsel sehr stark ins Gewicht.

Die Lösung diese Problems wäre entweder durch genau durchorganisierte Rüstungen der Bauelemente oder die Reduzierung der Anzahl der Bestückköpfe zu erreichen. Da diese Reduzierung jedoch zu einem deutlichen Leistungsverlust führen würde, müssen zur Vermeidung der Taktzeitwechsel die Bauteile nach größer werdenden Taktzeiten auf den Fördertisch angeordnet werden. Dies ist eine implizite Bedingung, die sich aus dem Arbeitsprinzip des Chip-Shooter ergibt.

In einem engen Zusammenhang dazu steht die Verfahrensoptimierung, für die es zwei Möglichkeiten gibt:

Die Wegoptimierung der Bestückpositionen oder die Wegoptimierung des Fördertisches. Auch hierbei ist die Reihenfolge der gerüsteten Bauteile von entscheidender Bedeutung und widerspricht immer der taktzeitoptimierten Rüstung.

5.2 Bauelementezuführung

SMD-Bauelemente werden in verschiedenen Verpackungsformen geliefert. Bei den meisten Bauelementen kann der Anwender zwischen zwei oder mehreren Verpackungsarten wählen. Die Anlieferform der Bauelemente bestimmt dann auch die notwendigen Zuführmodule (Feeder) für den Bestückautomat.

Je nach Art des Bauelements, Anwendungsfall, Bestückautomat, der erforderlichen Stückzahl und der auf dem Markt verfügbaren Verpackungsarten ist jeweils die geeignete Anlieferform zu bestimmen. An die unterschiedlichen Verpackungsformen werden dabei - je nach speziellem Anwendungsfall entsprechend gewichtet - folgende Anforderungen gestellt:

- Hohe Wirtschaftlichkeit
- Sicherheit vor Beschädigung der Bauelemente bei Transport und Verarbeitung
- Schutz gegen Verdrehen/Verpolung der Bauelemente
- Sicherheit vor Verwechslungen mit anderen Bauelementen
- Möglichkeit der Verifizierung über Barcode
- Schnelles und einfaches Umrüsten bei Loswechseln
- Anzahl von Bauelementen pro Verpackungseinheit entsprechend dem Bedarf
- Hohe Zuführungsgeschwindigkeit beim Bestücken
- Große Verbreitung auf dem Bauelemente-Weltmarkt
- Möglichkeit der umweltfreundlichen Entsorgung der Verpackung
- Geringer Platzbedarf und geringes Gewicht
- Einheitliche Lagerhaltung

Wurden in den Anfangsjahren der SMD-Verarbeitung vorwiegend Bauelemente in Stangenmagazinen und - bei entsprechenden Stückzahlen - als Schüttgut bezogen, so hat sich heute der Gurt als bedeutendste Verpackungsart durchgesetzt. Viele Bauelementtypen wie z.B. Fine Pitch Bausteine werden aber weiterhin in anderen Verpackungsformen verarbeitet werden.

Die Schüttgutverarbeitung gewinnt heute wieder zunehmend an Bedeutung. Dieser Trend wird hauptsächlich begünstigt durch die Abfallproblematik bei den Gurten, durch die Einführung von immer kleineren passiven Bauelementen und durch die Gurtkosten selbst.

Analog zu der bei den Bestückautomaten in den letzten Jahren erfolgten Steigerung der Flexibilität und der Bestückleistung sind auch

die Anforderungen an Bauelemente-Zuführsysteme gewachsen. So verlangt eine hohe Bestückleistung eine ausreichend kurze Taktzeit der Zuführmodule. Die Verarbeitung von kleinen Bauelementen bis zur Größe 0402 erfordert eine hohe Genauigkeit der Abholposition. Der Feeder muß das Anspießen von Gurten während des Betriebes ermöglichen. Eine hohe Produktvielfalt und entsprechend kleine Losgrößen führen zu häufigen Umrüstvorgängen. Hierbei sind kurze Stillstandszeiten gefordert, um die Bestückkosten niedrig zu halten. Die Zuführmodule müssen also ein schnelles Umrüsten ermöglichen. Eine bedeutende Verkürzung der Umrüstzeiten ist durch Bauelemente-Wechseltische erzielbar, bei denen der eigentliche Umrüstvorgang auf ein kollektives Auswechseln aller Zuführmodule reduziert wird.

Intelligente Feeder

Rüstfehler, die insbesondere bei schnellem Umrüsten nie ganz ausgeschlossen werden können, führen zu fehlerhaft bestückten Platinen und verursachen damit hohe Kosten. Durch entsprechende Kontrollsysteme lassen sich solche Rüstfehler schon vor dem Bestückvorgang schnell und sicher erkennen. Sogenannte intelligente Feeder sind in der Lage, Informationen über Typ der Zuführmodule, verschiedene einstellbare Parameter und vor allem die Daten des gerüsteten Bauelements zu speichern und dem Bestückautomaten zur Verfügung zu stellen. Dadurch kann nach einem Umrüstvorgang vom Steuerrechner der Maschine schnell und sicher überprüft werden, ob auf allen Zuführspuren die im Bestückprogramm benötigten Bauelemente verfügbar sind. Voraussetzung dafür

ist allerdings, daß die Feeder korrekt programmiert werden, wenn sie mit einem neuen Bauelement gerüstet werden.

Ein Nachteil der intelligenten Feeder ist ihr relativ hoher Preis. Dazu kommt, daß ein sinnvoller Einsatz für alle verarbeiteten Bauelemente eigene Feeder erfordert, da sonst beim Umrüsten der Bauelemente eine Neuprogrammierung der Feeder notwendig wird, die die Fehlerwahrscheinlichkeit wieder erhöht. Ein hohes Investment im Förderer ist die Folge.

Ein kostengünstigeres Konzept sieht nach einem Umrüstvorgang oder beim Nachrüsten ein Überprüfen des Bauelementtyps vor. Dazu wird mit einem Barcodeleser jeweils ein der Zuführspur zugeordneter und ein auf der Gurtrolle aufgebrachter Barcode gelesen. Auf diese Weise werden Rüstfehler sicher erkannt.

5.2.1 Gegurtete Bauelemente

Der Gurt stellt heute die wichtigste Verpackungsform für SMD-Bauelemente dar. Er ist sowohl für eine Fertigung mit hohen Stückzahlen geeignet als auch für kleine Losgrößen, die häufiges Umrüsten erforderlich machen. Die Bauelement-Zuführung über Gurte zeichnet sich durch folgende Vorteile aus:

- Schutz vor Verwechslung und Verpolung der Bauelemente.
- Kurze Zuführungstaktzeiten erlauben hohe Bestückleistungen.
- Hohe Bauelementekapazität vermeidet häufiges Nachfüllen.
- Umrüsten und Nachfüllen der Bauelemente ist relativ einfach möglich.
- Ein großer Teil des Bauelementespektrums ist gegurtet lieferbar.
- Einfache Lagerhaltung der Gurtspulen.

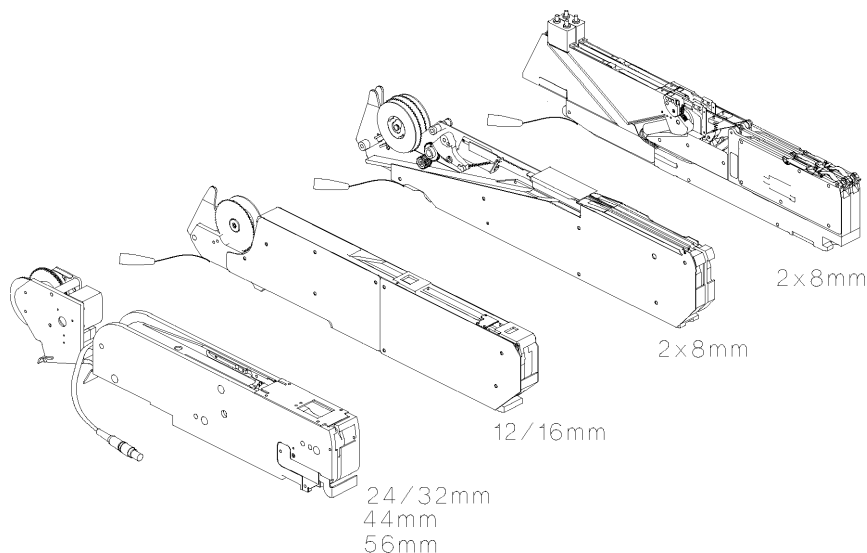


Abb. 5-16 Gurtzuführmodule für verschiedene Gurtbreiten. Die beiden 8 mm Module nehmen zwei Gurte auf, die beiden anderen nur einen.

Gurte finden heute in den Breiten 8 mm, 12 mm, 16 mm, 24 mm, 32 mm, 44 mm, 56 mm und 72 mm Verwendung. Je nach Gurtbreite kommen verschiedene Zuführmodule zum Einsatz (Abb. 5-16). Es gibt universelle Gurt-Zuführmodule, mit denen alle Bauelementtypen im Gurt der entsprechenden Breite verarbeitet werden können. Im Gegensatz dazu erlauben bauelementspezifische Gurt-Zuführmodule nur die Verarbeitung von Bauelementen, die entsprechende geometrische Anforderungen erfüllen. Universelle Zuführmodule erwiesen sich besonders bei Umrüstvorgängen und einem großen verarbeiteten Bauelementespektrum als vorteilhaft.

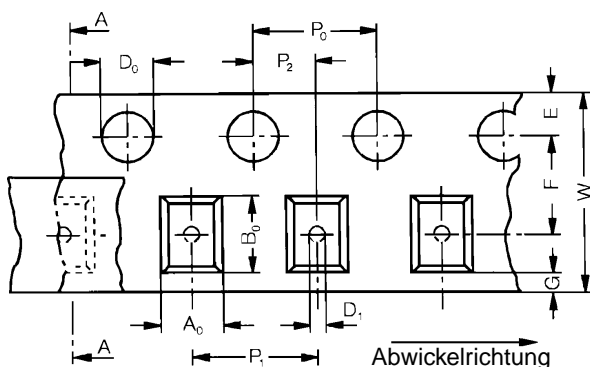


Abb. 5-17 Beispiel der Normung für Blistergurte nach DIN IEC 286-3. Die wichtigsten Gurttypen sind weltweit genormt.

Die wichtigsten Gurttypen sind weltweit genormt (Abb. 5-17). Als Material wird entweder Pappe (nur bei 8 mm) oder Kunststoff eingesetzt. Beim Pappgurt, der vorwiegend für Chip-Widerstände und Kondensatoren verwendet wird, werden die Freiräume für die Bauelemente ausgestanzt. Die Bauelemente werden durch beidseitige Abdeckfolien am Herausfallen gehindert. Kunststoffgurte haben Vertiefungen für die Bauelemente und benötigen nur auf einer Seite eine Abdeckfolie. Gurte besitzen am Rand eine Perforation, die ähnlich wie bei Filmen einen Weitertransport ermöglicht. Geliefert werden die Gurte auf Papp- oder Kunststoffrollen mit Durchmessern von 180 mm bis 380 mm bei typischen Bauelementkapazitäten von 3.000 bis 15.000 Stück.

Die wichtigste Gurtbreite von 8 mm wird vorwiegend für zweipolige Chip- und MELF-Bauformen sowie für Transistoren im SOT 23-Gehäuse verwendet. Größere Gurtbreiten dienen als Verpackung für größere passive Bauelemente, diskrete Halbleiterbauelemente und vor allem für ICs mit kleiner und mittlerer Polzahl (z.B. SO-Gehäuse). Bei Halbleitern kommen ausschließlich leitfähige Kunststoffgurte zum Einsatz, um Schäden durch elektrische Aufladung zu vermeiden. Gurt-Zuführmodule haben die Aufgabe, in der Bestückmaschine für eine störungsfreie Bereitstellung der Bauelemente aus dem

Gurt zu sorgen (Abb. 5-18). Der Gurt läuft dabei von der Rolle in das Modul hinein. Dort wird das Abdeckband vom Gurt abgezogen, so daß die Bauelemente an der Abholposition vom Bestückkopf nach oben entnommen werden können. Das abgezogene Abdeckband wird auf einer kleinen Rolle aufgewickelt. Der Leergurt wird aus dem Modul hinausgeführt und am Gurt-Schneidegerät automatisch zerkleinert. Dadurch kann das Bedienpersonal weiter entlastet werden. Siemens Zuführmodule können sowohl Gurte aus Kunststoff als auch aus Pappe aufnehmen.

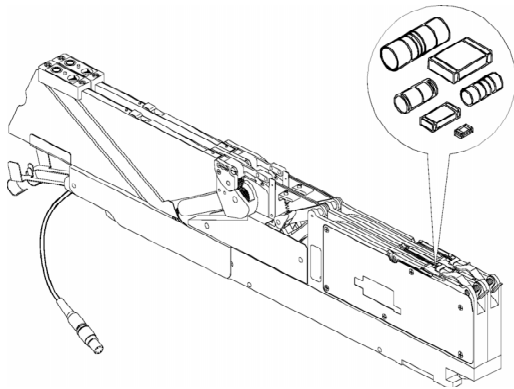


Abb. 5-18 Zuführmodul für zwei 8 mm Gurte. Im Modul werden die Abdeckbänder von den Gurten abgezogen und auf den beiden kleinen Rollen aufgewickelt. Vorne an den beiden Abholpositionen werden die Bauelemente vom Bestückkopf entnommen.

Nach der Entnahme eines Bauelements durch den Bestückkopf wird der Gurt durch einen kleinen Elektromotor um eine Stelle weitertransportiert, so daß das nächste Bauelement an der Abholposition entnommen werden kann. Die Auslösung des Weitertransports erfolgt durch ein Signal der Bestückmaschine.

Es sei erwähnt, daß dieses Förderprinzip besonders bei modularen Pick and Place, Collect and Pick and Place und Collect and Place Automaten angewandt wird.

Hersteller klassischer Chip Shooter und P&P-Automaten benutzen meist sehr einfache mechanische Förderer, die auf ein festes Förderraster (2/4/8mm usw.), eine feste Gurtbreite bzw. sogar auf bestimmte BE-Typen festgelegt sind. Um eine entsprechende Flexibilität zu erreichen, müssen sehr viele Förderer zur Verfügung stehen.

Bei einem Bestückautomat mit feststehenden Zuführmodulen kann das Umrüsten und Nachfüllen von Bauelementen während des Bestückbetriebs erfolgen. Dadurch wird ein Absinken der stündlichen Bestückleistung durch Stillstandszeiten vermieden. Durch die sogenannte Anspießtechnik ist ein einfaches Nachfüllen von gegurteten Bauelementen möglich. Dazu wird das Ende des fast leeren Gurts mit dem Anfang eines Gurts auf einer neuen Rolle auf einfache Weise mit Hilfe eines Spleißgerätes verbunden. Ein Anhalten der Maschine ist dazu nicht notwendig.

Ein Nachteil der Gurt-Verpackung ist die fehlende Möglichkeit zur Wiederverwendung der leeren Gurte. Insbesondere bei den kleinen Chip-Bauelementen übersteigt der entstehende Verpackungsabfall die verpackten Bauelemente volumenmäßig um ein Vielfaches. Nicht nur aufgrund des steigenden Umweltbewußtseins gibt es hier Bestrebungen, neue Lösungen zu entwickeln. Eine Möglichkeit ist es, auf die Verarbeitung von Schüttgut (Bulkcase) auszuweichen. Heute wird von dieser Möglichkeit - vorwiegend bei der Verarbeitung großer Stückzahlen - zunehmend Gebrauch gemacht.

5.2.2 Schüttgut / Bulk Case

Aufgrund der Abfallproblematik bei der Gurtverpackung, die mit steigendem Umweltbewußtsein zunehmend an Bedeutung gewinnt, werden heute vermehrt Bauelemente als Schüttgut verarbeitet. Zur Schüttgutverarbeitung geeignet sind kubische (Chip) und zylindrische (Melf) Bauelemente.

Maße: 119 x 36 x 12 mm

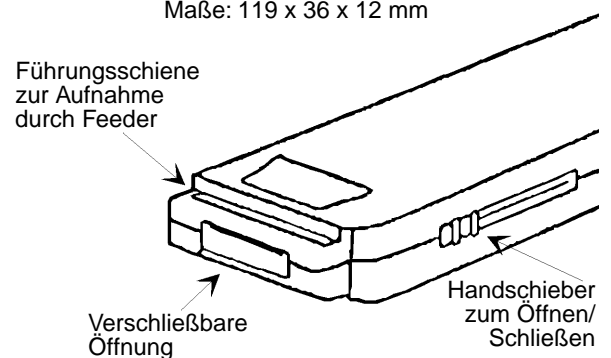


Abb. 5-19 Bulk Case Kassette zur Schüttgutverarbeitung. Nach dem Aufsetzen der Kassette auf ein entsprechendes Zuführmodul wird die untere Öffnung über den Handschieber geöffnet.

War es früher üblich, Schüttgut offen zu verarbeiten, so werden heute ausschließlich Kassettensysteme favorisiert. Am vielversprechendsten erscheint dabei das Bulk Case System der Firma Murata. Als Behälter für die Bauelemente dient hierbei eine kompakte Kasette aus durchsichtigem Kunststoff (Abb. 5-19). Die Bauelemente werden vom Hersteller bereits in der Kasette geliefert. Leere Kassetten werden an den Hersteller zurückgegeben. Je nach Verschleiß ist eine fünf- bis zehnmahlige Wiederverwendung möglich. Unbrauchbare Kassetten sind voll recyclingfähig.

- Das Bulk Case System zeichnet sich durch folgende Vorteile gegenüber Gurten aus:
- Keine großen Abfallmengen wie bei Gurten, die verwendete Kasette ist wiederverwendbar und recycelbar.
- Deutliche Reduzierung von Verpackungsvolumen und Gewicht, dadurch geringere Verpackungs-, Transport- und Lagerkosten.
- Höhere Bauelementekapazität bei kleinen Chip-Größen (bei 0603-Chips 25.000 Stück, bei 0402-Chips 50.000 Stück) gegenüber Gurten.
- Einfacher Austausch von leeren Kassetten während des Bestückens (nur bei feststehenden Zuführmodulen möglich).
- IEC-Norm für die Kasette ist in Vorbereitung

Für die Verwendung der Bulk Case Kassetten wird ein spezielles Schüttgutmodul benötigt (Abb. 5-20). Pro Modul werden dabei zwei Kassetten aufgenommen. Leere Kassetten können ohne Anhalten der Maschine problemlos durch volle ersetzt werden, da im Zuführmodul noch genügend Bauelemente gespeichert bleiben.

Trotz der vielen Vorteile des Bulk Case Systems wird es die Gurtverpackung nur teilweise ersetzen können, da es speziell bei kleineren Stückzahlen und häufigen Umrüstvorgängen zu Nachteilen führt. So müssen Schüttgutmodule genau auf die Bauelementengeometrie abgestimmt werden, sie sind also nicht so flexibel einsetzbar wie z.B. ein 8 mm-Gurtmodul. Das Umrüsten eines Schüttgutmoduls auf ein anderes Bauelement erfordert einen erheblichen Aufwand,

da alle im Modul befindlichen Bauelementen sehr sorgfältig entfernt werden müssen und keinesfalls mit anderen Bauelementen verwechselt werden dürfen.

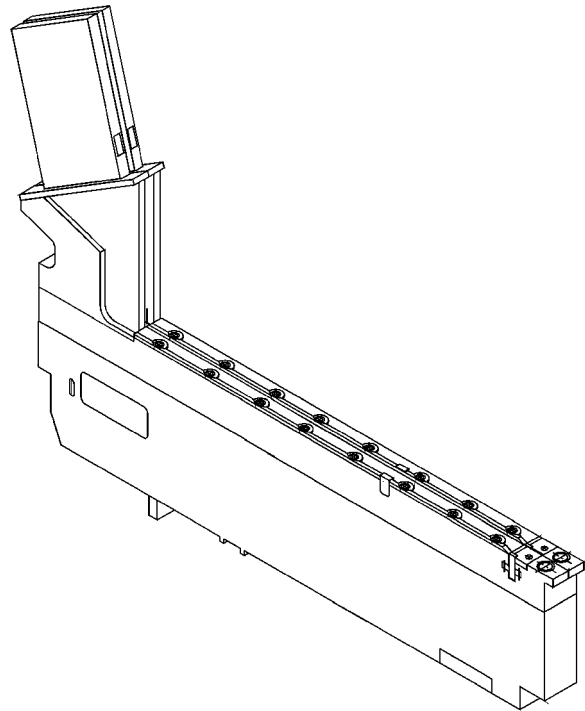


Abb. 5-20 Bulk Case Zuführmodul zur Verarbeitung von Schüttgut, zugeführt in zwei aufsteckbaren Kassetten (Bulk Case).

5.2.3 Stangenmagazine

Stangenmagazine (auch Sticks genannt) dienen vor allem als Verpackung von ICs kleiner und mittlerer Polzahl. Sie sind aus durchsichtigem, elektrisch leitfähigem Kunststoff gefertigt und werden vorwiegend bei kleineren Stückzahlen eingesetzt.

Stangenmagazinmodule (Abb. 5-21) besitzen Führungsschienen aus Metall, auf die die Stangenmagazine gesteckt werden. Der Transport der ICs an die Abholposition erfolgt durch einen Linearvibrator und Neigung der Magazine. Ist ein Magazin leer, bleibt genügend Zeit, um es gegen ein volles auszutauschen. Ein Unterbrechen des Bestückens ist dazu bei feststehenden Zuführmodulen nicht erforderlich.

Aufgrund der geringen Bauelementekapazität sollten bei größeren Stückzahlen - falls möglich - die Stangenmagazine durch Gurte ersetzt werden.

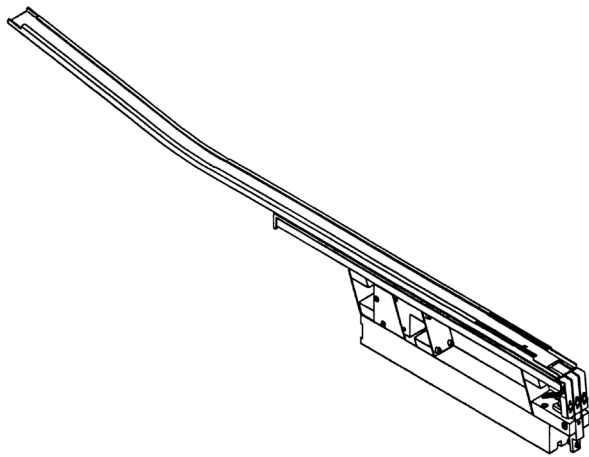


Abb. 5-21 Universal-Vibrationslängsförderer mit drei Spuren und aufsteckbaren Stangenmagazinen (Schiennenbreite je nach Bauelement: über 1x3 Spuren, 3x1 Spur oder 2x1 plus 1x1 Spur).

5.2.4 Flächenmagazine

In Flächenmagazinen (auch Waffle Pack oder Tray genannt) werden vorwiegend besonders große und Fine Pitch Bausteine geliefert. Sie stellen große Anforderungen an die Flexibilität eines SMD-Bestückautomaten und seine Zuführsysteme, da sie viel Platz beanspruchen und automatische Handlingsysteme erfordern, um viele verschiedene Bauelemente zu verarbeiten.

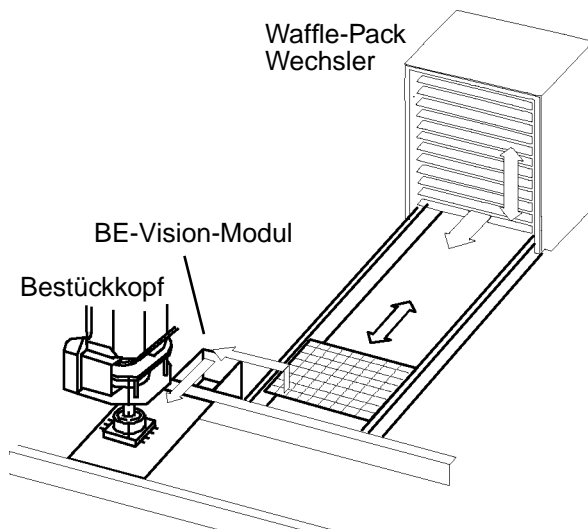


Abb. 5-22 Waffle-Pack-Wechsler zur Verarbeitung einer hohen Zahl unterschiedlicher Bauelemente aus Flächenmagazinen.

Abb. 5-22 zeigt einen Waffle-Pack-Wechsler für 28 Flächenmagazine, der mit einem Bestückautomaten gekoppelt ist. Soll ein bestimmter Baustein aus einem Flächenmagazin bestückt werden, wird es automatisch aus dem Speicher entnommen. Der gewünschte Baustein wird aus dem Flächenmagazin entnommen und auf dem BE-Vision-Modul abgelegt, wo er vom Bestückkopf übernommen wird. Das Auslagern des Flächenmagazins erfolgt dabei so frühzeitig, daß es zu keinen Wartezeiten für den IC-Bestückkopf kommt.

5.3 Bestückgenauigkeit

Mit der zunehmenden Verarbeitung von Fine Pitch Bauelementen - heute bis zu einem Rastermaß von 0,5 mm, in Zukunft 0,3 mm oder sogar 0,2 mm - und von passiven Bauelementen der Größe 0603 und 0402 wird eine immer höhere Bestückgenauigkeit von den Automaten gefordert. Neue Trends in Richtung prüfarme Fertigung (Fehlervermeidung statt Kontrolle und Reparatur) sollen die hohen Kosten für Inspektions- und Prüfsysteme, Nacharbeit und Ausschuß senken, stellen aber gleichzeitig hohe Anforderungen an die Qualität aller Prozessschritte. Daher werden heute in der Elektronikfertigung zunehmend Nachweise auf statistischer Basis über die Zuverlässigkeit von Prozessen und Produktionsmitteln verlangt.

Auch Angaben zur Bestückgenauigkeit müssen in Zukunft diesen Forderungen genügen. Siemens gibt die Bestückgenauigkeit seiner SMD-Automaten bereits seit längerer Zeit bezogen auf die Standardabweichung einer Normalverteilung an.

5.3.1 Bestückgenauigkeit, Positioniergenauigkeit und Wiederholgenauigkeit

- Die Genauigkeit von SMD-Bestückautomaten wird auf verschiedene Arten angegeben. Ein Vergleich unterschiedlicher Angaben ist jedoch nur bedingt möglich, da jeweils von verschiedenen Voraussetzungen ausgegangen wird.

- Die Bestückgenauigkeit berücksichtigt die Abweichung der tatsächlichen Bestückposition von der Sollposition des Bauelements. Hierbei gehen Positionierfehler der linearen Achsen, Drehfehler des Bestückkopfes, Verwindung des Portalsystems, Fehler der Visionsysteme und Zentrierfehler mit ein.
- Die Positioniergenauigkeit bezieht sich auf die Differenz zwischen Ist- und Sollwert der linearen Achsen, manchmal auch auf die Position der Bestückpipette. Zentrier- und Drehfehler werden nicht berücksichtigt. Die Istposition der bestückten Bauelemente geht nicht in die Positioniergenauigkeit ein.
- Die Wiederholgenauigkeit berücksichtigt Abweichungen von einer einmal angefahrenen Position beim wiederholten Anfahren derselben. Eine Abweichung vom vorgegebenen Sollwert hat keinen Einfluß auf die Wiederholgenauigkeit.

Für den Anwender ist ausschließlich die Bestückgenauigkeit interessant, denn er will wissen, wie exakt ein Automat die Bauelemente auf die vorgegebenen Sollpositionen auf der Leiterplatte setzt. Angaben der Positionier- oder Wiederholgenauigkeit erlauben hierzu keine Aussage.

5.3.2 Normalverteilung der Bestückgenauigkeit

Viele natürliche und technische Prozesse, die zufallsbedingt (stochastisch) ablaufen, lassen sich durch eine Normalverteilung beschreiben. Auch für die Bestückgenauigkeit eines SMD-Automaten ist dies möglich. Im Folgenden sollen kurz die statistischen Grundlagen zur Beurteilung der Bestückgenauigkeit erklärt werden.

Statistische Grundlagen

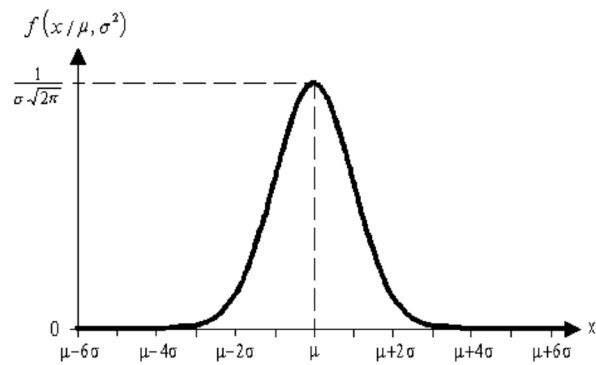


Abb. 5-23 Dichtefunktion einer Normalverteilung mit dem Mittelwert μ und der Varianz σ^2 (Gaußsche Glockenkurve). Bei $\mu - \sigma$ und $\mu + \sigma$ befindet sich jeweils ein Wendepunkt der Kurve.

Die Normalverteilung einer stetigen Zufallsgröße X mit dem Mittelwert μ und der Varianz σ^2 besitzt folgende Dichtefunktion (Abb. 5-23):

$$f\left(\frac{x}{\mu, \sigma^2}\right) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Durch Integration der Dichtefunktion erhält man die Verteilungsfunktion F . Diese gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, daß die Zufallsgröße X Werte kleiner x annimmt:

$$F\left(\frac{x}{\mu, \sigma^2}\right) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f\left(\frac{t}{\mu, \sigma^2}\right)$$

Die Wahrscheinlichkeit P , daß eine normalverteilte Zufallsgröße maximal um den Betrag d vom Mittelwert μ abweicht, ergibt sich damit aus Symmetriegründen zu:

$$P(\mu - d < X < \mu + d) = 2 \int_{\mu}^{\mu+d} f\left(\frac{x}{\mu, \sigma^2}\right)$$

Das Integral kann nicht geschlossen berechnet werden. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Ergebnisse:

d	p	1-p
1σ	68,26%	31,74%
2σ	95,44%	4,56%
3σ	99,74%	2600 ppm
4σ	99,994%	60 ppm
6σ	100,000%	0,002 ppm

Tabelle 8: Wahrscheinlichkeit p, daß eine normalverteilte Zufallsgröße im Bereich $[\mu-d, \mu+d]$ liegt.

Bei der Berechnung der Überlagerung von Toleranzen im SMT-Prozeß ist das Additionstheorem der Normalverteilung von großer Bedeutung. Dieses besagt, daß die Summe von normalverteilten Zufallsgrößen $X_1, X_2 \dots X_n$ ebenfalls normalverteilt ist. Die Standardabweichung dieser Normalverteilung ergibt sich aus der quadratischen Überlagerung der einzelnen Standardabweichungen:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

Anwendung

Die Abweichung der Bestückposition vom Sollwert setzt sich zusammen aus einer reproduzierbaren Komponente und einer zufälligen Komponente. Die reproduzierbare Komponente läßt sich durch Kalibrierungsmaßnahmen relativ klein halten. Die zufällige Komponente ist näherungsweise normalverteilt, experimentelle Untersuchungen bestätigen dies. Mit der Normalverteilung steht ein exaktes mathematisches Modell zur Verfügung, um die Bestückgenauigkeit zu beschreiben.

Was bedeutet nun die Angabe der Bestückgenauigkeit (z.B. Siemens SIPLACE 80 F $\pm 50 \mu\text{m}$ bei 4σ) für den Anwender eines SMD-Bestückautomaten? Diese Angabe besagt, daß der 4σ -Grenzwert der normalverteilten Abweichung der Bestückposition $50 \mu\text{m}$ beträgt (Abb. 5-24). Damit ist es dem Anwender möglich, die Zuverlässigkeit des

Bestückprozesses zu beurteilen. So beträgt beispielsweise die Fehlerwahrscheinlichkeit beim 4σ Grenzwert 60 ppm (Tabelle 8), also kann der Anwender davon ausgehen, daß bei nur 60 von einer Million bestückten Bauelementen der Bestückfehler $50 \mu\text{m}$ überschreitet. Entsprechend beträgt die Fehlerwahrscheinlichkeit bei einem Grenzwert von $37,5 \mu\text{m}$ (3σ) 2600 ppm, bei $75 \mu\text{m}$ (6σ) nur noch 0,002ppm.

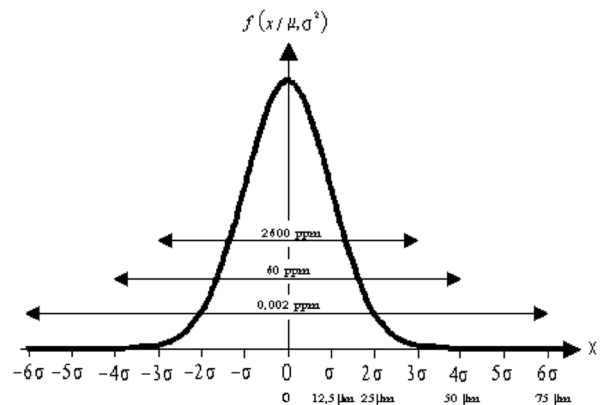


Abb. 5-24 Dichtefunktion von normalverteilten Bestückpositionen. Die Standardabweichung beträgt $s=12,5 \mu\text{m}$, die mittlere Abweichung ist hier $\mu=0$. Über den Pfeilen ist die Wahrscheinlichkeit angegeben, daß eine Bestückposition außerhalb des entsprechenden Bereichs liegt.

Hierbei wird deutlich, daß die identische Bestückgenauigkeit auf verschiedene Arten angegeben werden kann. Die Angaben $50 \mu\text{m}$ bei 4σ , $25 \mu\text{m}$ bei 2σ und $75 \mu\text{m}$ bei 6σ sind gleichwertig, da sich jeweils eine Standardabweichung von $\sigma = 12,5 \mu\text{m}$ ergibt.

Angaben der Bestückgenauigkeit ohne Bezug auf die Normalverteilung lassen keine Aussagen über die Standardabweichung und die Streuung der Bestückpositionen zu und sind damit absolut wertlos. Um die Qualität des Bestückprozesses beurteilen zu können, ist die Angabe der Bestückgenauigkeit bezogen auf die Standardabweichung notwendig. Der Anwender sollte sich gegebenenfalls die Bestückgenauigkeit näher erklären und spezifizieren lassen.

5.3.3 Einflußfaktoren auf die Bestückgenauigkeit

- Für die Gesamtbestückgenauigkeit ist nicht allein die Bestückgenauigkeit des Automaten bestimmend. Unter anderem haben folgende Größen zusätzlich direkten Einfluß auf die Gesamtbestückgenauigkeit:
- Toleranzen und Verwindung der Leiterplatte
- Maßhaltigkeit der Bauelemente
- Verbiegung der Bauelemente-Pins

Ein leistungsfähiger Bestückautomat ist in der Lage, die Auswirkungen einiger Einflüsse wie ungenaue Leiterplatten oder verbogene Bauelemente-Pins durch geeignete Verfahren zu minimieren. Diese Verfahren werden im nächsten Kapitel beschrieben. Trotzdem

wirkt sich die Maßhaltigkeit von Leiterplatte und Bauelement stark auf die Gesamtgenauigkeit aus, wie die folgende Toleranzrechnung beispielhaft zeigen soll.

Ausgegangen wird dabei von einem Fine Pitch Baustein mit einem Raster von 0,5 mm. Die angenommenen Toleranzen sind beispielhaft zu verstehen, es wurde aber versucht, realitätsnahe Werte zu verwenden. Alle Toleranzen sind auf 4σ -Basis angegeben, Abb. 5-25 zeigt die geometrischen Zusammenhänge:

Beinchenverbiegung	$T_{BV} = \pm 70 \mu m$
Beinchenbreite	$T_{BB} = \pm 50 \mu m$
Padposition	$T_{PP} = \pm 20 \mu m$
Padbreite	$T_{PB} = \pm 20 \mu m$
Lokale Referenzmarken	$T_{RM} = \pm 40 \mu m$

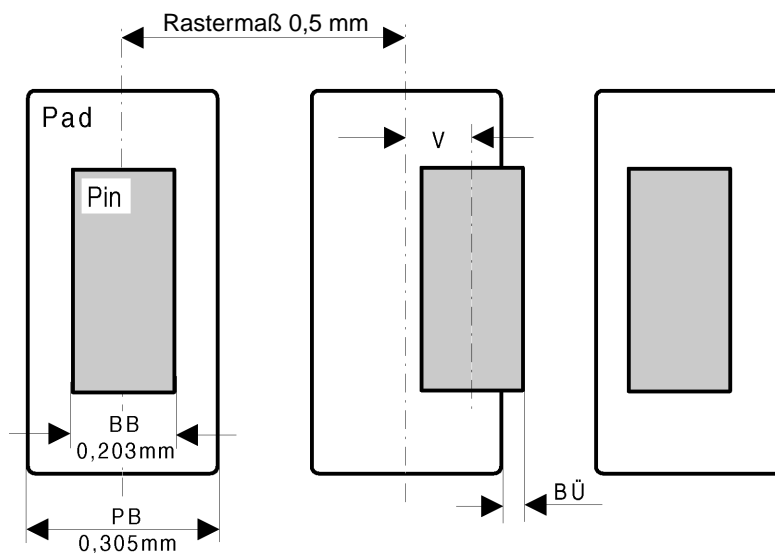


Abb. 5-25 Maße der Leiterplattenpads und der Pins (Beinchen) des Bausteins für eine beispielhafte Toleranzrechnung. Weitere Erklärung im Text.

Die Gesamttoleranz für den Versatz V zwischen Pin und Pad ergibt sich, da die einzelnen Toleranzen normalverteilt sind, nach dem Additionstheorem der Normalverteilung durch quadratische Überlagerung:

$$T_v = T_{BV}^2 + \left(\frac{T_{BB}}{2}\right)^2 + T_{PP}^2 + \left(\frac{T_{PB}}{2}\right)^2 + T_{RM}^2$$

$$= 87,3 \mu m$$

Geht man von einem maximal zulässigen Beinchenüberstand BU (wieder bezogen auf 4σ) über das Pad von einem Drittel der Beinchenbreite aus, was ein häufig verwendeter Richtwert ist, so ergibt sich der maximal zulässige Versatz V von Pin und Pad zu:

$$V = \frac{PB}{2} - \frac{BB}{2} + BU = \frac{PB}{2} - \frac{BB}{6} = 118,7 \mu m$$

Damit bleibt für den Bestückautomaten die maximal zulässige Positionsabweichung P , wie alle Toleranzen bezogen auf 4σ :

$$P = \sqrt{V^2 - T_v^2} = 80,4 \mu m$$

Ein Bestückautomat wie der SIPLACE 80 F mit einer Bestückgenauigkeit von $\pm 50 \mu m$ bei 4σ wäre also in der Lage, den betrachteten Baustein unter den getroffenen Voraussetzungen problemlos zu bestücken.

Das Problem der geforderten hohen Bestückgenauigkeit bei Fine Pitch Bauelementen ist keinesfalls allein durch einen extrem genauen Automaten zu lösen. Vielmehr muß - wie oben gezeigt - die gesamte Toleranzkette betrachtet werden. Aufgrund der quadratischen Überlagerung gehen die größten Einzeltoleranzen am stärksten in die Gesamttoleranz ein. Durch Verringerung der Toleranzen bei der Pinverbiegung, bei der Position der Referenzmarken und beim eigentlichen Bestückvorgang sind also die größten Verbesserungen hinsichtlich der Gesamtgenauigkeit zu erzielen. Der Übergang zu einer Verarbeitung von Bausteinen mit einem Rastermaß von $0,4 \text{ mm}$ und insbesondere von $0,3 \text{ mm}$ verlangt eine deutliche Verbesserung der Einzeltoleranzen. Hinsichtlich der Ermittlung der erforderlichen Bestückgenauigkeit bei Flip-Chips (C4-Technik) lautet die weltweit akzeptierte Vorgabe: Bestückgenauigkeit $0,5 \cdot \text{Substratpadddurchmesser}$

5.3.4 Konstruktive Maßnahmen zur Steigerung der Bestückgenauigkeit

Ähnlich wie bei Werkzeugmaschinen und Industrierobotern stellt der Markt auch an SMD-Bestückautomaten permanent steigende Anforderungen an Dynamik und Genauigkeit. Der Trend zu ständig steigender Bestückleistung führt zu zunehmender Dynamik der Maschinenachsen. Eine hohe Bestückgenauigkeit ist bei gleichzeitig hoher Dynamik aber nur durch entsprechende konstruktive Maßnahmen zu erreichen, da hohe Beschleunigungen (und damit hohe Beschleunigungskräfte) zu Verwindungen am

Maschinenständer, an Antriebssystemen, an Portalen und am Bestückkopf führen und so grundsätzlich die Bestückgenauigkeit reduzieren.

- Folgende konstruktive Maßnahmen dienen zum Erreichen einer hohen Bestückgenauigkeit:
- stabiler Maschinenständer und verwindungssteife Portale
- mechanisch stabiler Aufbau des Bestückkopfes
- direkte Lageerfassung mit hochauflösenden Positions- und Drehwinkel-Meßsystemen
- dynamisch hochwertige Lageregelungen und Antriebssysteme für alle Achsen
- Möglichkeit der Selbstkalibrierung

Eine weitere Voraussetzung für eine hohe Bestückgenauigkeit sind Vision-Systeme für Leiterplatten- und Bauelement-Lageerkennung. Diese werden im nächsten Kapitel beschrieben.

Bei direkter Lageerfassung (closed loop) wird im Gegensatz zur indirekten Lageerfassung (Abb. 5-26) die Position der Portale und der Drehwinkel der Bestückpipette direkt gemessen. Dadurch werden Meßfehler durch Verwindungen von Getrieben, Spindeln oder Riemen bei hohen dynamischen Belastungen ausgeschlossen. Auch alterungsbedingter Verschleiß, der zu Spiel im Antriebssystem führt, hat bei direkter Lageerfassung keinen Einfluß auf die Genauigkeit des Meßsystems.

Die Fortschritte der Regelungstechnik - vor allem ermöglicht durch die stark gesteigerte Leistung der Signalprozessoren - und der Leistungselektronik in den letzten Jahren ermöglichen heute preiswerte Antriebssysteme mit digitalen, dynamisch hochwertigen Lageregelungen, wie sie auch bei Werkzeugmaschinen und Industrierobotern eingesetzt werden. Durch Einsatz dieser leistungsfähigen Technik gelingt es, bei Bestückautomaten trotz der weiter zunehmenden Dynamik die Forderung nach hoher Bestückgenauigkeit zu erfüllen.

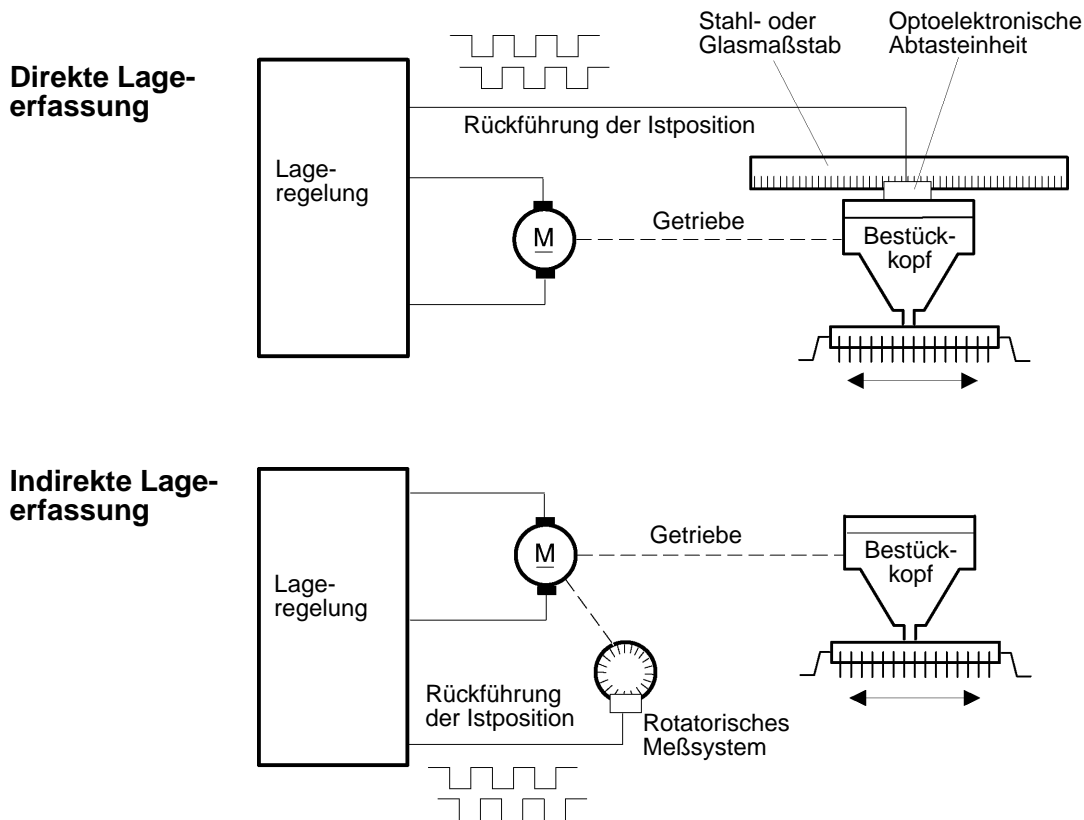


Abb. 5-26 Prinzip der direkten (closed loop) und indirekten (open loop) Lageerfassung bei einem SMD-Bestückautomaten.

Mapping-Verfahren

Trotz all dieser Maßnahmen lassen sich kleine reproduzierbare Fehler mit vertretbarem Aufwand nicht immer vermeiden. Um diese Fehler zu messen und zu kompensieren, wurde deshalb das sogenannte Mapping-Verfahren (Abb. 5-27) entwickelt.

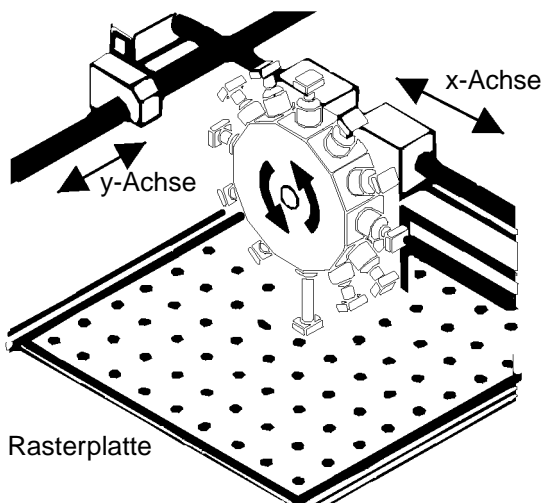


Abb. 5-27 Bei der Durchführung des Mapping-Verfahrens tastet der Bestückkopf eine hochgenaue Eichplatte ab.

Mit Hilfe dieses Verfahrens kann ein Anwender seine Bestückmaschine in kürzester Zeit selbst kalibrieren. Ein Einsatz des Mapping-Verfahrens empfiehlt sich besonders nach unzulässiger Beanspruchung des Positioniersystems und nach einem Transport der Maschine. Es garantiert die gleichbleibend hohe Bestückgenauigkeit über die gesamte Lebensdauer der Bestückmaschine.

Bei diesem Selbstkalibrierungsverfahren tastet der Bestückautomat eine in seinen Arbeitsbereich eingelegte, mit hochgenau aufgetragenen Marken versehene Glasplatte ab. Durch Ermittlung und Speicherung von zahlreichen, über den Arbeitsbereich gleichmäßig verteilten ortsabhängigen Rasterkorrekturwerten ist der Automat in der Lage, bei späteren Bestückvorgängen die reproduzierbaren Fehler zu kompensieren. Die Kompensation erfolgt durch eine Feinkorrektur der gewünschten Bestückposition, indem aus den vier nächstliegenden Rasterkorrekturwerten durch Extrapolation ein Korrekturwert ermittelt wird (Abb. 5-28).

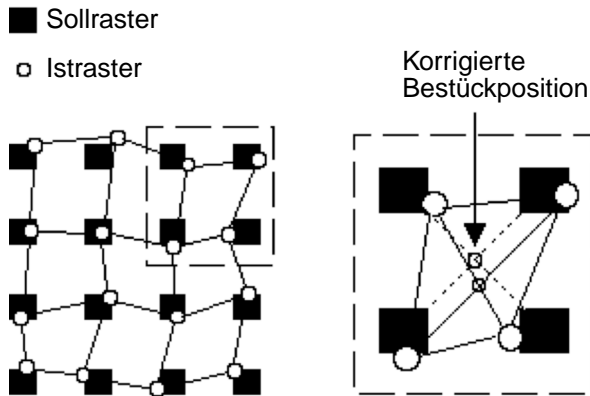


Abb. 5-28 Ermittlung der korrigierten Bestückposition beim Mapping-Verfahren durch Extrapolation aus den vier nächstliegenden Rasterkorrekturwerten.

5.3.5 Vision-Systeme

Mit Hilfe von Vision-Systemen wird in SMD-Bestückautomaten die Lage von Leiterplattenmarken und Bauelementen optisch ermittelt. Dabei werden von CCD-Kameras aufgenommene Bilddaten durch digitale Bildverarbeitungssysteme ausgewertet. Beim Bestücken von Fine Pitch Bauelementen ist der Einsatz von leistungsfähigen Vision-Systemen unverzichtbar, da zum Erzielen der notwendigen Bestückgenauigkeit die Lage von Leiterplatte und Baustein exakt erfasst werden muß. Aber auch beim Bestücken von Standard-Bauelementen zeichnen sich Vision-Systeme durch eine Reihe von Vorteilen in Bezug auf Geschwindigkeit, Genauigkeit und Beanspruchung der Bauelemente aus.

- Vision-Systeme werden heute bei SMD-Bestückautomaten für folgende Funktionen eingesetzt:
- Erfassung von Position und Verdrehung der zu bestückenden Leiterplatte
- Erfassung von Position und Verdrehung der Bauelemente beim Bestückvorgang (optische Bauelementezentrierung)
- Erfassung von lokalen Referenzmarken für Fine Pitch Bauelemente
- Überprüfung des Gehäusetyps
- Koplanaritätsmessung bei Fine Pitch Bauelementen

Im folgenden sollen zunächst einige Grundlagen von Vision-Systemen erläutert werden.

Vision-Systeme unterscheiden sich in der Auflösung, mit der die Bildpixel dargestellt werden. Binärsysteme arbeiten mit einer Auflösung von einem Bit, können also nur zwischen schwarz und weiß bzw. dunkel und hell differenzieren. Grauwertsysteme verwenden mehrere Bits zur Darstellung eines Pixels, beispielsweise können bei einer Auflösung von acht Bit 256 Helligkeitsstufen dargestellt werden.

Binärsysteme benötigen zum zuverlässigen Betrieb eine konstante, gleichmäßige Beleuchtung und ein kontrastreiches Objekt, da die Helligkeit der Pixel mit einem festen Schwellwert verglichen wird. Grauwertsysteme liefern dagegen auch bei wechselnden Beleuchtungsverhältnissen und schwachem Objektkontrast zuverlässige Ergebnisse (Abb. 5-29). Bei SMD-Bestückautomaten sollten deshalb ausschließlich Grauwertsysteme eingesetzt werden.

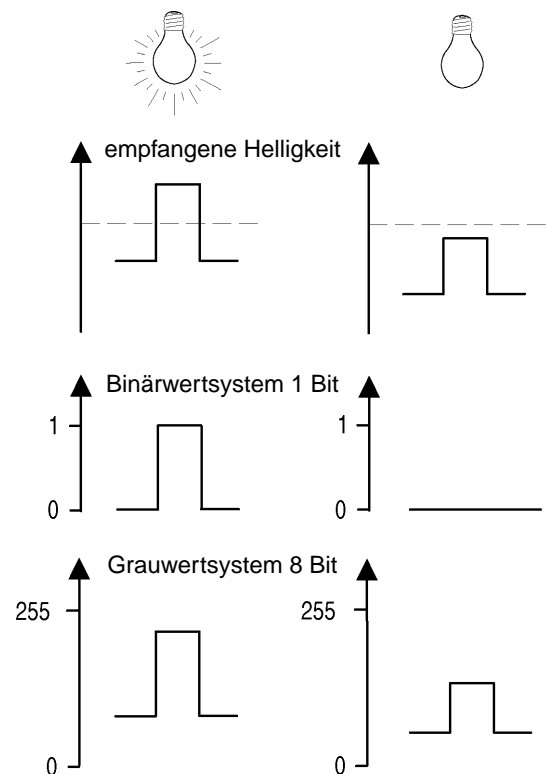


Abb. 5-29 Auswirkungen von Helligkeitsänderungen auf Visionssysteme mit Binärwert- und Grauwertsystem. Die gestrichelte Linie stellt den Schwellwert für das Binärwertsystem dar.

Ein weiteres Kriterium für die Zuverlässigkeit von Vision-Systemen ist das eingesetzte Bildauswerteverfahren. Mögliche Verfahren sind u.a. das Konturfolge-, das Schwerpunkt- und das Korrelationsverfahren.

Wegen seiner überlegenen Zuverlässigkeit ist das Korrelationsverfahren zu bevorzugen. Erreicht wird die hohe Zuverlässigkeit dieses Verfahrens durch den Algorithmus, mit dem die Position der gesuchten Sollstruktur im aufgenommenen Bild ermittelt wird. Dabei wird die gesuchte Sollstruktur im Suchbereich der aufgenommenen Iststruktur ver-

schoben und so durch Differenzbildung der Pixelwerte der Ort mit maximaler Korrelation bestimmt. Dadurch ist es möglich, auch bei fehlerhaften bzw. unvollständigen Bildstrukturen die Position der Sollstruktur sicher und exakt zu ermitteln (Abb. 5-30). Weiterentwickelte Verfahren ermitteln die Position der Sollstruktur zeitsparend in zwei Schritten: Zuerst wird in einer Grobsuche die ungefähre Position ermittelt, im folgenden Schritt wird diese dann exakt bestimmt, wobei nur der durch die Grobsuche ermittelte relativ kleine Bereich berücksichtigt werden muß.

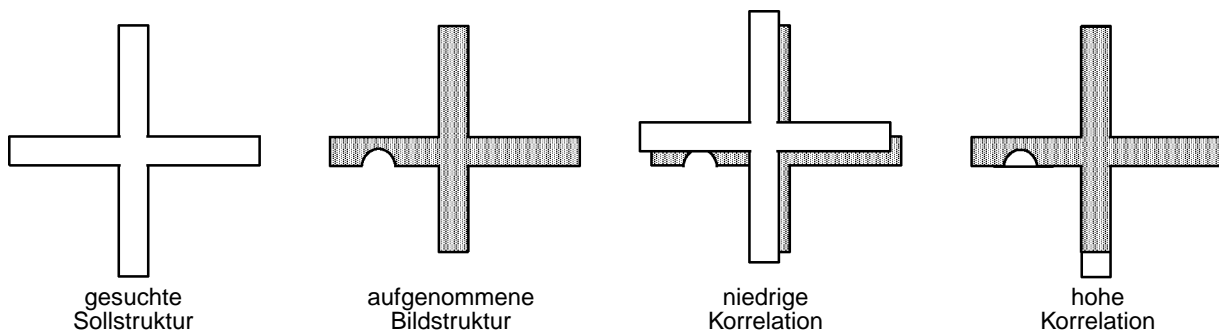
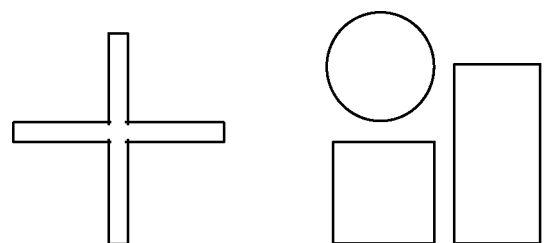


Abb. 5-30 Auch bei unvollständigen Strukturen im aufgenommenen Bild ist das Korrelationsverfahren in der Lage, die Position der gesuchten Sollstruktur sicher und genau zu bestimmen. Dazu wird die Sollstruktur über die Iststruktur geschoben und der Ort maximaler Korrelation bestimmt.

Leiterplatten-Lageerkennung

Aufgabe des Leiterplatten-Lageerkennungssystems ist es, die exakte Position der Leiterplatte in der Bestückmaschine zu bestimmen, um die Bestückpositionen der Bauelemente entsprechend korrigieren zu können. Die früher eingesetzte mechanische Leiterplatten-Zentrierung durch Zentrierstifte genügt den heutigen Genauigkeitsanforderungen nicht mehr.

Sobald die Leiterplatte in den Bestückbereich der Maschine eingefahren ist, erfaßt eine am Bestückkopf angebrachte CCD-Kamera sequentiell die Position der zwei oder drei Referenzmarken (Abb. 5-31) auf der Leiterplatte. Nach Ermittlung der Lage und des Drehwinkels der Leiterplatte in Bezug zum Maschinenkoordinatensystem und eines eventuellen Verzugs der Leiterplatte werden alle Bestückpositionen entsprechend korrigiert (Abb. 5-32).



Enfackkreuz

- Hoher Informationsgehalt
- Geringer Platzbedarf im Layout
- Relativ unempfindlich in Bezug auf Verzerrung

Kreis, Quadrat, Rechteck

- Informationsgehalt gering (große Verwechselbarkeit mit Pads und Testpunkten)
- Hoher Platzbedarf im Layout
- Sehr robust gegenüber Verarbeitungsverfahren

Abb. 5-31 Beispiele möglicher Formen für Referenzmarken auf Leiterplatten. Je nach Anwendungsfall sind verschiedene Markenformen zu bevorzugen.

Um die Bestückgenauigkeit bei Fine Pitch Bauelementen weiter zu erhöhen, werden zusätzliche, lokale Referenzmarken in unmittelbarer Nähe der Bestückpositionen vorge-

sehen. Durch diese Maßnahme lassen sich Toleranzen und nichtlineare Verzüge der Leiterplatte beim Bestückvorgang kompensieren.

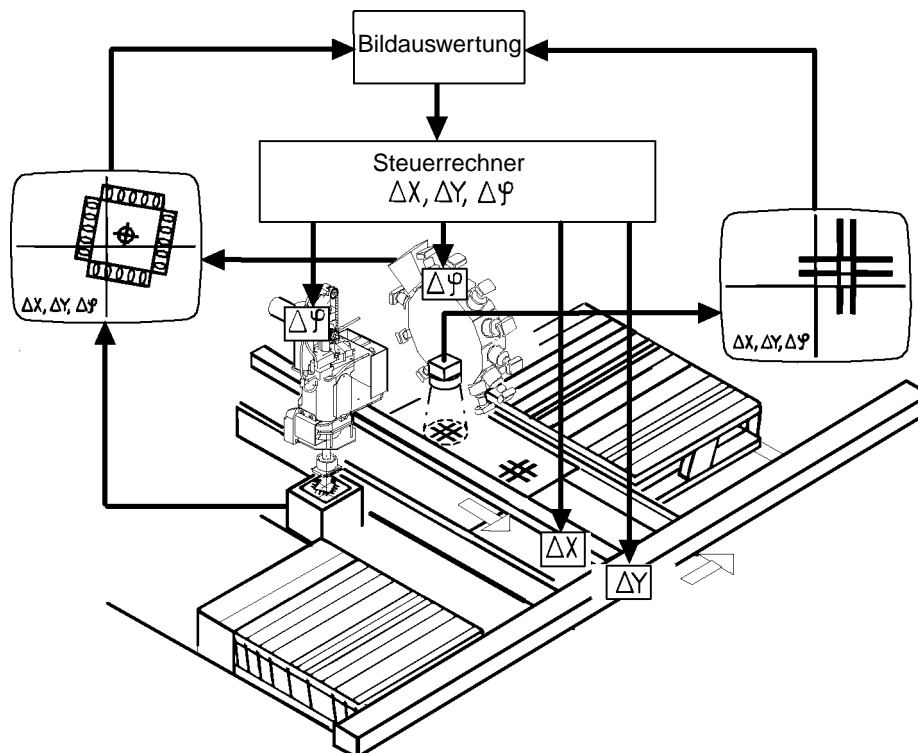


Abb. 5-32 Funktionsprinzip der Leiterplatten-Lageerkennung. Durch Abtasten der drei Referenzmarken werden Lage und Drehwinkel der Leiterplatte bestimmt und die Bestückpositionen entsprechend korrigiert. Ebenfalls dargestellt ist die optische Bauelementenzentrierung.

Bauelemente-Vision-Systeme

Bauelemente-Vision-Systeme dienen dazu, während des Bestückvorgangs eine optische Zentrierung der Bauelemente durchzuführen und so die mechanische Zentrierung zu ersetzen (Abb. 5-33). Der Begriff optische Zentrierung ist eigentlich nicht ganz zutreffend, da keine eigentliche Zentrierung mehr stattfindet. Vielmehr werden durch das Bauelemente-Vision-System die Lage und der Drehwinkel des von der Bestückpipette aufgenommenen Bauelements bestimmt und zur Korrektur der Bestückposition verwendet.

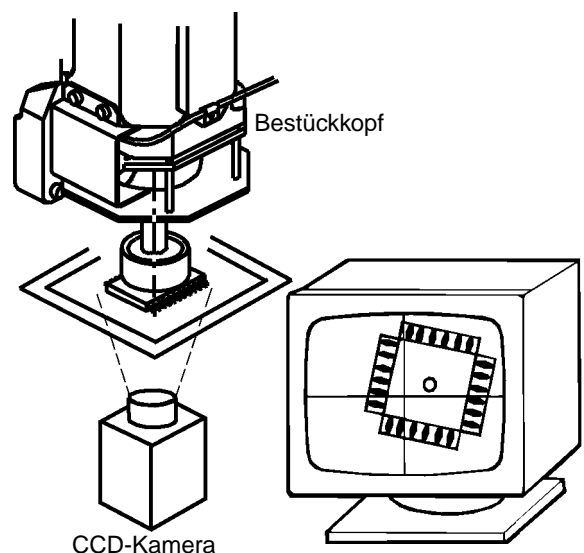


Abb. 5-33 Bauelemente-Vision-System zur optischen Zentrierung größerer Bauelemente.

Wurden Bauelemente-Vision-Systeme in der Vergangenheit vor allem bei größeren Bausteinen - bei Fine Pitch Bausteinen sind sie aus Genauigkeitsgründen erforderlich - eingesetzt, so werden sie heute zunehmend auch bei Chip-Bauelementen aller Größen verwendet. Die SIPLACE Bestückautomaten besitzen serienmäßig eine optische Zentrierung für alle Bauelementtypen.

- Optische Zentriersysteme besitzen folgende Vorteile gegenüber der mechanischen Zentrierung:
- größere Bestückgenauigkeit
- keine mechanische Beanspruchung der Bauelemente (z.B. Verbiegen der Anschlußbeine)
- Überprüfung des Gehäusetyps
- Erkennen von verbogenen Pins

Die Bauelemente-Vision-Systeme der Bestückautomaten von Siemens arbeiten nach dem zuverlässigen Korrelationsverfahren. Dabei erfolgt sowohl Beleuchtung als auch Aufnahme des Bildes von unten. Das Korrelationsverfahren ermöglicht es, fehlende und verbogene Pins zu erkennen und die entsprechenden Bausteine auszusortieren. So können z.B. die Gehäusetypen SO-14 und SO-16 unterschieden werden. Bestückfehler durch fehlerhaft gerüstete Bauelemente werden vermieden, falls unterschiedliche Gehäusetypen vorliegen.

Bei ICs und insbesondere bei BGA's hingegen müssen neue und robustere Auswertalgorithmen eingesetzt werden. Während beim Korrelationsverfahren für Anschlußstrukturen von der Iststruktur (aktuelles Abbild) die Sollstruktur (synthetisches Muster) subtrahiert wird, kann der neue IC-Beinchenerkennungs-Algorithmus durch ein „Abtasten“ des Grauwertprofils der Anschlußstruktur die Position der einzelnen Beinchen bestimmen. Dieser Algorithmus ist genauer, schneller und vor allem robuster gegenüber Störeinflüssen - wie z.B. Helligkeitsschwankungen - als das altbekannte Korrelationsverfahren. Ein spezieller Inspektionsmode, bei dem das Betrachtungsfenster

nur über die kritischen Anschlüsse bzw. Teile davon (z.B. Beinchen spitzen) gelegt wird, erlaubt ein präzises Erfassen der lateralen Positionsabweichung. Diese Funktionalität ist besonders wichtig, um das Kurzschlußrisiko auf ein Minimum zu begrenzen.

Für das Bumpcentering der schwierigen BGAs und Flip-Chips sind die allgemein üblichen Profilverfahren kaum noch praktikabel. Hierfür sind äußerst störstrukturtolerante, besondere und sehr aufwendige Kanten-suchverfahren vorteilhafter.

In naher Zukunft werden Bauelemente-Vision-Systeme auch in der Lage sein, mit Hilfe der sogenannte Pin1-Erkennung eine Verdrehung von ICs - insbesondere von Fine Pitch Bauelementen - zu erkennen und selbstständig zu korrigieren. Ursache einer solchen Verdrehung kann z.B. das fehlerhafte Einlegen eines Bausteins in ein Flächenmagazin sein.

Koplanaritätsmessung

Bei Fine Pitch Bauelementen führt aufgrund der notwendigen geringen Höhe der Lotpaste schon eine minimale vertikale Verbiegung (Koplanarität) der Anschlußbeinchen zu fehlerhaften Lötstellen (Abb. 5-34). Mit Hilfe eines in den Bestückautomaten integrierten Koplanaritätsmoduls kann vor dem eigentlichen Bestückvorgang die Koplanarität aller Pins eines Bausteins gemessen werden. Überschreitet der Koplanaritätsfehler einen programmierbaren Grenzwert, wird der Baustein aussortiert.

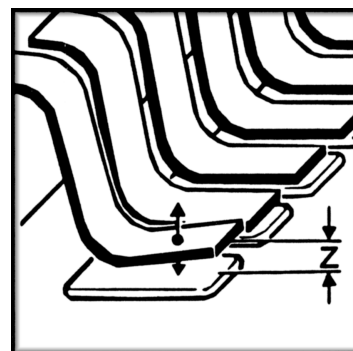


Abb. 5-34 Koplanarität bei einem bereits bestückten Baustein.

Abb. 5-35 zeigt das Funktionsprinzip der Koplanaritätsmessung. Dabei werden die Pins des zu prüfenden Bausteins vom Bestückkopf über einen ortsfesten Laserstrahl gefahren. Nach dem Triangulationsprinzip wird die Höhe der Pins gemessen, indem der reflektierte Laserstrahl beim Auftreffen auf einen CCD-Sensor ein höhenabhängiges Signal erzeugt.

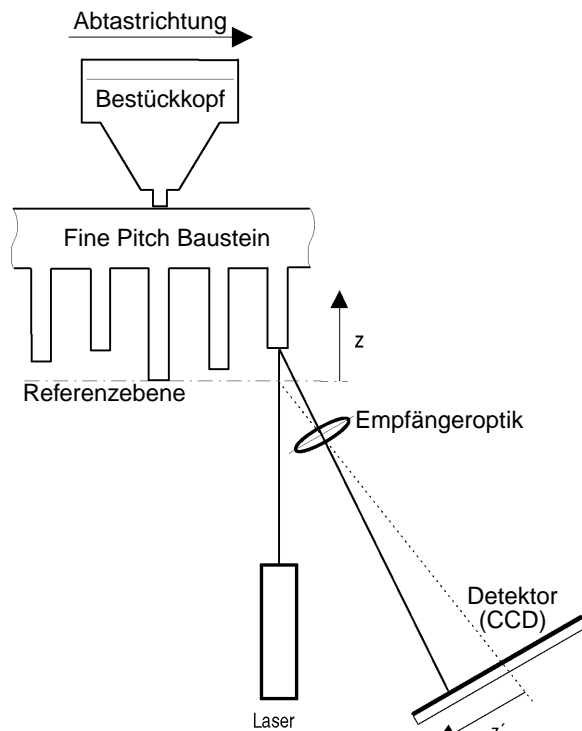


Abb. 5-35 Koplanaritätsmessung nach dem Triangulationsprinzip. Der zu prüfende Baustein wird vom Bestückkopf so über das Meßmodul bewegt, daß die Pins der Reihe nach vom Laserstrahl abgetastet werden können.

Ist die Höhe aller Pins gemessen, wird durch eine mathematische Transformation die Aufsetzebene bestimmt. In dieser Ebene liegen die drei tiefsten Pins des Bausteins. Überschreitet der maximale Abstand der einzelnen Pins zur Aufsetzebene den vorgegebenen Grenzwert, wird der Baustein nicht bestückt.

Die Wahl des Koplanaritätsgrenzwerts ist abhängig von der Stärke des Lotpastenauftrags und der möglichen Biegung der Leiterplatte. Als Anhaltspunkt können folgende

Werte dienen: 100 µm bei einem Rastermaß von 0,65 mm, 80 µm bei einem Rastermaß von 0,5 mm.

5.3.6 Nachweis der Bestückgenauigkeit

Im folgenden wird erläutert, wie die Genauigkeit eines SMD-Bestückautomaten ermittelt wird. Der Nachweis der Bestückgenauigkeit wird heute zunehmend von Kunden als Abnahmekriterium eines Automaten verlangt. Siemens führt heute standardmäßig vor der Auslieferung jeder Anlage eine Maschinenfähigkeitsuntersuchung durch. Auf Wunsch wird diese im Beisein des Kunden ausgeführt. Bei einer MFU werden - im Gegensatz zu einer Prozeßfähigkeitsuntersuchung (PFU) - nur Einflüsse der (Bestück-) Maschine, nicht jedoch der Faktoren Mitarbeiter, Umfeld, Material, Methode und anderer Maschinen auf die Qualität eines Produktes berücksichtigt.

Um die Bestückgenauigkeit zu ermitteln, wird eine bestimmte Anzahl von Bauelementen vom Bestückautomaten gesetzt. Anschließend wird für jedes Bauelement die Abweichung der Bestückposition von der Sollposition gemessen, und zwar die Abweichung in den translatorischen Achsen x und y sowie in der rotatorischen Achse φ . Bei Siemens werden zur Ermittlung der Bestückgenauigkeit Glas-Dummy-Bauelemente und eine exakte Glasplatte verwendet.

Der mittlere Bestückfehler \bar{x} und die Stichprobenstandardabweichung s_x der x -Achse kann dann aus der Anzahl n der bestückten Bauelemente und aus den Abweichungen Δx_i in der x -Achse mit Hilfe folgender Formeln berechnet werden:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta x_i$$

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \bar{x})^2}$$

Entsprechend werden mittlerer Fehler und Stichprobenstandardabweichung für die beiden anderen Achsen berechnet.

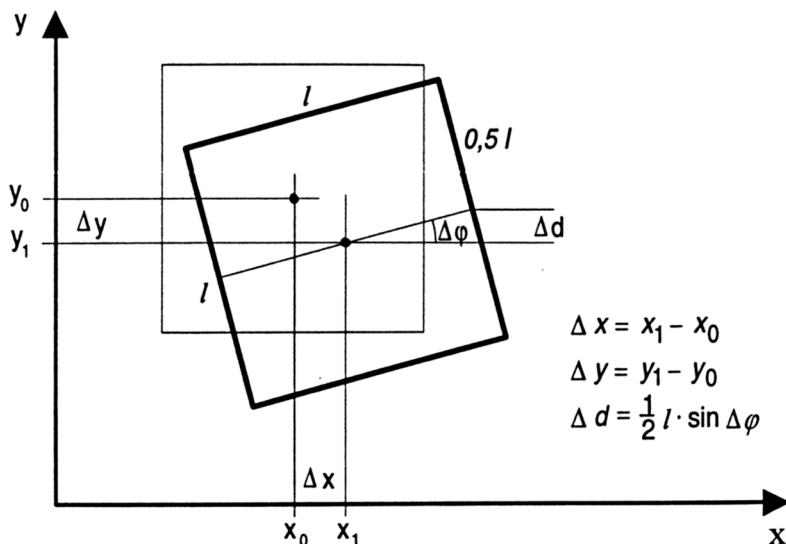


Abb. 5-36 Sollposition (x_0/y_0) und Istposition (x_1/y_1) eines bestückten quadratischen Bauelements der Kantenlänge l .

Berechnung des Gesamtfehlers

Wie erhält man nun aus den normalverteilten Fehlern der Achsen x , y und φ den Gesamtfehler und somit die Bestückgenauigkeit? Bild 5.34 zeigt die Abweichungen in den drei Achsen bei einem quadratischen Bauelement der Kantenlänge l . Der Drehfehler φ bewirkt eine zusätzliche Verschiebung der Pins des Bauelements in Richtung der Achsen x und y um den Betrag:

$$\Delta d = \frac{1}{2} l \cdot \sin \Delta \varphi$$

Da die sin-Funktion für kleine Winkel linear verläuft, ist auch diese Verschiebung normalverteilt, die Standardabweichung berechnet sich entsprechend. Der Gesamtfehler ist das Maximum der beiden in Richtung der Achsen x und y auftretenden Abweichungen der Pins eines Bauelementes von ihren Sollpositionen. Da die Einzelfehler normalverteilt sind, ist nach dem Additionstheorem der Normalverteilung auch der Gesamtfehler normalverteilt, und die Stichprobenstandardabweichung des Gesamtfehlers ergibt sich durch quadratische Überlagerung der einzelnen Standardabweichungen:

$$s = [\max(s_x \cdot s_y)]^2 + \left(\frac{1}{2} l \cdot \sin s_\varphi\right)^2$$

Den Mittelwert des Gesamtfehlers erhält man analog durch Addition der einzelnen Fehler:

$$\mu = \max(\bar{x}, \bar{y}) + \frac{1}{2} l \cdot \sin \bar{\varphi}$$

Anzahl der Stichproben

Entscheidend ist nun die Frage, wie hoch die Anzahl n der Stichproben mindestens sein muß, damit mit ausreichender Sicherheit von der Stichprobenstandardabweichung s auf die tatsächliche Standardabweichung σ der Normalverteilung geschlossen werden kann. Diese Frage kann mit Hilfe der Konfidenzintervalle beantwortet werden.

Das Konfidenzintervall zum Konfidenzniveau $1-\alpha$ für die tatsächliche Varianz σ^2 einer Normalverteilung beträgt:

Die tatsächliche Varianz σ^2 liegt mit der Wahrscheinlichkeit $1-\alpha$ im Konfidenzintervall. Dieses Intervall ist um so kleiner, je höher die Anzahl n der Stichproben ist.

Damit können die maximalen relativen Abweichungen der tatsächlichen Standardabweichung σ von der Stichprobenstandardabweichung s wie folgt berechnet werden:

$$\frac{\sigma_{max}}{s} = \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{n-1; \frac{\alpha}{2}}}}$$

$$\frac{\sigma_{min}}{s} = \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{n-1; 1-\frac{\alpha}{2}}}}$$

Tabelle 9 zeigt die bei einer Wahrscheinlichkeit von 95% maximalen relativen Abweichungen der tatsächlichen Standardabweichung von der Stichprobenstandardabweichung in Abhängigkeit von der Anzahl n der Stichproben.

n	nach unten	nach oben
10	-31%	+83%
20	-24%	+46%
32	-20%	+33%
50	-17%	+25%
100	-12%	+16%

Tabelle 9: Maximale relative Abweichungen der Standardabweichung von der Stichprobenstandardabweichung s bei einer Wahrscheinlichkeit von 95%.

Im Rahmen einer bei Siemens durchgeführten MFU wird eine bestimmte Anzahl von Glasbauelementen auf eine Glasplatte bestückt. Wird beispielsweise eine Stichprobenstandardabweichung von 9,4 μm bei einem Stichprobenumfang von 32 Bauelementen ermittelt, kann mit einer Sicherheit von 95% angenommen werden, daß die tatsächliche Standardabweichung unter 12,5 μm liegt, was einer Bestückgenauigkeit von 50 μm bei 4σ entspricht.

Um die Bestückgenauigkeit noch exakter zu ermitteln, ist es sicherlich wünschenswert, die Anzahl der Stichproben auf mindestens 100 zu erhöhen. Der Aufwand dabei ist jedoch hoch, da die Position jedes Bauelements exakt gemessen werden muß. Dies

gilt auch beim Einsatz einer automatischen Meßmaschine, bei der zudem die geforderte Genauigkeit Probleme aufwirft.

5.3.7 Maschinenfähigkeits-Index

Im Rahmen einer Maschinenfähigkeitsuntersuchung (MFU) wird die Genauigkeit einer Bestückmaschine gemessen. In einem zweiten Schritt wird dann die Eignung der Maschine für eine bestimmte Anforderung beurteilt, indem die ermittelte Genauigkeit zu einem geforderten Grenzwert in Beziehung gesetzt wird. Hierbei hat sich der Maschinenfähigkeits-Index bewährt, der allgemein zur Beurteilung der Prozeßfähigkeit von Maschinen verwendet wird.

Der Maschinenfähigkeitsindex kann nach Festlegung einer oberen und unteren Spezifikationsgrenze für die Bestückgenauigkeit (OSG bzw. USG) berechnet werden. Oft sind die Grenzwerte symmetrisch, in diesem Fall kann der Grenzwert $SG = OSG = -USG$ verwendet werden. Der Maschinenfähigkeitsindex c_m ist definiert als das Verhältnis von zulässiger beidseitiger Abweichung von der Sollposition zu sechsfacher Standardabweichung der Maschine:

$$c_m = \frac{OSG - USG}{6\sigma} \quad \text{bzw.} \quad c_m = \frac{SG}{3\sigma}$$

Der Maschinenfähigkeitsindex c_m bewertet die Streuung der Bestückposition. Der Index c_{mk} berücksichtigt zusätzlich zur Streuung die mittlere Abweichung μ der Bestückposition vom Sollwert. Bei symmetrischen Grenzwerten ergibt sich der Index c_{mk} zu:

$$c_{mk} = \frac{SG - \mu}{3\sigma}$$

Abb. 5-37 zeigt an einem Beispiel, wie der Maschinenfähigkeits-Index c_{mk} berechnet wird. Ein Maschinenfähigkeitsindex von eins kann anschaulich so verstanden werden, daß der geforderte Grenzwert gerade außerhalb des 3σ -Bereichs der Normalverteilung liegt. Je größer der Maschinenfähigkeits-Index ist, desto weiter liegt der geforderte Grenzwert von der Symmetrieachse der Normalverteilung

lung entfernt, und desto sicherer werden beim Bestücken die geforderten Grenzen eingehalten.

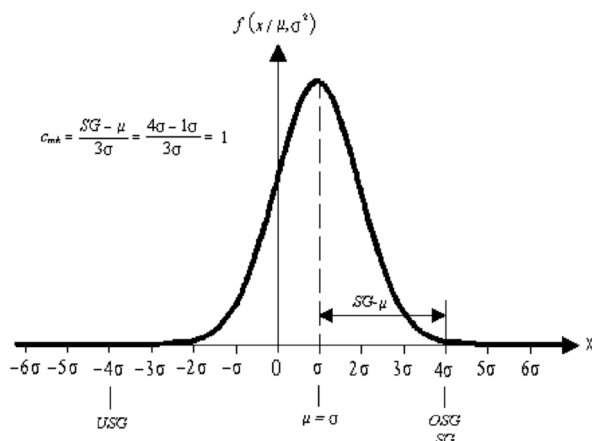


Abb. 5-37 Beispiel zur Bestimmung des Maschinenfähigkeitsindex c_{mk} , bei dem neben der Streuung der Bestückposition auch die mittlere Abweichung berücksichtigt wird.

Ein Maschinenfähigkeits-Index von 1,33 wird als ausreichend angesehen, um eine entsprechende Anforderung zu erfüllen. Der Grenzwert liegt dann gerade außerhalb des 4σ -Bereichs der Normalverteilung.

Angenommen, bei einer MFU wird für die Bestückgenauigkeit einer Maschine eine Standardabweichung von $\sigma = 12,5 \mu m$ und eine mittlere Abweichung von $\mu = 10 \mu m$ ermittelt. Um ein bestimmtes Bauelement zu bestücken, wird eine maximale Abweichung von $SG = 60 \mu m$ gefordert. Damit erhält man einen Maschinenfähigkeits-Index von:

$$c_{mk} = \frac{SG - \mu}{3\sigma} = \frac{60\mu m - 10\mu m}{3 \cdot 12,5\mu m} = 1,33$$

Die Maschine ist also gerade noch fähig, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Eine Maschine, für die nicht nachgewiesen wird, daß sie die Anforderungen erfüllt, kann im Fertigungsprozeß nicht durch Stichproben überwacht werden. Die notwendige vollständige Kontrolle des Bestückvorgangs und eine entsprechend höhere Reparaturhäufigkeit der fehlerhaft bestückten Leiterplatten führen zu hohen Kosten. Daher ist es verständlich, daß immer mehr Kunden beim Kauf eines Bestückautomaten vom Hersteller einen Nachweis der Maschinenfähigkeit verlangen. Die Anforderungen an die Maschinenfähig-

keit werden dabei wegen steigender Qualitätsanforderungen in Zukunft weiter zunehmen.

5.4 Bestückleistung

Einer der wichtigsten Einflußfaktoren für die Wirtschaftlichkeit eines SMD-Bestückautomaten ist die Bestückleistung. Je mehr Bauelemente in einer Stunde - bei sonst gleichen Kosten - bestückt werden können, desto niedriger sind die Bestückkosten pro Bauelement. Dabei kommt es allerdings nicht auf die erreichbare Maximalleistung an, die in den technischen Daten des jeweiligen Automaten vom Hersteller angegeben wird, sondern auf die in der Praxis bei der konkreten Bestückerstellung tatsächlich erzielbare Bestückleistung, bei der auch Zeiten für Leiterplattentransport und -lageerkennung, Um- und Nachrüsten sowie störungsbedingten Stillstand mit eingehen.

Häufig liegt die tatsächliche Bestückleistung deutlich unter der theoretisch erzielbaren Maximalleistung. Zur Reduzierung der Bestückleistung tragen zahlreiche Einflußgrößen bei, deren Kenntnis es ermöglicht, durch gezielte Maßnahmen wie z.B. ein optimiertes Layout der Leiterplatten die Produktivität zu steigern. Auch vom Bestückautomaten selbst hängt die Dauer von unproduktiven Nebenzeiten wie Umrüstzeiten oder Leiterplattentransportzeiten ab.

5.4.1 Definitionen zur Leistungsbeurteilung

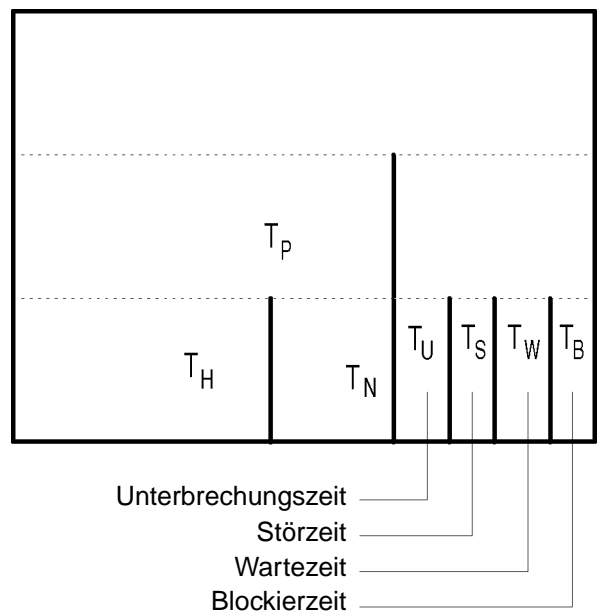
Die Bestückleistung wird in der Regel in Bauelementen pro Stunde angegeben. Je nach Definition wird bei der Ermittlung der Bestückleistung von unterschiedlichen Voraussetzungen ausgegangen:

- Die theoretische Maximalleistung, die in den technischen Daten eines Automaten angegeben wird, bezieht sich allein auf den eigentlichen Bestückvorgang und wird bei optimierter Verteilung der Bauelemente auf die Zuführspuren ermittelt. Zeiten für Leiterplattenlageerkennung und Leiterplattenwechsel werden hierbei nicht berücksichtigt.

- Die tatsächliche Bestückleistung hängt von der spezifischen Bestückaufgabe ab, also von der zu bestückenden Flachbaugruppe. Zeiten für Leiterplattenwechsel, -lageerkennung und Wartezeiten wegen ungleicher Austaktung in der Linie werden dabei in der Regel berücksichtigt. Je nach Definition können auch Stillstandszeiten für Um-, Nachrüsten und Störungsbeseitigungen mit eingehen.

Zur genaueren Erfassung von Maschinenlaufzeiten und Stillstandszeiten und zur Beurteilung der Bestückleistung ist eine detaillierte Aufteilung in einzelne Zeitartern erforderlich. Bei Bestückautomaten ist die Unterteilung in folgende Zeitartern zweckmäßig:

- Unter den Hauptzeiten T_H einer Maschine versteht man diejenigen Zeiten, in denen die Maschine unmittelbar im Sinne ihrer Zweckbestimmung genutzt wird. Hauptzeiten eines Bestückautomaten sind nur die eigentlichen Bestückzeiten. Zeiten für Leiterplattentransport, Leiterplattenlageerkennung und Rüsten sind keine Hauptzeiten.
- Nebenzeiten T_N einer Maschine sind diejenigen Zeiten, in denen eine mittelbare Nutzung der Maschine stattfindet. Zu den Nebenzeiten zählen Zeiten für Leiterplattentransport, Leiterplattenlageerkennung und Pipettenwechsel.
- Die Prozeßzeit T_P ist die Summe aus Haupt- und Nebenzeiten. Während der Prozeßzeit wird die Maschine effektiv im Sinne ihrer Aufgabe genutzt.
- Während der Unterbrechungszeit T_U ist der Betrieb der Maschinen durch einen Bedieneringriff (z.B. Öffnen der Haube, Notaus) unterbrochen.
- Die Störzeit T_S ist die Summe aller durch Störungen (z.B. Spurfehler) verursachter Stillstandszeiten.
- Die Wartezeit T_W ist die Summe aus den Zeiten, in denen die Maschinen auf eine Leiterplatte wartet.
- Die Blockierzeit T_B ist die Summe aus den Zeiten, in denen die Maschine auf das Herausfahren einer Leiterplatte wartet und durch nachfolgende Maschinen blockiert wird.



$$N = \frac{T_P}{T} = \frac{T - (T_u + T_s + T_w + T_B)}{T}$$

$$V = \frac{T_P}{T - T_{org}} \quad T_{org}: \text{Time for organisation standstill}$$

Abb. 5-38 Definition von Nutzungsgrad N und Verfügbarkeit V .

Sind die einzelnen Zeitartern in einem betrachteten Zeitraum erfaßt worden, kann der Nutzungsgrad und die Verfügbarkeit ermittelt werden.

- Der Nutzungsgrad N einer Maschine gibt den Anteil an der Bezugszeit T an, in dem störungs- und unterbrechungsfrei produziert wird. Die Bezugszeit T ist der betrachtete Zeitraum, in dem die einzelnen Zeitartern erfaßt wurden (Abb. 5-38). Der Nutzungsgrad ist ein indirektes Maß für die effektive Nutzung des Automaten im Beobachtungszeitraum.
- Die Verfügbarkeit V einer Maschine ist der Anteil der Prozeßzeit an der Summe aus Prozeßzeit und technisch bedingten Störungen. Zu den technisch bedingten Störungen zählen alle Störzeiten, die nicht organisatorisch bedingt sind, nicht jedoch die Warte- und Blockierzeiten. Organisatorisch bedingte Störzeiten können beispielsweise durch nicht rechtzeitiges Nachfüllen von Bauelementen oder Abwesenheit des Bedienpersonals verursacht

werden. Die Verfügbarkeit macht eine Aussage über die Dauer der technisch begründeten Stillstandszeiten.

- Mit MTBF (Mean Time Between Failure) wird der mittlere zeitliche Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden störungsbedingten Stillständen bezeichnet.
- Die MTTR (Mean Time To Repair) ist die mittlere Reparaturdauer, die zum Beseitigen einer Störung benötigt wird.

Mit Hilfe von BDE/MDE-Funktionen (Betriebs- / Maschinendatenerfassung), die in Maschinen- und Linienrechner von Bestücksystemen integriert sind, können die einzelnen Zeitarten über beliebige Beobachtungszeiträume erfaßt werden. Nutzungsgrad, Verfügbarkeit, MTBF und MTTR für einzelne Maschinen und die gesamte Linie werden aus diesen Daten ermittelt und erlauben eine Beurteilung der Effektivität des Bestückprozesses.

Voraussetzung für einen hohen Nutzungsgrad, eine hohe Verfügbarkeit, hohe MTBF- und kleine MTTR-Werte sind hauptsächlich die Eigenschaften der Maschine (z.B. kurze Leiterplattentransportzeiten, Robustheit und geringe Störanfälligkeit) sowie das organisatorische Umfeld (z.B. rechtzeitiges Nachfüllen von Bauelementen, sorgfältige Wartung und schnelle Störungsbeseitigung). Die über einen längeren Zeitraum im Fertigungsumfeld erzielbare tatsächliche Bestückleistung ist also von einer Vielzahl von Faktoren abhängig.

5.4.2 Einfluß des Bestückinhalts

Einen wesentlichen Einfluß auf die Bestückleistung hat der Bestückinhalt der Leiterplatte, also Anzahl und Art der zu bestückenden Bauelemente.

Beim Bestücken von Standard-Bauelementen mit Chip Shooter Automaten werden sehr hohe Bestückleistungen erreicht. Dagegen ist die Bestückleistung beim Bestücken von Fine Pitch Bausteinen und großen Bauelementen auf Pick & Place Systemen naturgemäß kleiner. Beim Bestücken von Fine Pitch Bausteinen tragen Sonderabläufe wie die Koplanaritätsmessung und das geschwindigkeitsreduzierte Absetzen auf die Leiterplatte zur Verminderung der Bestückleistung bei.

Bei Bestückautomaten, die mit einer bewegten Leiterplatte arbeiten, kann es erforderlich sein, die Bestückleistung zu reduzieren, um das Verrutschen von bereits bestückten, großen oder schweren Bauelementen infolge hoher Beschleunigungen der Leiterplatte zu verhindern. In diesem Fall sollten kritische Bauelemente - falls möglich - zuletzt bestückt werden, um einen Einbruch der mittleren Bestückleistung für die gesamte Leiterplatte zu vermeiden.

Die Anzahl der Bauelemente auf einer Leiterplatte wirkt sich stark auf die erzielbare Bestückleistung aus. Die Taktzeit für eine Leiterplatte setzt sich aus Haupt- und Nebenzeiten zusammen. Die Hauptzeit ist die eigentliche Bestückzeit, zu den Nebenzeiten werden die Leiterplattenwechselzeit und Zeiten für Leiterplattenlageerkennung und Barcodelesen gezählt.

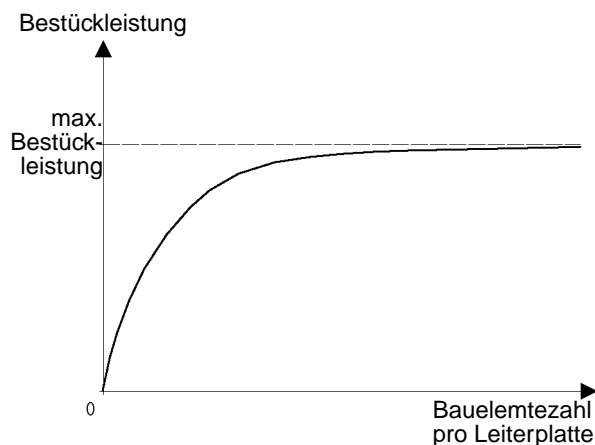


Abb. 5-39 Prinzipielle Abhängigkeit der Bestückleistung eines Automaten von der Anzahl der Bauelemente pro Leiterplatte.

Da während der Nebenzeiten nicht bestückt wird, ist die Bestückleistung um so höher, je größer die Hauptzeiten im Verhältnis zu den Nebenzeiten sind. Die Nebenzeiten pro Leiterplatte sind konstant, die Bestückleistung sinkt daher mit abnehmender Bauelementanzahl (und damit abnehmender Hauptzeit) stark ab (Abb. 5-39). Mit zunehmender Anzahl der Bauelemente pro Leiterplatte nähert sich die Bestückleistung bei sonst idealen Bedingungen asymptotisch der maximalen Bestückleistung.

Um auch bei Leiterplatten, die nur wenige zu bestückende Bauelemente enthalten, eine hohe Bestückleistung zu erzielen, ist es zweckmäßig, mehrere identische Einzel-

schaltungen zu einer Nutzen-Leiterplatte zusammenzufassen, die dann ein Vielfaches der Bauelemente enthält.

Durch Verkürzung der Nebenzeiten des Bestückautomaten ist eine weitere Steigerung der Bestückleistung möglich. Ein schneller Leiterplattentransport und kurze Zeiten für die Lageerkennung werden hierbei angestrebt. Eine Möglichkeit, die Nebenzei-

ten zu verkürzen, ist die zeitlich parallele Ausführung von einzelnen Funktionen. So werden bei einem Automaten mit zwei Revolverköpfen an einem Doppelportalsystem von einem Bestückkopf bereits zwölf Bauelemente aufgenommen, während die neue Leiterplatte einfährt und der andere Kopf ihre Position erfaßt.

6 Liniensteuerung und Linienoptimierung

Die Produktivität eines einzelnen Bestücksystems bzw. einer kompletten Bestücklinie hängt wesentlich von der Leistungsfähigkeit und der Flexibilität der eingesetzten Steuerungen und Softwaresysteme ab.

So ist heute z.B. die Netzwerkfähigkeit unbedingte Voraussetzung für eine effiziente SMT-Fertigung. Die Übernahme von Daten aus CAD-Systemen zur automatischen Generierung von Bestückprogrammen und die Übertragung von NC- (Numeric Control, Bestückprogramme) und Auftragsdaten profitieren dabei von leistungsfähigen Schnittstellen. Modulare Betriebssysteme ermöglichen komfortable und einfach zu bedienende Benutzerschnittstellen mit grafischen Oberflächen und vereinfachen die Vernetzung mit CAD-Systemen und Leitrechnern über Local Area Networks (LANs).

Die Auslastung und die Produktivität einer Bestücklinie kann durch verschiedene Funktionalitäten des Linienrechners erhöht werden. Verfahren zur Rüstoptimierung verbessern die Aufteilung der Bestückinhalte auf die einzelnen Maschinen einer Linie und bestimm-

men die ideale Rüstung der einzelnen Bestückmaschinen. Rechnergestützte Überwachungs- und Datenerfassungssysteme machen auf Probleme im organisatorischen Umfeld und technische Störungen aufmerksam und helfen, den Ablauf weiter zu optimieren. Der gesamte Anlagenzustand mit Fehlerraten, Trendmeldungen und Nutzungsgrad wird protokolliert und kann grafisch dargestellt werden.

Im folgenden werden die Grundlagen der Liniensteuerung und Linienoptimierung vorgestellt.

6.1 Grafische Oberfläche

Die Multitaskingfähigkeit des Betriebssystems ermöglicht das gleichzeitige Ausführen mehrerer Vorgänge. Es können somit während der Bestückung von Leiterplatten bereits die optimierte Anordnung der Förderer für den nächsten Leiterplattentyp ermittelt werden (Rüstoptimierung).

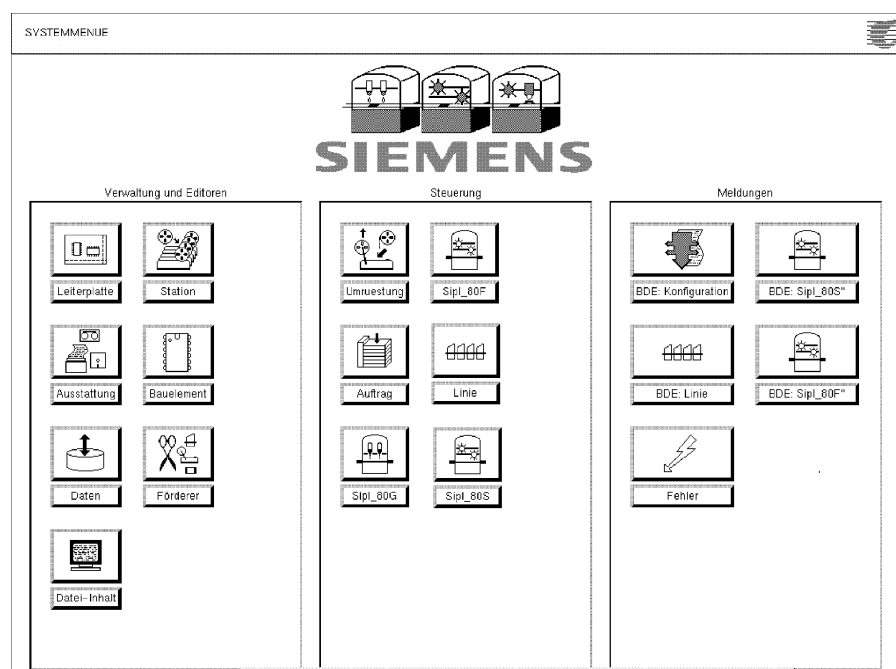


Abb. 6-1 Grafische Bedienoberfläche Linienrechner

Ebenso kann unabhängig von anderen Aktivitäten auch in mehreren Fenstern editiert werden, oder es können die MDE/BDE-Informationen eingesehen werden. Von all diesen Arbeiten bleibt die Bestückleistung des Produktionsequipments unbeeinflusst. Erst, wenn örtlich und organisatorisch getrennt von der Produktion eine Arbeitsvorbereitung betrieben werden soll, ist der Einsatz eines zweiten Linienrechners als Off-Line-Programmiersystem zu empfehlen.

Der einfache Austausch von Informationen zwischen verschiedenen Fenstern ist durch die Window-Technik gewährleistet. Zur Bedienung sind Dank der komfortablen und leistungsfähigen Linienrechner-Anwendungssoftware keine UNIX-Kenntnisse erforderlich.

Bestückprogramme

Ein Bestückprogramm enthält alle Informationen, die zur automatisierten Bestückung eines Leiterplattentyps auf einer SIPLACE Linie benötigt werden. Im Gegensatz zu Stand-Alone-Automaten, bei denen die Programmierung für jede einzelne Maschine erfolgen muß, wird im SIPLACE Linienrechner als integralem Bestandteil einer SIPLACE Fertigungslinie nur ein einziges Bestückprogramm für alle SIPLACE Automaten einer Linie benötigt.

Zu den Informationen eines SIPLACE Bestückprogrammes zählen:

- Die Abmessungen der Leiterplatte sowie die Anordnung von Einzelschaltungen und die Passmarken zur optischen Lagekorrektur
- Bestückpositionen in Form von X, Y und Drehwinkel zu jeder Bauelementesachnummer
- Die Anordnung der Zuführmodule in der Linie und die Zuordnung der einzelnen Bauelementesachnummern
- Die komplette Bauelemente- und Gehäuseformbibliothek sowie zusätzliche Prozessinformationen zu den einzelnen Bauteilen

Alle benötigten Teile eines Bestückprogrammes können mittels Editoren im SIPLACE Linienrechner manuell erstellt werden.

In der Regel werden heute jedoch die Bestückprogramme aus den CAD-Daten der Leiterplatte automatisch generiert.

Programmierplatz

Ein zusätzlicher Rechner, der in seiner Hard- und Softwarekonfiguration mit dem Linienrechner des Fertigungsequipments identisch ist, kann als Programmierplatz eingesetzt werden.

Dieser Programmierplatz kann vom Produktionsequipment örtlich getrennt betrieben werden. Desweiteren kann er Bestückprogramme und andere Daten auch für mehrere Linien verwalten.

Rüsto Optimierung

Ziel der Rüsto Optimierung ist es, sowohl die eigentlichen Bestückzeiten als auch die unproduktiven Nebenzeiten der Maschinen zu minimieren und somit eine Produktivitätssteigerung zu erzielen.

Zur Lösung dieser komplexen Optimierungsaufgabe kommt ein hierarchisches Optimierungsmodell zum Einsatz:

- Durch eine optimierte Verteilung der zu bestückenden Bauelemente auf die verfügbaren Stationen wird eine möglichst gleichmäßige Arbeitsteilung zwischen allen Maschinen einer Linie erreicht (Line Balancing)
- Für die Revolverköpfe wird eine, für die jeweilige Leiterplatte optimierte Pipettenbelegung bestimmt
- Innerhalb einer Maschine wird der optimale Aufstellort eines Förderers berechnet, um die Verfahwege zu minimieren
- Abschließend wird noch die optimale Reihenfolge für die Bestückvorgänge ermittelt, um auch hier minimale Verfahwege zu erreichen

Die Rüsto Optimierung ist in der Lage, für mehrere, unterschiedliche Leiterplattentypen eine gemeinsame Rüstung zu ermitteln. Zur Umstellung der Produktion von einer Leiterplatte auf eine andere aus dieser Gruppe muß jetzt vom Bediener kein Feederwechsel mehr durchgeführt werden. Die Fähigkeit der

Rüsto Optimierung, eine solche Festrüstung zu berechnen, ist nur von der Stellkapazität für Bauelemente in der Linie begrenzt. D.h., es können entsprechend mehr Leiterplatten, die einen sehr ähnlichen oder geringen Bestückinhalt besitzen, zu einer Festrüstung optimiert werden, als dies für Leiterplatten mit einem hohen oder sehr unterschiedlichen Bestückinhalt möglich ist.

Die Rüsto Optimierung ist somit eine wesentliche Komponente eines Hochleistungs-Bestückautomaten und einer flexiblen Hochleistungs-Bestücklinie. Nur durch entsprechende Softwareunterstützung können Hardware-Features wie modulare Bestücksysteme, Modularität von Bestückköpfen und der Einsatz von Verkettungskomponenten zur Produktivitätssteigerung (Productivity-Lift) optimal eingesetzt werden.

Erfassung der Betriebs- und Maschinendaten

Um die Produktivität einer SMD-Bestücklinie auf hohem Niveau noch weiter zu steigern, sind genaue Kenntnisse über den aktuellen Anlagenzustand, den Nutzungsgrad, auftretende Stillstandzeiten und deren Ursachen erforderlich.

Diese Informationen liefern sogenannte Betriebs- und Maschinendatenerfassungssysteme (BDE/MDE).

Mit Hilfe dieser Werkzeuge lassen sich Unzulänglichkeiten aus dem organisatorischen Umfeld, aber auch technische Fehlerursachen erkennen und beheben.

Bei der Betriebsdatenerfassung (MaDaMaS = Maschinen-Daten-Managementsystem) kann zwischen Level 1 und Level 2 unterschieden werden.

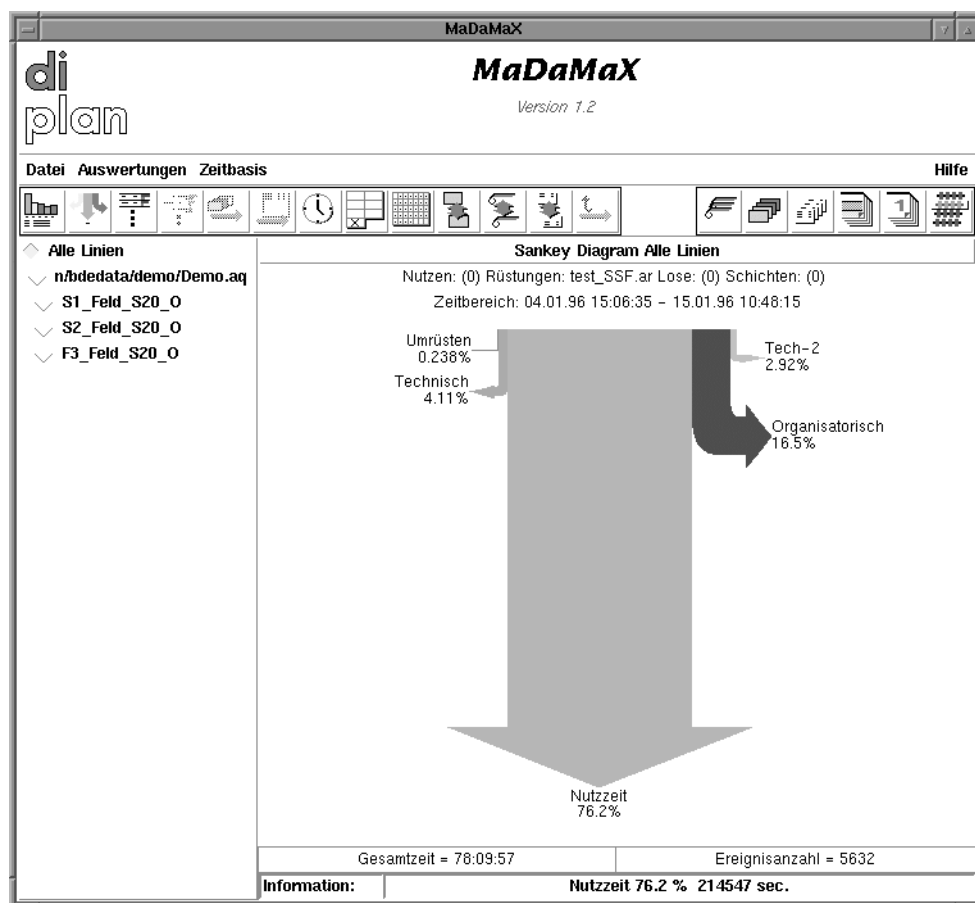


Abb. 6-2 Darstellung von Betriebsdaten im Sankey-Diagramm

MaDaMaS Level 1 dient in erster Linie zur Darstellung von Betriebszeiten, Spurfehlern, und Fehlertrends. Diese Informationen können über folgende Zeiträume betrachtet werden:

- Bis zum letzten Wechsel des Leiterplattentyps
- Bis zum letzten Wechsel der Rüstung
- Bis zum letzten Reset

Die Darstellung der Informationen erfolgt in Form benutzerfreundlicher farbiger Balkendiagramme.

Eine Erweiterung im Hinblick auf die längerfristige Datenanalyse und auf die bereitgestellten Auswertungen stellt MaDaMaS Level 2 dar.

Bei MaDaMaS Level 2 sind z.B. Sankey-Diagramme für Nutzungsgrade und Verfügbarkeiten, Auswertungen für MTBF (Mean Time between Failure) und MTTR (Mean Time to Repair) verfügbar.

6.1.1 Linienübergreifende Steuerung durch Leitrechner

Beim Einsatz von mehreren Bestücklinien in einer Elektronikfertigung ist eine linienübergreifende Steuerung sinnvoll, die eine zentrale Überwachung, NC-Programmhaltung und Auftragsverwaltung ermöglicht.

SMT-Leitsystem mit SMT-Leitstand und zentraler NC-Programmhaltung zur Steuerung und Optimierung von mehreren Bestücklinien.

Ein SMT-Leitsystem, bestehend aus SMT-Leitstand und zentraler NC-Programmhaltung, kann folgende Aufgaben übernehmen:

- Auftragsverwaltung und Auftragsweitergabe an die einzelnen Linien
- Linienübergreifende Rüst- und Durchlaufzeitoptimierung, Störfallmanagement
- Zentrale NC-Programmhaltung und bidirektionale Programmübertragung an die Linien
- Kommunikation mit übergeordneten PPS-, CAE- und CAQ-Systemen über LAN-Schnittstelle

- Zentrale Linienüberwachung über BDE-/MDE-Funktionalitäten, Informationen über den aktuellen Anlagenzustand werden von den Linienrechnern übernommen

Verschiedene Möglichkeiten zur Übertragung von Bestückdaten zwischen Linienrechner und CAD-System bzw. Leitrechner.

SMT-Leitstand

In den letzten Jahren nahm das Volumen von SMD-Baugruppen in der Elektronik-Fertigung stark zu. Das führte einerseits zu Flachbaugruppen mit höchsten Stückzahlen, andererseits aber auch zu immer mehr Flachbaugruppen, die in kleinen bis kleinsten Losgrößen gefertigt werden. In beiden Fällen können leistungsfähige Rüstoptimierungen und Auftragsverwaltungen die Produktivität der Bestücklinien steigern.

Bei kleinen Losgrößen erfordern unterschiedliche Bauelementspektren ein häufiges Umrüsten. Um hier Stillstandszeiten durch Umrüstvorgänge und den notwendigen Personalaufwand zu reduzieren, faßt die linienübergreifende Rüstoptimierung im SMT-Leitstand Aufträge mit ähnlichem Bauelementspektrum zu Gruppen (Clustern) zusammen, innerhalb derer nicht oder nur in geringem Maße umgerüstet werden muß.

Gleichzeitig wird durch die Auftragssteuerung für eine gleichmäßige Auslastung der Linien und die termingerechte Auftragsabwicklung gesorgt. Bei Auftragsänderungen – z.B. bei vorgezogenen Lieferterminen – und eventuell auftretenden Störfällen in einer Linie erfolgt eine flexible und schnelle Reaktion auf die neue Situation. Die Aufträge werden von einem übergeordneten PPS-System übernommen und in einer Auftragsdatenbank abgelegt. Aufträge können im SMT-Leitstand auch manuell editiert werden.

Bei der Generierung der Auftragsreihenfolge werden üblicherweise die Aufträge für die nächsten zwei oder drei Tage berücksichtigt. Dem Bediener des Leitstands wird die vorgeschlagene Auftragsreihenfolge und Linienzuordnung vorgelegt, ein manuelles Eingreifen ist jederzeit möglich.

Neben den SMD-Bestücklinien ist auch die Integration von Sonderbestückautomaten sowie von den Bereichen Lotpastendruck und Rüstvorbereitung in den SMT-Leitstand möglich.

Rüsto Optimierung durch Clusterbildung

Bei der Generierung der Auftragsreihenfolge für die einzelnen Linien sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- Minimierung der Rüstzeiten zwischen den Aufträgen
- Gleichmäßige Auslastung der Linien
- Einhaltung der vorgegebenen Prioritäten und Termine bei der Auftragsabarbeitung
- Konfiguration der Linien und technische Erfordernisse (z.B. bei Fine Pitch Bauelementzuführung und Bestückung)
- vorhandene Vor- und Festrüstungen
- Bauelementzuführ-Kapazitäten der Linien
- Berücksichtigung von Änderungen vorliegender Aufträge und auftretender Störungen in den Linien

Die linienübergreifende Optimierung der Auftragsreihenfolge erfolgt nach dem Prinzip der Clusterbildung, das auch bei der linienbezogenen Optimierung im Linienrechner angewandt wird. Unter einem Cluster versteht man eine Gruppe von Aufträgen, deren Bauelementspektralen sich so weit überlappen, daß ein Umrüsten innerhalb dieser Gruppe nicht erforderlich ist oder sich – im ungünstigsten Fall – auf ein Minimum beschränkt.

Die linienübergreifende Rüsto Optimierung gruppiert die Aufträge in Clustern, die dann auf den einzelnen Linien abgearbeitet werden. Innerhalb eines Clusters ist meist keine Umrüstung möglich.

Für jede Linie werden ein oder mehrere Cluster aus den vorgegebenen Aufträgen gebildet, wobei versucht wird, alle oben aufgeführten Randbedingungen zu beachten (Abb. 6-3). Dabei wird es nicht immer möglich sein, alle Bedingungen gleichzeitig zu erfüllen. So können beispielsweise vorgegebene Prioritäten und Termine der Aufträge eine in Bezug auf die Rüstzeitminimierung optimale Reihenfolge verbieten.

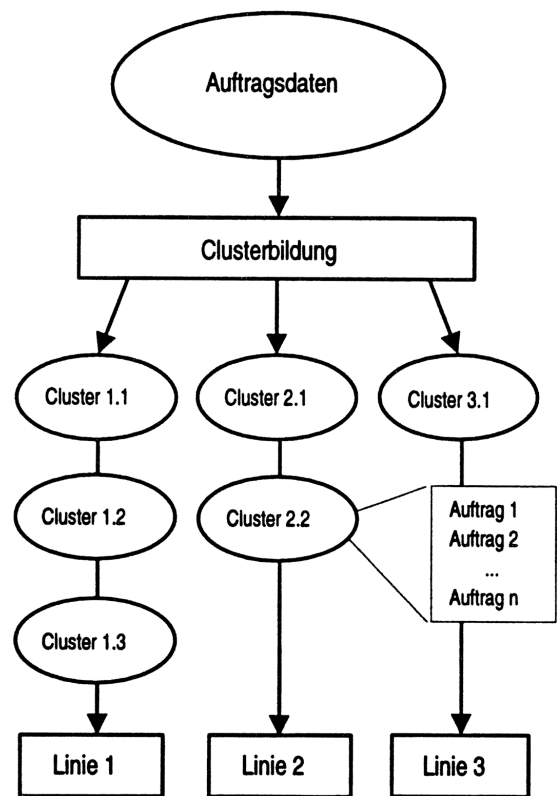


Abb. 6-3 Die linienübergreifende Rüsto Optimierung gruppiert die Aufträge in Clustern, die dann auf den einzelnen Linien abgearbeitet werden. Innerhalb eines Clusters ist meist keine Umrüstung möglich.

Bei der Clusterbildung wird zunächst ein Cluster für jede Bestücklinie gebildet. Diesen Clustern wird dann jeweils ein Auftrag zugeordnet, wobei Aufträge mit breitem Bauelementspektrum und hoher Losgröße bevorzugt werden. Gleichzeitig wird versucht, den Clustern und damit den Linien Aufträge mit möglichst unterschiedlichen Bauelementspektralen zuzuordnen. Dadurch erhält man als Ausgangspunkt für die weitere Zuordnung der Aufträge Cluster mit jeweils einem breiten, aber von anderen Clustern abweichenden Bauelementspektrum.

In einem zweiten Schritt wird versucht, die noch nicht verteilten Aufträge denjenigen Clustern zuzuordnen, die die größte Ähnlichkeit mit ihnen bezüglich des Bauelementspektrums aufweisen. Dabei müssen Randbedingungen wie die verfügbare Bauelementkapazität einer Linie beachtet werden. Können auf diese Weise alle Aufträge verteilt werden, ist jeder Linie nur ein Cluster zugeordnet. Dies stellt den günstigsten Fall dar, da ein Umrüsten der Linien dann nicht notwendig ist (Festrüstung).

Bei kleineren Losgrößen werden meist Aufträge übrigbleiben, die nicht auf die vorhandenen Cluster verteilt werden können. Für diese Aufträge werden neue Cluster gebildet. Beim Wechsel von einem Cluster einer Linie auf das nächste muß dann umgerüstet werden. Im ungünstigsten Fall, der allerdings in der Praxis nahezu ausgeschlossen ist, muß für jeden Auftrag ein eigenes Cluster gebildet werden. Aber auch in diesem Fall kann durch eine nachfolgende Reihenfolgeoptimierung der Cluster der Rüstaufwand beträchtlich gesenkt werden.

In den folgenden Optimierungsschritten auf Linien- und Maschinenebene erfolgt die Aufteilung der Bauelemente auf die Maschinen und Zuführspuren, wie bereits im Kapitel über den Linienrechner beschrieben. Die Reihenfolge der Cluster wird für jede Linie mit Hilfe einer sogenannten Umrüstmatrix optimiert, so daß sich beim Wechsel zwischen den Clustern möglichst kurze Umrüstzeiten ergeben. Falls erforderlich, werden Cluster auf andere Linien verschoben. Simulationen des Bestückprozesses ermöglichen dem Bediener, die Ergebnisse einzusehen und Analysen zu Durchlaufzeiten und Auslastungen durchzuführen. Bei Bedarf kann er eingreifen und einen Feinabgleich durchführen.

6.2 Softwarearchitektur der Zukunft

Die zukünftige Softwaregeneration von Bestückssystemen besteht aus einem auf den jeweiligen Bestückautomaten ablauffähiges Client-Server-Softwaretool. Die bisherige Aufteilung in Linien- und Stationsrechner, wie sie häufig in der Praxis vorzufinden ist, wird somit durch neueste Client-Server-Softwarearchitektur abgelöst. In Kombination mit neuester Datenbanktechnologie steht somit

dem Anwender von Bestückssystemen eine Software mit maximaler Flexibilität zur Verfügung.

Ein weiteres Merkmal der zukünftigen Softwarearchitektur für Bestückssysteme besteht im Einsatz von Standard Hardware (typischer Standard PC) und Standard Software (z.B. Windows NT 4.0).

6.2.1 Offene Schnittstellen für maximale Software-Flexibilität

Durch eine offene Software-Architektur wird ein Datenzugriff über Standardschnittstellen bereitgestellt, was die Integration der Bestückssysteme in eine bestehende CIM-Umgebung und eine Integration in bestehende Chipshooter- und Multivendor-Bestücklinien vereinfacht.

Weiterhin besteht die Möglichkeit für die Anwender, über die offenen Schnittstellen in kürzester Zeit kundenspezifische Applikationen für den Bestückprozeß durch den Einsatz einfacher Standardsoftware zu erstellen.

6.2.2 Monitoring von Bestückssystemen im Jahr 2000

Ein wichtiger Bestandteil der zukünftigen Software von Bestückssystemen ist eine Maschinen-Informationen-System, welches Maschinenbediener über den ständigen Zustand des Bestücksystemes informiert. Dieses Softwaremodul sollte ein Online-Monitoring, Online-Controlling und eine Online-Analyse der Betriebszustände und der Bestückereignisse auf einen Blick ermöglichen. Neben der ständigen Online-Darstellung der aktuellen Zustände von Bestückssystemen und Bestücklinien erfolgt eine visuelle Darstellung der Trends mit Hinweisen bezüglich dem Unterschreiten von Grenzwerten. Über Standard-Tabellenfunktionen kann der Maschinenbediener Auswertungen und Analysen der Maschinen-, Linien- und Bestückdaten an einem beliebigen PC im LAN-Verbund vornehmen.

6.2.3 Programmieren oder Zaubern: Einsatz von Wizards bei der Leiterplattenprogrammierung

Bei zukünftigen Softwaretools für die Programmierung von Bestückssystemen werden für bestimmte Abläufe, wie heutzutage schon bei Standard-PC-Software üblich, sogenannte Wizards (Zauberlehrlinge) eingesetzt. Solche Abläufe sind z.B. für den Import und Export von Daten oder die Erstellung von Gehäuseformen hervorragend geeignet (Abb. 6-4).

In Kombination mit einer visuellen Bedienoberfläche steht somit für den Maschinenbediener ein Tool zur Verfügung, welches den

Zeitbedarf für die Programmierung von Bestückautomaten und Bestücklinien auf ein Minimum reduziert.

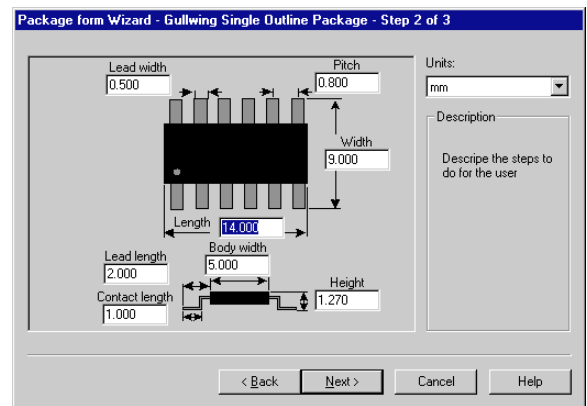


Abb. 6-4 Ein Gehäuseform-Wizard dient zum einfachen, visuellen Erstellen von Bauelement Gehäuseformen

7 Bestückkosten

Wie bereits in Kapitel 5.4 dargestellt, sind je nach Anwendungsbereich von automatischen Bestücksystemen für SMDs unterschiedliche Leistungskriterien wie z.B. theoretische Bestückleistung, Flexibilität oder Anzahl der zu rüstenden Bauelementetypen für den jeweiligen Einsatzfall von besonderer Bedeutung. Das jeweils wichtigste Kriterium ist – zumindest bei „stand alone“-Lösungen – vorrangig bestimmend für die Auswahl eines bestimmten Maschinenkonzeptes. Bei komplexeren Aufgabenstellungen wird häufig die Kombination unterschiedlicher Leistungsmerkmale in einer Fertigungseinheit benötigt, d.h. es werden Bestückmodule unterschiedlicher Leistungscharakteristik in einer Fertigungslinie miteinander verkettet.

Für den wirtschaftlichen Einsatz von Bestückungssystemen ist es von wesentlicher Bedeutung, daß die Leistungskriterien des Automaten möglichst gut mit den Anforderungskriterien der Produktion übereinstimmen. Wegen der in der Regel unterschiedlichen Bestückaufgaben in einer Fertigung kann diese Forderung in der Praxis nur bedingt erfüllt werden, d.h. die spezifischen Leistungsmerkmale eines Bestücksystems werden unterschiedlich amortisiert. Für die Ermittlung der Bestückkosten hat dies zur Konsequenz, daß im Prinzip immer die gesamte Leistungspalette eines Automaten – die im wesentlichen die Investition bestimmt – zur Verfügung gestellt wird, diese aber je nach Bestückaufgabe nur zum Teil genutzt werden kann. Wegen der Unterschiedlichkeit der Bestücksysteme kann es deshalb keine „absoluten“ Bestückkosten geben, die effektiven Bestückkosten werden aber um so niedriger liegen, je besser Bestücksystem und Bestückaufgabe aufeinander abgestimmt sind.

Unter „Bestückkosten“ sollen im folgenden ausschließlich die Kostenteile in der Baugruppenfertigung verstanden werden, die durch das Setzen der SMDs auf die Schaltungssubstrate verursacht werden, die also in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Bestücksystem stehen. Die Kostenanteile für

alle vorangehenden (z.B. Lotpastenauftrag) oder nachfolgenden (z.B. Reflowlöten) Fertigungsschritte incl. Nebenarbeiten (Rüstarbeiten Siebdruckanlage, optische Kontrolle etc.) unterliegen zum Teil anderen Einflußgrößen und sind deshalb getrennt zu betrachten. Im Regelfall wird ohnehin der Produktionsdurchsatz pro Zeiteinheit durch die effektive Bestückrate des Bestücksystems bestimmt, vor- und nachgeschaltete Fertigungseinrichtungen sind normalerweise nicht durchsatzbestimmend.

Weiterhin ist anzumerken, daß die nachfolgenden Darstellungen sich lediglich auf die „reinen“ Bestückkosten beziehen, die Bestückkosten quasi isoliert vom restlichen betriebswirtschaftlichen Umfeld betrachtet und diskutiert werden. Für eine Ermittlung der „effektiven“ Bestückkosten sind entsprechend dem betriebsüblichen Kalkulationschema noch entsprechende Zuschläge in Ansatz zu bringen.

Um die Entstehung und Beeinflussung von Bestückkosten anschaulich zu machen, ist die Gesamthematik wie folgt differenziert zu betrachten:

1. Ermittlung der festen Betriebskosten unter Berücksichtigung der Maschinenkosten, der möglichen Nutzungsdauer und der Kosten für Bedienpersonal
2. Ermittlung der spezifischen Bestückkosten für SMDs unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bauteiltypen, Bestückungsabläufe, Leiterplattentypen, Bestückinhalte
3. Beeinflussung / Veränderung der spezifischen Bestückkosten für SMDs

Da ein direkter Kostenvergleich zwischen verschiedenen Bestücksystemen den Rahmen dieser Betrachtung sprengen würde, sind die nachstehenden Zahlenangaben immer nur als Orientierungs- und Vergleichsdaten zu verstehen.

7.1 Ermittlung der festen Betriebskosten

Am einfachsten lassen sich die festen Betriebskosten des Bestücksystems über die Berechnung des Systemstundensatzes ermitteln. Der Systemstundensatz setzt sich aus unterschiedlichen Kostenarten (kalkulatorische Abschreibung, kalkulatorische Zinsen, Raumkosten, Energiekosten, Instandhaltungskosten etc.) zusammen. Die Höhe des Systemstundensatzes wird vor allem beeinflusst durch die Investitionssumme, die Abschreibungsdauer, das Zinsniveau und die mögliche Nutzungsdauer des Systems pro Arbeitstag (ein- oder mehrschichtig). Als Systemstundensatz soll für die weiteren Betrachtungen ein Betrag von DM 100,- verwendet werden.

Bei der Ermittlung der Kosten für das Bedienpersonal ist zu berücksichtigen, daß die reine Überwachung der Bestückeranlage incl. Nachfüllen der Bauteile im Regelfall keine ganze Arbeitskraft erfordert, sondern diese Arbeiten nur einen gewissen Prozentsatz der möglichen Arbeitsleistung beanspruchen. Häufig kann eine SMD-Fertigungslinie (mit Leiterplatteneingabe, Lotpastenauftrag, SMD-Bestücken, Reflowlöten und Leiterplattenabgabe) von einer Bedienungsperson betreut werden, z.T. ist sogar die Betreuung mehrerer Linien durch eine Person möglich. Je nach vorliegender Situation ist demnach auch nur ein (im Einzelfall festzulegender) Teilbetrag des vollen Personalstundensatzes den Bedienungskosten für das Bestücksystem zuzuordnen. Als anteiliger Personalstundensatz soll für die weiteren Betrachtungen ein Betrag von DM 20,- verwendet werden.

Die festen Betriebskosten für das Bestücksystem incl. Bedienung als Ausgangsbasis für die Ermittlung der spezifischen Bestückkosten betragen damit 120,- DM /h bzw. 2,-DM /min oder etwa 0,033 DM /s.

7.2 Ermittlung der spezifischen Bestückkosten

Flexible Pick & Place Bestücksysteme sind in der Lage, ein sehr großes Bauteilespektrum innerhalb eines Bestückungskonzeptes zu verarbeiten, z.B. die ganze Spannweite von

kleinen passiven SMDs bis hin zu hochpoligen Fine Pitch ICs. Diese Art der flexiblen Bestückung ist nur möglich, wenn das Bestücksystem in der Lage ist, sich auf die Gegebenheiten der unterschiedlichen Bauteilgeometrien einzustellen, z.B. durch Variation der Bewegungsabläufe, Kontrollabfragen, zusätzliche Aktivierung von Sensorik usw. Wenn man als Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der spezifischen, d.h. bauteilspezifischen Bestückkostenanteile den für den jeweiligen Ablauf des Bestückvorganges benötigten Zeitanteil heranzieht, so ist sehr einfach zu sehen, daß SMDs mit geringem „Schwierigkeitsgrad“ geringe Bestückkosten verursachen, während Bauteile mit höherem „Schwierigkeitsgrad“ auch höhere Bestückkosten zur Folge haben. Dies soll im folgenden an einigen Bauspielen erläutert werden.

- Fall A: „Standard“-Bestückung eines einfachen SMDs (z.B. 1206 C/R o.ä.):

Bestückablauf: Aufnehmen des SMDs mit Saugpipette, Zentrieren mit x/y-Zangenpaaren (zeitneutrale Prüfung des elektrischen Bauelementewertes), Verfahren von Pick- zu Place-Position, Absetzen des SMD, nach Absetzen zur nächsten Pick-Position. Bei einem Zeitbedarf für diesen Ablauf von z.B. 0,9 s ergeben sich bauteilspezifische Bestückkosten von ca. 0,03 DM.

- Fall B: Bestückung eines PLCC mit Visionssystem:

Bestückablauf: Abholen der geeigneten Saugpipetten, Aufnehmen des PLCC mit Saugpipette, Verfahren zur Bauelemente-Vision-Kamera. Durchführung und Auswertung der optoelektronischen Lageerkennung zur Zentrierung des PLCC, Verfahren zur Pick-Position, Absetzen des PLCC, nach Absetzen des PLCC Rückgabe der Saugpipetten, danach weiter zur nächsten Pickposition. Bei einem Zeitbedarf für diesen Ablauf von z.B. 4,5 s ergeben sich bauteilspezifische Bestückkosten von ca. 0,15 DM.

Anmerkung: Werden nach dem Abholen des entsprechenden Saugpipettenadapters noch weitere Bauteile bestückt, die mit diesem Ablauf gehandelt werden, sind für die Ermittlung der bauteilspezifischen

Bestückkosten nur die anteiligen Zeiten für das Abholen und Zurücksetzen des Saugpipettenadapters zu berücksichtigen.

- Fall C: Bestückung eines Fine Pitch IC (z.B. QFP 208 / Rastermaß 0,5 mm):
Bestückungsablauf: Analog zu Fall B, jedoch zusätzlich – nach der optoelektronischen Lageerkennung des Bauteils am Bestückwerkzeug – Überprüfung der Koplanarität der Anschlußbeinchen mit Zusatzmodul „Coplanarity Check“. Bei einem Zeitbedarf für diesen zusätzlichen Prüfschritt vor dem eigentlichen Bestückvorgang von z.B. 3,5 s und einem sonst zu Fall B analogen Bestückablauf ergeben sich bauteilspezifische Bestückkosten von ca. 0,26 DM.

Die oben beispielhaft ermittelten und auf die unterschiedlichen Bestückabläufe abgestellten bauteilspezifischen Bestückkosten gelten nur dann, wenn jeder Bestückvorgang in sich fehlerfrei ist und mit dem Setzen des Bauteils positiv abgeschlossen werden kann. Alle nicht produktiven Bestückabläufe, d.h. die nicht mit dem Setzen des Bauteils abgeschlossen werden können (z.B. wiederholte Versuche zum Aufnehmen eines SMDs bei unsicherer Vakuumabfrage oder Identitätsprüfung, Zurücklegen eines Fine Pitch IC in die Pick-Position/Flächenmagazin nach nicht erfolgreich abgeschlossener Prüfung der Koplanarität) sind aus Sicht der Kostenermittlung unproduktive Zeit- und damit Kostenanteile, die den eigentlichen Bestückkosten hinzugerechnet werden müssen. Der Anteil dieser nicht produktiven Bestückkosten kann durch entsprechende Gestaltung des Bestückprogrammes, korrektes Aufrüsten der Bestückmaschine, vorbeugende Wartung (z.B. Sicherstellung der Vakuumabfrage durch Reinigen der Saugpipette), durch Einhaltung der elektrischen und mechanischen Spezifikationen der SMDs sowie eine fehlerfreie Anlieferform der SMDs (Gurte, Stangenmagazine, Flächenmagazine) in engen Grenzen gehalten werden.

Die bis hierhin ermittelten Bestückkosten basieren auf den bauteilspezifischen Erfordernissen für die Durchführung des Bestückvorganges an sich, geben aber noch keine

Information über die Bestückkosten, die sich bei Bestückung dieser Bauteile auf unterschiedliche Substrate bzw. Leiterplatten ergeben. Wesentliches Element für diese Fortführung der Kostenermittlung ist die Analyse der eigentlichen Bestückaufgabe, die im wesentlichen durch die beiden Kriterien „Leiterplattenformat“ und „Bestückinhalt“ gekennzeichnet wird.

Zwischen dem Aufnehmen und dem Absetzen eines SMDs ist die Distanz zwischen der Abholposition und der Absetzposition auf dem Substrat zurückzulegen. Dieses Verfahren des Bestückkopfes ist natürlich ein zeitbehafteter Vorgang, der sich bei sehr großen Verfahrenswegen in einer Verringerung der Bestückerleistung niederschlägt, bzw. um an die oben dargestellte Betrachtung anzuschließen, eine Vergrößerung des Zeitbedarfs für den Bestückvorgang und damit eine Erhöhung der Bestückkosten zur Folge hat. In vielen Fällen – vor allem bei Anwendung der Nutzenteknik bei kleinen Einzel-Leiterplatten – kann die zu bestückende (Nutzen-) Leiterplatte so auf das jeweilige Bestückssystem abgestimmt werden, daß eine anteilige Erhöhung der Bestückkosten durch (zu) große Verfahrenswege vermieden oder minimiert wird. In anderen Fällen – z.B. Einzel-Leiterplatten mit großen Abmessungen – können anteilige Erhöhungen der Bestückkosten durch große Verfahrenswege durch Mehrfachbelegung von Bauelementezuführspuren vermieden werden.

Unter dem Begriff „Bestückinhalt“ ist die Anzahl von SMDs zu verstehen, die innerhalb eines Bestückablaufes auf eine Leiterplatte – unabhängig ob Einzel- oder Nutzen-Leiterplatte – insgesamt zu setzen ist. Zwischen dem Abschluß der Bestückung der n-ten LP und dem Beginn der Bestückung der (n+1)-ten LP ist ein Leiterplattenwechsel vorzunehmen (automatisch oder manuell), der – da während des Leiterplattenwechsels keine Bestückung erfolgt – mit seinem Zeitanteil den Gesamtbestückkosten pro Leiterplatte (bauteilspezifisch und auf die LP bezogen) proportional zuzuschlagen ist. Zwei einfache Beispiele sollen dies kurz erläutern.

- Beispiel 1: Eine Leiterplatte ist mit einem Bestückinhalt von 7 SMDs in einer Anordnung als 3-fach Nutzen zu bestücken.
Gesamter Zeitbedarf für die Bestückung

der insgesamt 21 SMDs: 24 s.

Der Zeitbedarf für den Wechselvorgang (manuell): 8 s.

Die Gesamtkosten erhöhen sich hierdurch um ca. 33 % (!).

- Beispiel 2: Eine Leiterplatte ist mit einem Bestückinhalt von 250 SMDs als Einzel-Leiterplatte zu bestücken.

Gesamter Zeitbedarf für die Bestückung: 270 s.

Zeitbedarf für den Wechselvorgang (automatisch): 2,5 s.

Die Gesamtkostenenerhöhung durch den Vorgang des Leiterplattenwechsels beträgt weniger als 1 % und ist damit praktisch vernachlässigbar.

Alle vorstehend gemachten Überlegungen zur Bestückkostenermittlung beziehen sich auf das jeweils zur Verfügung stehende Bestücksystem (incl. Bedienung), auf die je nach Bauteiletyp unterschiedlichen Bestückabläufe sowie auf die Bedingungen, die durch die Gestaltung der zu bestückenden Leiterplatte induziert werden.

Diese Art der Bestückkostenermittlung kann durch Anpassung der Ausgangsvoraussetzungen auf der einen Seite (Ermittlung der festen Betriebskosten) sowie der Anwendungsbedingungen auf der anderen Seite (Ermittlung der spezifischen Bestückkosten in Abhängigkeit von Bauteil- und Leiterplatzentypen) an unterschiedliche Konzepte von Bestücksystemen und unterschiedliche Bestückaufgaben angepaßt werden. Bei der Ermittlung der „spezifischen“ Bestückkosten werden die Kosten, die durch die zeitliche Verfügbarkeit eines Bestücksystems mit bestimmten Leistungskriterien anfallen, differenziert nach den Schwierigkeitsgraden der Bestückabläufe und unter Einbeziehung der durch die Substrate vorgegebenen Bedingungen auf die eigentliche Bestücktätigkeit anteilig angerechnet. Jeder Mehrbedarf an Zeit – z.B. durch nichtproduktive Zeitanteile – führt zwangsläufig zu einer Erhöhung der spezifischen Bestückkosten.

Um von den „spezifischen“ Bestückkosten zu den real anfallenden Bestückkosten zu kommen, müssen nun noch die Kostenanteile

ermittelt werden, die nicht in direktem Zusammenhang zur Bestückaufgabe oder zur Leistungscharakteristik des Automaten stehen. Die Ursachen für diesen Kostenanteil liegen im organisatorischen Umfeld, in dem das Bestücksystem die Bestückaufgabe bearbeitet.

7.3 Ermittlung der realen Bestückkosten

Automatische Bestückungssysteme sind kapitalintensive Fertigungseinrichtungen, bei denen nur ein hoher Nutzungsgrad des Systems während der betrieblichen Einsatzdauer zu wirtschaftlichen Betriebsergebnissen oder in anderen Worten: zu niedrigen Bestückkosten führen kann. Alle organisatorischen Maßnahmen im Umfeld des Bestücksystems müssen demnach so gestaltet werden, daß der Nutzungsgrad des Systems optimiert bzw. die nichtproduktiven Zeitanteile minimiert werden. Für die Ermittlung der realen Bestückkosten sind demnach die durch das Umfeld bedingten Mehrkosten ein wesentlicher Faktor der Kostenentstehung.

Die durch das organisatorische Umfeld bedingten (Mehr-) Kosten können verschiedene Ursachen haben, auf die wichtigsten dieser Ursachen soll nachstehend kurz eingegangen werden:

Rüstzeiten

Bei der Pick and Place Bestückung wird die für die Bestückaufgabe notwendige Sequenz der einzelnen Bestückvorgänge innerhalb eines Bestückprogrammes durch wahlfreien Zugriff des Bestückkopfes auf die in den aufgerüsteten Bauelemente-Zuführmodulen angebotenen Bauteiltypen abgearbeitet, wobei im Regelfall die Gesamtanzahl der SMDs pro Leiterplatte in einem Durchlauf bestückt wird. Um eine solche Komplettbestückung zu ermöglichen, müssen alle auf der Schaltung benötigten Bauteilwerte auf dem System zur Verfügung stehen, d.h. aufgerüstet sein. Rüstarbeiten an Bestücksystemen bedingen (nichtproduktive und) Mehrkosten verursachende Stillstandszeiten. Es

sollten deshalb alle Maßnahmen realisiert werden, die eine Reduzierung der rüstbedingten Stillstandszeiten zur Folge haben. Stichworte: Bauteilevielfalt reduzieren, im Optimalfall mit „Festrüstung“ arbeiten, ABC-Bauteilanalyse zur Optimierung der Rüstkonfiguration, Vorrüsten der Bauteil-Zuführmodule einzeln oder als Gruppe, rüstkostenoptimierte Abfolge unterschiedlicher Bestückaufgaben u.a.m. Gerade bei der Fertigung kleiner Losgrößen von Leiterplatten mit wechselnden Bauteilespektren kann durch Maßnahmen der Rüstkosten-Minimierung eine erhebliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit bzw. eine Senkung der realen Bestückkosten erreicht werden.

Wartezeiten

Wartezeiten können unterschiedliche Ursachen haben, wie z.B. Störungen bei der Versorgung mit Leiterplatten und/oder Bauteilen, allgemeine Pausenzeiten, Nicht-anwesenheit des Bedienpersonals bei Störungsmeldungen des Bestückautomaten, Zeitanteile für Wartungs-, Einstell- und Reparaturarbeiten während der eigentlichen betrieblichen Einsatzdauer bzw. Einschaltzeit, um nur einige zu nennen. Wartezeiten sind ebenfalls nichtproduktive Zeitanteile, die bei der Ermittlung der realen Bestückkosten anteilig und zusätzlich zu berücksichtigen sind.

Bei Fertigungslinien mit mehreren in Linie verketteten Bestückmodulen ergibt sich darüberhinaus die Notwendigkeit, Programmablauf und Rüstkonfiguration innerhalb der Linie so zu gestalten, daß alle Bestückmodule mit einem möglichst gleichmäßigen Auslastungsgrad betrieben werden können (s.a. Kapitel 5.4. Bestückleistung). Wartezeiten einzelner Module innerhalb einer Bestückungslinie sind ebenfalls nichtproduktive Zeitanteile, die zu einer Erhöhung der realen Bestückkosten führen. Für die Optimierung der Rüstkonfiguration und des Bestückungsablaufs werden deshalb Hilfsprogramme angeboten, deren Einsatz die Reduzierung dieses Kostenanteils ermöglicht.

Im Zusammenhang mit der Bestückkostenermittlung sind generell alle Zeiten des Systems als „nicht produktiv“ anzusetzen, in denen keine Bauelemente bestückt werden. Dies gilt z.B. auch für die Zeitanteile, die für

die Erstellung oder Änderung von Bestückprogrammen auf dem System anfallen, wenn während dieser Zeiten nicht parallel hierzu die eigentliche Bestücktätigkeit fortgesetzt werden kann. Durch externe Generierung der Bestückprogramme – vorzugsweise unter Verwendung von CAD-Daten – kann dieser Kostenanteil erheblich reduziert werden.

Der jeweilige Nutzungsgrad des Bestücksystems, der seinerseits von vielen Einflußgrößen (wie z.B. Maschinenzustand, Bestückinhalte, Losgrößen, Rüstphilosophie, Logistik, Personalqualifikation) bestimmt bzw. mitbestimmt wird, ist für eine realistische Kostenermittlung von zentraler Bedeutung. So ergeben sich unter Berücksichtigung der ermittelten „spezifischen“ Bestückkosten für die Beispiele Fall A/B/C bei Einrechnung unterschiedlicher Nutzungsgrade die in der Tabelle ersichtlichen „realen“ Bestückkosten.

Nebensichende Zahlenbeispiele zeigen nachdrücklich, daß im Interesse einer wirtschaftlichen Bestückung generell ein hoher Nutzungsgrad des Bestücksystems anzustreben ist, da jeder nichtproduktive Zeitanteil zu einer Erhöhung der realen Bestückkosten führt.

7.4 Wirtschaftlichkeit und Bestücksicherheit

Auch wenn das Kriterium „Bestücksicherheit“ auf den ersten Blick nicht in direktem Zusammenhang mit dem eigentlichen Kostenthema zu stehen scheint, ist dieses dennoch ein unabdingbares Element für wirtschaftliche und kostenminimierte Baugruppenfertigung. Durch die immer weiter gestiegene Komplexität der SMDs (z.B. hochpolige Fine Pitch-ICs) einerseits und die weitere Miniaturisierung (z.B. Bauformen 0603, 0402 u.ä.) andererseits werden die Anforderungen an die Bauteilehandhabung und die Sensorik von SMD-Bestückautomaten immer höher und differenzierter. Der Bestückungsvorgang muß so überwacht werden, daß nur Bauteile, die den elektrischen und mechanischen Spezifikationen entsprechen, bestückt werden, und das mit der bestmöglichen Platzgenauigkeit. Bauteile, die nicht den Spezifikationen oder Prozeßanforderungen (z.B. Koplanarität) entsprechen, sind von der

Bestückung auszunehmen. Eine Konsequenz dieses sensorischen Aufwandes ist natürlich (wie oben bereits erwähnt), daß Bestückabläufe mit „höherem Schwierigkeitsgrad“ zwangsläufig mit höheren Bestückkosten verbunden sind. Andererseits läßt sich leicht zeigen, daß dieser einzusetzende Aufwand nicht nur eine technische, sondern vor allem auch eine wirtschaftliche Rechtfertigung hat: Zum Beispiel liegen die Kosten für die (fehlerfreie) Bestückung eines hochpoligen Fine Pitch-IC entsprechend Fall C und bei einem angenommenen Nutzungsgrad des Bestücksystems von 75% bei ca. 0,35 DM. Die fehlerbehaftete Bestückung des gleichen Bauteils (z.B. mit nicht der Spezifikation entsprechender Koplanarität der Anschlußelemente, lateraler Bestückversatz, Drehfehler o.ä.) hat Nacharbeit an diesem Bauteil zur Folge (Nachlöten und Richten einzelner Beinchen, Öffnen von Lotbrücken, in vielen Fällen auch komplettes Aus- und Wiedereinlöten). Geht man für eine grobe Abschätzung der bei einer solchen Reparatur anfallenden Kosten von einem Kostensatz von 0,80 DM pro Minute und einem Zeitaufwand von etwa vier Minuten aus, so liegen bei diesem Beispiel die Nacharbeitskosten bei ca. 3,20 DM, also fast dem Zehnfachen der „originären“ realen Bestückkosten. Diese (Nichtqualitäts-) Kosten sind den eigentlichen Fertigungskosten der Baugruppe hinzuzurechnen. Es ist damit leicht einzusehen, daß die Wirtschaftlichkeit einer Baugruppenfertigung insgesamt durch den Faktor „Bestückerheit“ in starkem Maße beeinflußt wird.

So ist neben der reinen Bestückleistung und den damit direkt in Zusammenhang stehenden Bestückkosten eines Bestücksystems auch dessen Bestückerheit (als Absicherung gegen das Potential der Nichtqualitätskosten) auf indirektem Wege ein wesentliches Element zur wirtschaftlichen und kostenminimierten Bestückung und Fertigungstechnik von SMD-Baugruppen.

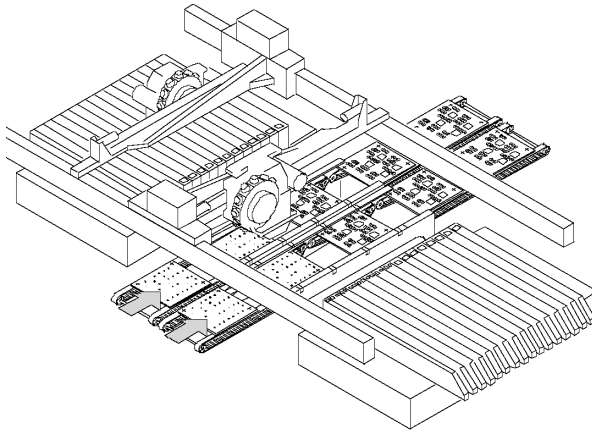
7.5 Bestückkostenreduzierung durch Nebenzeitenreduzierung

Schneller, höher, weiter – diese sportliche Parole gilt auch in allen Disziplinen der Fertigungstechnik. Vor allem dem „schneller“ wurde in den letzten Jahren sehr viel Achtung geschenkt. Hier bietet sich der Vergleich mit Werkzeugmaschinen an. Jahrelang wurde die Schnittgeschwindigkeit zur Steigerung der Maschinenleistung erhöht. Nachdem der beste Stahl keine höhere Leistung mehr brachte und das beste Kühlmittel eine Zerstörung des Werkzeugs nicht mehr verhindern konnte, war es an der Zeit, einen neuen Ansatz für eine Leistungssteigerung zu finden: Von diesem Zeitpunkt an wurden die Nebenzeiten, bei Werkzeugmaschinen also die Wechselzeit der Werkzeuge, genauer untersucht und minimiert. Bei Bestücksystemen ergibt sich zeitlich versetzt ein völlig identisches Bild. Viele Systeme befinden sich von den Bewegungsabläufen an den physikalischen Grenzen, somit können Hauptzeiten nur noch im kleinen Rahmen beeinflußt werden. Diese Taktzeitunterschiede im Millisekundenbereich sind zwar sehr schön in den Spezifikationen anzuschauen, doch ein realer Produktivitätsgewinn in der Praxis bleibt in der Regel aus. Somit gibt es folgende Ansätze zum „realen“ Produktivitätsgewinn bei Bestücksystemen:

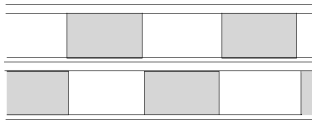
7.5.1 Bestücksystem oder Transportsystem?

Wo liegt der Unterschied zwischen einem Transportband und einem Bestücksystem? Ein Transportsystem transportiert – ein Bestücksystem bestückt und transportiert. Deshalb kostet das Bestücksystem auch ca. 34 x mehr als ein Transportband. Aufgrund der Integration von Bauelementen und dem Einsatz hochpoliger ICs ergibt sich ein eindeutiger Trend zu geringeren Bestückinhalten. Das hat zur Folge, daß mehrere Bestücksysteme sich den Bestückinhalt aufteilen. Das bedeutet wiederum eine Verringerung der Hauptzeiten relativ zu den Nebenzeiten.

Synchroner Betrieb



Asynchroner Betrieb



Somit wandelt sich das Bestücksystem klammheimlich und leise mehr und mehr zum Leiterplatten-Transportband mit einem Maschinenstundensatz zwischen 100 – 250 DM/h. Eine Lösung ergibt sich durch den Leiterplatten-Doppeltransport. Dieses Prinzip senkt im asynchronen Betrieb die Leiterplatten-Transportzeiten zu 0. Diese Funktionalität kann aber nur beim Prinzip „feststehende Leiterplatte“, also nicht beim Chipshooter-Prinzip, realisiert werden. Durch das aufwendige Leiterplatten-Handling am Chipshooter besteht keine Möglichkeit, die Leiterplatten-Transportzeiten zu eliminieren. Die im folgenden Teil aufgeführte Graphik soll den Kundennutzen beim Einsatz des asynchronen Doppeltransportes verdeutlichen:

Abb. 7-1 Doppeltransport bei Bestücksystemen mit feststehender Leiterplatte

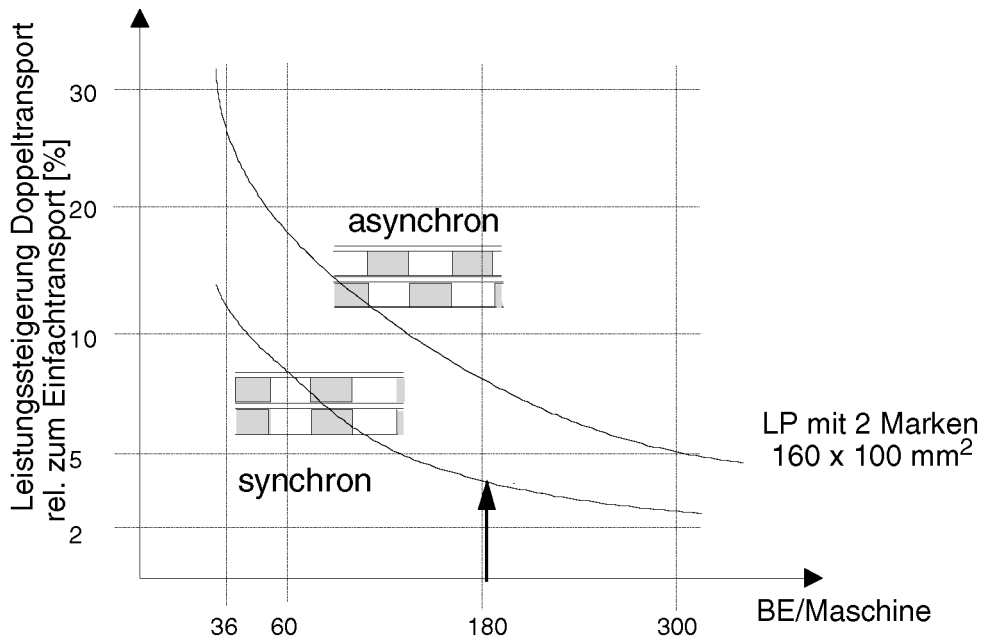


Abb. 7-2 Leistungserweiterung mit Doppeltransport relativ zum Einfachtransport

Bei der folgenden Kostenvergleichsrechnung wird der Break-Even-Point für einen synchronen Doppeltransport bei einer Leiterplatte mit 2 Marken, Abmessung 160 x 100 mm₂ und einem Bestückinhalt von 180 Bauelementen

dargestellt. Das bedeutet, daß bis zu einem Bestückinhalt von 180 Bauelemente ein Doppeltransport kostengünstiger als der Einfachtransport ist. Ab 180 Bauelementen sollte ein Einfachtransportsystem eingesetzt werden.

	SIPLACE Einfachtransport	SIPLACE Doppeltransport, synchron
Bestückleistung:	15.450 BE/h	16.023 BE/h
Maschinenstundensatz:	127,91 DM/h	132,46 DM/h
Bestückzeit/LP:	42,08 s/LP	40,44 s/LP
Bestückkosten:	1,60 DM/LP	1,59 DM/LP

Tabella 7-1 Bestückkosten vergleich Doppel- / Einfachtransport

7.5.2 Vom Rüstautomat zum Bestückautomat

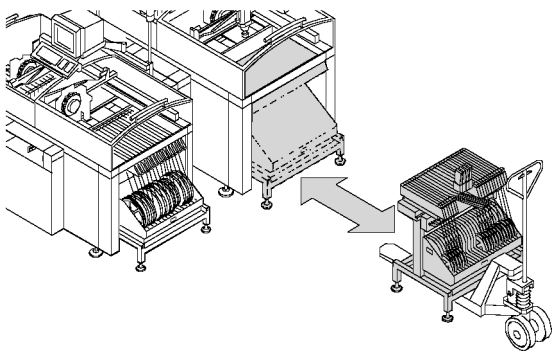


Abb. 7-3 Entkoppelung von Bestücken und Rüsten

Falls das Maschinenkonzept eines Bestücksystems eine Entkoppelung von Bestücken und Rüsten nicht erlaubt, sollten diese Be-

stücksysteme treffender als Rüstautomaten und nicht als Bestückautomaten bezeichnet werden. Beim Prinzip feststehende Leiterplatte und feststehender Zuführbereich bietet sich der Einsatz von modularen Wechseltischen an. Diese Einheiten können unabhängig vom Maschinenstundensatz der Bestücklinie vorgerüstet werden. Somit ergibt sich ein eindeutiger Kostenvorteil durch die Entkopplung von Bestücken und Rüsten.

Randbedingungen des Berechnungsbeispiels

Bauelemente pro Leiterplatte:	600
Anzahl der Zuführmodule:	80 x 8
Zeit für ein Zuführmodul wechseln:	2 min
Anzahl der Rüstwechsel pro Tag:	2

Bestücksysteme	mit externem Rüstplatz	keine externe Vorrüstung
Zeit für den Rüstwechsel:	5 min./Tag	2 x 2, h/Tag
Jährliche Laufzeit:	5230 h/Jahr	3950 h/Jahr
Maschinenstundensatz:	110 DM/h	126 DM/h
Bestückkosten pro Leiterplatte	5,4 DM/LP	6,17 DM/LP

Tabella 7-2 Kostenvergleich von Bestücksystemen mit und ohne externe Vorrüstung

7.5.3 Tanken während der Fahrt

Kostenvorteil beim Spleißen von Gurten
Das Spleißen von Gurten kann nur beim Prinzip „feststehender Bauelementezuführbereich“ eingesetzt werden, also nicht beim traditionellen Chipshooter. Weiterhin müssen Feeder im Einsatz sein, deren Geometrie ein problemloses Weiterleiten der Spleißstelle erlaubt.

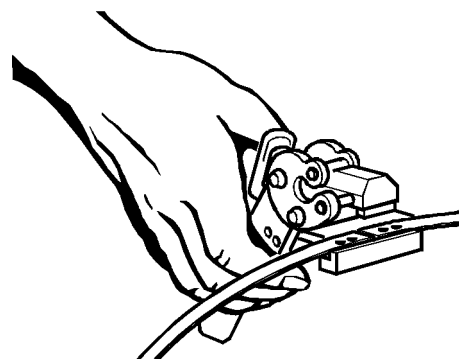


Abb. 7-4 Gurt spleißen

7.5.4 Modularität im Jahr 2000

Was kostet das Fehlen von Modularität ?

Durch Bestückkostenanalysen können eine Vielzahl von Funktionalitäten von Bestückssystemen über „Kosten“ verglichen werden. Bei der Auswahl von kapitalintensiven Bestückssystemen ergeben sich aber neben diesen Einflußfaktoren weitere Gesichtspunkte, die ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Ein wichtiger Gesichtspunkt bei dem Vergleich von Bestückssystemen ist der Kostenvorteil

durch modulare Plattformen. Im folgenden Teil werden als Beispiel die Kostenvorteile modularer Bestückssysteme analysiert.

Ein wichtiger Kostenvorteil modularer Bestückssysteme zeigt sich in der Kompatibilität oder Austauschbarkeit von Zuführmodulen für High-Speed und High-Precision-Bestückung. In der folgenden Darstellung werden die Anforderungen an ein flexibles Bestückssystem dargestellt.

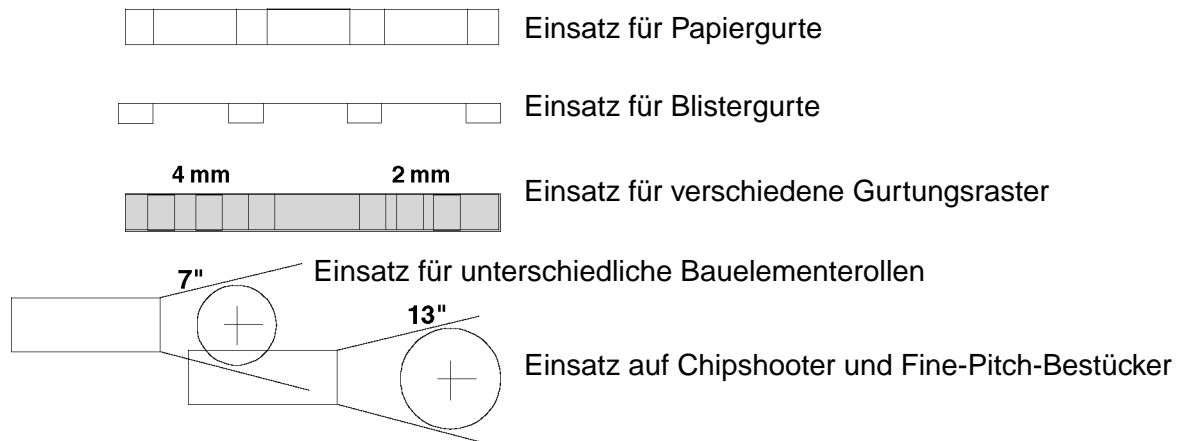


Abb. 7-5 Anforderungen an ein flexibles Bestückssystem

Anforderungen an ein modulares und flexibles Zuführmodul

Neben der Modularität der Zuführmodule ergibt sich durch ein modulares Maschinenraster (Längen des Bestückautomaten) ebenfalls ein Kostenvorteil, denn durch gleiche Maschinenraster wird ein freies Konfigurieren von Bestücklinien ermöglicht.

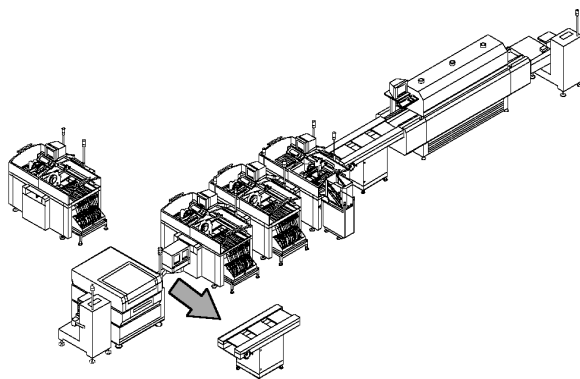


Abb. 7-6 Austauschbarkeit von SIPLACE-Bestücksystemen

Doch ein gleiches Maschinenraster verliert bei zu großen Maschineneinheiten an Bedeutung. Kein Fertigungsplaner wird in seiner Fertigung ein 6 m langes Transportband als Platzhalter für ein traditionelles Chipshooter-System für eine Steigerung der Fertigungskapazität in der Zukunft vorsehen. Nur bei kleinen, kompakten Bestückssystemen mit hoher Leistungsdichte bedeutet ein gleiches Maschinenraster einen hohen Kundennutzen. Durch die Möglichkeit der Austauschbarkeit dieser Bestückssysteme mit kurzen Inspektionsbändern (z. B. 1.59 m) und dem einfachen Transport zu anderen Fertigungsbereichen können auf diese Weise neue Bestücklinien kombiniert werden. Die Eigenschaft „Maschine kommt zur Aufgabe“ führte in der PC-Branche zum Siegeszug der Notebooks als „Mobile Office“. Bei den Bestückssystemen wird diese Möglichkeit der flexiblen Anpassung der Fertigungslinie an die Fertigungsaufgabe in Zukunft ein Muß für jede Fertigung sein.

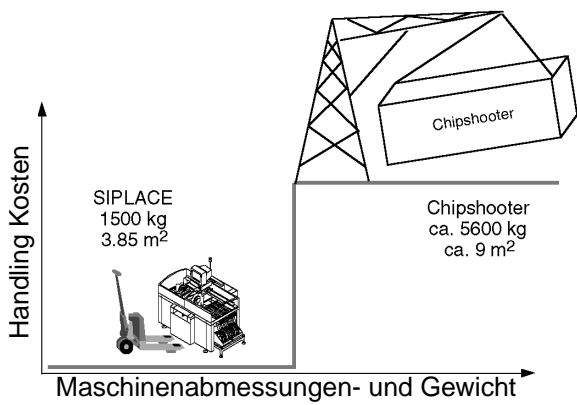
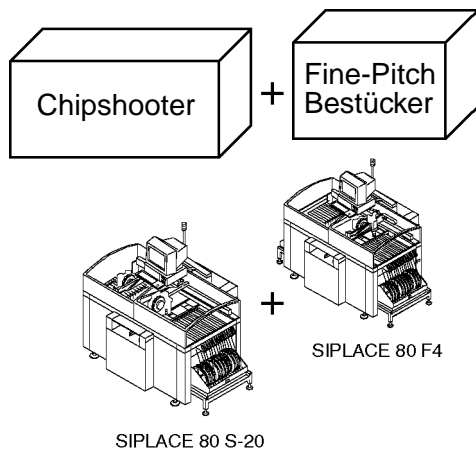


Abb. 7-7 Transportkosten von SIPLACE und Chipshooter im Vergleich

Ein weiterer Punkt bei der Kostenersparnis von modularen Bestückssystemen ist der Kostenvorteil von Ersatzteilen und deren Lagerhaltung. Bei High-Speed und Fine-Pitch-Bestückssystemen ergibt sich durch Modularität von z.B. Bestückköpfen und Portalsystemen ein entscheidender Vorteil bei der Wartung der Bestückssysteme. Außerdem kann der Lagerbestand an Ersatzteilen entsprechend gering gehalten werden. In der folgenden Darstellung werden diese Vorteile verdeutlicht.



- Chipshooter und Fine-Pitch Bestücker: ca. 10 % der Teile sind gleich
- SIPLACE 80 S-20 und 80 F4: ca. 80 % der Teile sind gleich

Vorteile durch SIPLACE:

- Gleiche Bedienung und Wartung
- Niedrige Trainingskosten
- Geringe Teilekosten
- Niedrige Lagerkosten für Ersatzteile

Abb. 7-8 Kostenvergleich bei Lagerhaltung und Ersatzteilen

Neben dem Vorteil modularer Bestückssysteme ergeben sich in Abhängigkeit des Bestücksystems weitere Gesichtspunkte für die Auswahl von Bestückerquipment für die Zukunft. Gerade bei der „Modularität von

Bestückköpfen“ zeigen sich auf dem Gebiet der Optimierung von Bestückautomaten und Bestücklinien ganz neue Gesichtspunkte.

Verzeichnis der Abkürzungen

μBGA	Mikro Ball Grid Array
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BDE	Betriebsdaten-Erfassungssysteme
C-Flat Pack	Ceramic Flat Pack
C-LCC	Ceramic Leaded Chip Carrier
CAE-Systeme	Computer Aided Engeneering
CAQ-Systeme	Copmputer Aided Quality
COB	Chip on Board
C-PGA	Ceramic Pin Grid Array
CSP	Chip Scale Package
DIP	Dual Inline Package
DRAM	Dynamic Random Access Memory
EIAJ	Electronic Industries Association of Japan
FC	Flip Chip
FCIP	Flip Chip in Package
FCOB	Flip Chip on Board
FPC	Flexible Printed Circuit
JEDEC	Joint Electronic Device Engineering Council
LAN	Local Area Network
LB	Lead Bonding
LF	Leadframe
OSC	Odd Shaped Component
MaDaMaS	Maschinendaten-Managementsystem
MCM	Multi Chip Module
MDE	Maschinendaten-Erfassungssysteme
MTBF	Mean Time between Failure
MTTR	Mean Time to Repair
P&P	Pick and Place
PCB	Printed Circuit Board
P-LCC	Plastic Leaded Chip Carrier
P-QFP	Plastic Quad Flat Pack
P-SO	Plastic Small Outline
P-TSOP	Plastic Thin Small Outline Package
PPS-Systeme	Produktions Planungs Systeme
SIP	Single Inline Package
SMD	Surface Mount Device
SO	Small Outline
SOD	Small Outline Diode
SOJ	Small Outline J-Lead

SOT	Small Outline Transistor
SSOP	Shrink Small Outline Package
TAB	Tape Automated Bonding
TCE	Thermal Coefficient of Expansion
TCP	Tape Carrier Package
THP	Through Hole Packaging
THT	Through Hole Technology
TO	Transistor Outline
TSOP II	Thin Small Outline Package, Type II
UTSOP	Ultra Thin Small Outline Package
ZIP	Zigzag Inline Package