

# HANSER



Leseprobe

Handbuch Fügen, Handhaben, Montieren

ISBN (Buch): 978-3-446-42827-0

ISBN (E-Book): 978-3-446-43656-5

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42827-0>

sowie im Buchhandel.

## 2.10 Fügen räumlicher elektronischer Schaltungsträger (3D-MID)

Christian Goth, Michael Pfeffer

Die Prozesskette zum Fügen räumlicher elektronischer Schaltungsträger (3D-MID) in der Elektronikproduktion gleicht vom Ablauf prinzipiell der Verarbeitung konventioneller planarer Baugruppen mit Auftrag des Verbindungsmediums, Bestücken und Löten/Aushärten. Die geometrische Gestaltung dreidimensionaler Schaltungsträger stellt jedoch vor allem im Hinblick auf eine automatisierte Prozessführung erhöhte Anforderungen an den Medienauftrag (Pastendruck oder Dispensen) und den Bestückvorgang. Die Verbindungsmedien und -techniken sind ebenfalls an die thermoplastischen Basissubstrate anzupassen.

### 2.10.1 Übersicht zum Fügen strukturierter MID

Die Entwicklung geeigneter Montageprozesse für elektronische Schaltungsträger wird stark von der geometrischen Gestaltung und der Komplexität des Schaltungslayouts beeinflusst. Grundlage für die Konzeption neuartiger Fertigungssysteme ist die genaue Kenntnis der Anforderungen, die für die 3D-Montage zu berücksichtigen sind.

#### 2.10.1.1 Geometrische Klassifizierung räumlicher Schaltungsträger

In (Franke 1995) wurde eine geometrische Klassifizierung der möglichen Baugruppen eingeführt, die in Abbildung 2.408 mit aktuellen Beispielen aus der MID-Technik veranschaulicht wird. In der Zwischenzeit existieren räumliche Baugruppen in den Kategorien 2½D, n·2D und 3D.

Konventionelle Leiterplatten, für die die Standardbestückungssysteme entwickelt werden, sind reine Flach-

2D	2½D			n·2D	3D	
0	1A	1B	1C	2	3A	3B
Planare Prozessfläche	Planare Prozessfläche 3D-Elemente auf der gegenüberliegenden Seite	Planare Prozessfläche 3D-Elemente auf der Prozessseite	Mehrere planparallele Prozessflächen	Mehrere planare Prozessflächen im Winkel	Regelflächen (z.B.: Zylinderflächen)	Freiformflächen
Quelle: FAPS	Quelle: FAPS	Quelle: TRW	Quelle: KaVo, Dental	Quelle: HARTING	Quelle: HARTING	Quelle: KroSchu

Abb. 2.408: Geometrische Klassifizierung räumlicher Schaltungsträger



baugruppen in 2D mit rein planaren Prozessflächen. Die Dimension 2½D weist ebene oder planparallele Prozessflächen mit geometrischen Elementen in z-Richtung auf. Die Klasse 1A ist durch ebene Prozessflächen mit räumlichen Elementen (z.B. Kühlrippen) auf der gegenüberliegenden Seite gekennzeichnet. Die Klasse 1B hat 3D-Elemente (z.B. Verbindungelemente) auf der Prozessfläche, die Klasse 1C weist planparallele Prozessflächen auf. Schaltungsträger der Dimension  $n \cdot 2D$  der Klasse 2 bestehen aus mehreren ebenen Prozessflächen, die zueinander im Winkel angeordnet sind. Applikationen in 3D werden nach Regelflächen (Klasse 3A) oder Freiformflächen (Klasse 3B) unterschieden. (Franke 1995)

Eine Zuordnung der Schaltungsträger zu den einzelnen Klassen muss in Abhängigkeit des betrachteten Prozessschrittes erfolgen. Für die Montage elektronischer Bauelemente ist daher die Verteilung der Bauelemente auf den Prozessflächen entscheidend.

### 2.10.1.2 Prozessketten zur Schaltungsträgerherstellung

Entscheidend für die erfolgreiche Realisierung einer elektronischen Baugruppe auf Basis spritzgegossener Schaltungsträger sind die Materialauswahl und ein anforderungsgerechtes Strukturierungsverfahren. Prinzipiell muss der Substratwerkstoff den Einsatzbedingungen und der eingesetzten Verbindungstechnologie gerecht werden. Hinzu kommt eine haftfeste Metallisierung, da dieser Faktor während des Einsatzes einen immensen Einfluss auf die Langzeitzuverlässigkeit der Baugruppe hat.

Für die Strukturierung der spritzgegossenen Schaltungsträger gibt es eine Vielzahl stückzahlangepasster Verfahren, die sich zudem in der Abbildbarkeit des Komplexitätsgrades des Schaltungsbildes unterscheiden (Feldmann

2006). Für den Großteil der Strukturierungsverfahren bildet der 1K-Spritzguss die Basis, auf der die anschließenden Metallisierungsprozesse aufsetzen. Eine Möglichkeit, die Substrate ohne chemische oder galvanische Prozesse zu metallisieren, stellt das Heißprägen dar (Abb. 2.409). In diesem sehr produktiven Verfahren wird eine Kupferfolie auf den thermoplastischen Grundkörper mittels eines Stempels, der die Leiterbildstruktur erhaben darstellt, geprägt. Herausforderungen ergeben sich durch die bedingte 3D-Fähigkeit des Verfahrens und durch das Zusammenspiel aus Metallisierungshaftung und Höhe der Prägewölle.

Für die flexible Gestaltung von Leiterbahnstrukturen und damit auch einer stückzahlflexiblen Fertigung von Schaltungsträgern hat sich die Laserdirektstrukturierung (LDS) auf dem Markt etabliert (Abb. 2.410). Hierfür kommt ein spezieller mit Palladiumionen dotierter Kunststoffcompound (Basis z.B. LCP, PBT oder PA6/6T) zum Einsatz, der mittels Laser lokal strukturiert wird. Entlang dieser Struktur werden die Palladiumkeime freigelegt und aktiviert. Gleichzeitig wird der Kunststoff angerauht. An den aktivierten Bereichen kann in einem folgenden Prozessschritt Kupfer angelagert und das Leiterbahnbild aufgebaut werden. Da mit diesem Verfahren sehr feine Strukturen abgebildet werden können (werkstoffabhängig, Line/Space 150 µm), wird die LDS vermehrt für hochminiaturisierte Baugruppen (z.B. Hörgeräte) eingesetzt. Einsatzgrenzen ergeben sich durch die spezifische Auswahl an für dieses Verfahren verfügbaren Kunststoffen und der Strukturierbarkeit hochkomplexer dreidimensionaler Substrate.

Werden neben einer komplexen dreidimensionalen Form des Schaltungsträgers auch schwierige Leiterbildstrukturen und/oder Durchkontaktierungen benötigt, bietet sich der 2K-Spritzguss mit anschließender Metallisierung

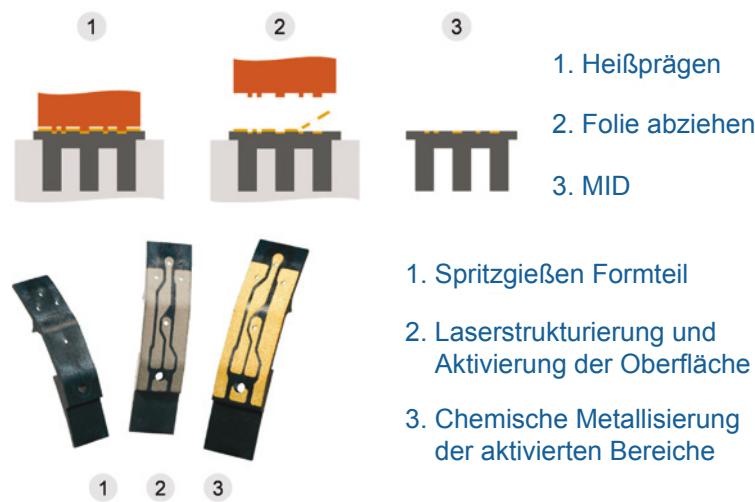


Abb. 2.409:  
Prozesskette Heißprägen

Abb. 2.410: Prozesskette  
Laserdirektstrukturieren



Abb. 2.411: Prozesskette Zweikomponentenspritzguss

an (Abb. 2.411). In diesem Verfahren werden zwei unterschiedliche Kunststoffcompounds verarbeitet, wobei eines von beiden metallisierbar ist. Somit lässt sich in den zwei Spritzgießvorgängen der komplett strukturierter Schaltungsträger herstellen, der im weiteren Verlauf lediglich metallisiert werden muss. Dies kann durch die Aktivierung im Kunststoff enthaltener Keime realisiert werden. Mit diesem Verfahren lassen sich Strukturen mit einem Line/Space von 250 µm darstellen (materialabhängig). Auf Grund der hohen (einmaligen) Werkzeugkosten, ist dieses Verfahren besonders für hohe Stückzahlen interessant.

Die Auswirkung auf die mögliche Verbindungstechnik zur Montage der SMT-Bauelemente bzw. der Silizium-Chips, die Auswahl des Verbindungsmediums und die Bauelementgröße werden im Wesentlichen durch das Herstellungsverfahren und die zur Verfügung stehenden Substratmaterialien bestimmt. Die Montage der Bauelemente erfolgt meist ohne Lötstopplack, wodurch eine weiträumige Benetzung entstehen kann. Die Metallisierung ist bei chemisch stromlos aufgebrachten Strukturen sehr dünn und in Abhängigkeit des Herstellverfahrens teilweise sehr rau. Für den Drahtbondprozess auf laserstrukturierten Substraten ist daher eine Vorbehandlung mit CO<sub>2</sub>-Schneestrahlreinigung bzw. mit einem Stempel zur Einebnung der Strukturen erforderlich. Die thermi-

schen Eigenschaften der Thermoplaste weisen eine niedrige Schmelztemperatur bei hohen Ausdehnungskoeffizienten auf, die zudem richtungs- und bauteilabhängig sind. Bei hoher thermischer Belastung im Reflowprozess besteht somit die Gefahr von Mikrorissen und Delamination der Leiterbahnen.

Durch die Einschränkungen in der minimal darstellbaren Linienbreite reduziert sich folglich auch das Bauelementspektrum gegenüber der Standard-SMT-Fertigung. Bei der Laserdirektstrukturierung sind relativ kleine Baugrößen möglich, da die minimale Leiterbahnbreite mit 150 µm auch kleine Anschlussstrukturen ermöglicht. Beim Heißprägen sind die minimalen Linienbreiten mit 500 µm aber stark eingeschränkt. Zusätzlich können die Prägewülste, die während des Prägeprozesses entstehen, einen kritischen Faktor darstellen. Bei der Verarbeitung kleiner Bauelemente muss daher ein Prozessfenster für Prägedruck und -temperatur identifiziert werden, das eine hohe Haftfestigkeit der Metallfolie bei gleichzeitig niedrigen Prägewülsten ermöglicht. Auf die Montage der Bauelemente hat im Wesentlichen nur die Gestaltung der Schaltungsträger, also die dreidimensionale Ausprägung, einen Einfluss. Sie ist weitestgehend unabhängig von der gewählten Prozesskette zur Herstellung des Schaltungsträgers.

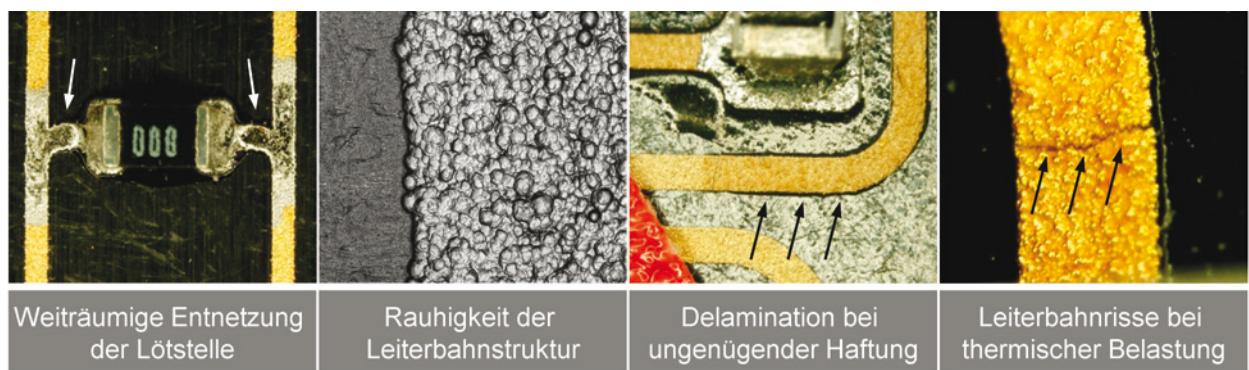


Abb. 2.412: Bei der Verarbeitung räumlicher Schaltungsträger in der Standard-SMT-Prozesskette ergeben sich Besonderheiten



### 2.10.1.3 Anforderung an die 3D-Montage

Die geometrische Gestaltung dreidimensionaler Schaltungsträger stellt vor allem im Hinblick auf eine automatisierte Prozessführung erhöhte Anforderungen an den Montageprozess. Bei der Bestückung elektronischer Bauelemente muss die Prozessfläche orthogonal zur Fügerichtung ausgerichtet sein (Abb. 2.413) (Brand 1997). Dies erfordert bei der Montage von dreidimensionalen Schaltungsträgern zusätzliche Freiheitsgrade. Räumliche Schaltungsträger weisen Prozessflächen mit unterschiedlicher Orientierung auf, wodurch für die Bestückung sechs Freiheitsgrade notwendig werden. Ein für die Flachbaugruppenfertigung optimierter Bestückungsautomat hat hingegen lediglich vier Freiheitsgrade. Die Integration einer zusätzlichen Handhabungseinrichtung für die Ausrichtung der Schaltungsträger ist nur bedingt möglich, da Montagesysteme für die Flachbaugruppenfertigung stetig hinsichtlich Bestückleistung, Montagetoleranzen und Bauelementspektrum optimiert wurden. Der daraus resultierende Anlagenaufbau mit minimierten Arbeitswegen und geringem Prozessraum ist deshalb nur eingeschränkt für die Bestückung nicht planarer Baugruppen geeignet.

Die Anforderungen an die 3D-Montage werden nach (Brand 1997) insbesondere durch die geometrische Gestaltung des Schaltungsträgers und der Bauelemente sowie durch den Prozess beeinflusst. Die Geometrie des Schaltungsträgers wird durch die Anzahl der Prozessflächen, den Neigungswinkel, den Abstand der Prozessflächen, die grundlegenden Abmessungen des zu bestückenden Grundkörpers und den Wandabstand der Bauelemente definiert. Starken Einfluss auf die Prozessführung nehmen die geometrische Grundform der Bauelemente und das Rastermaß, die Form der Anschlussflächen sowie die Anzahl der Anschlüsse.

Des Weiteren sind beim Montageprozess die Bauteile nach dem Absetzen in den feuchten Klebstoff bzw. die feuchte Lotpaste bis zum Erreichen einer steifen stoffschlüssigen Verbindung durch das Aushärten des Klebstoffs (Curing) bzw. Umschmelzen und Erstarren des Lo-

tes (Reflow) noch nicht positionssicher fixiert. Durch prozessbedingte Einflüsse kann es daher zu Verschiebungen der Bauteile kommen (Brand 1997). Dies kann kleinere Abweichungen der Position, aber auch Fehlkontakte auf Grund vollständigen Abrutschens der Bauteile zur Folge haben. Ursachen sind beispielsweise Beschleunigungskräfte beim Bewegen des MID-Teils, die Gewichtskraft der Bauteile bei Neigung oder Vibrationen beim Transport. Für dreidimensionale Schaltungsträger verschärft sich dieses Belastungskollektiv gegenüber Flachbaugruppen noch erheblich. Durch die zueinander geneigten Bestückebenen entsteht zwangsläufig für einige Bauteile eine Anordnung unter einem Neigungswinkel, nicht nur während des Transports, sondern auch während des Curing- bzw. Reflowprozesses. Weiterhin müssen die MID während des Bestückens rotatorisch bewegt werden um die Bestückebenen des MID parallel zur Montageebene des Bestückers auszurichten, wobei tangentiale Beschleunigungs- und radiale Fliehkräfte auf die Bauteile wirken.

### 2.10.2 Medienauftrag

Der Auftrag des Verbindungsmediums für räumliche Schaltungsträger kann im Schablonendruck- oder Dispensverfahren erfolgen, mit dem Ziel die Lotpaste oder alternativ den Leitkleber auf den Kontaktflächen (Pads) der jeweiligen Prozessfläche des Schaltungsträgers aufzutragen (Abb. 2.408). In diese gedruckten Lot- bzw. Leitkleberdepots werden im anschließenden Prozessschritt die elektronischen Bauelemente bestückt.

Die Auswahl des Auftragsverfahrens ist abhängig von der geometrischen Klassifizierung des zu bedruckenden räumlichen Schaltungsträgers, da die geometrischen Eigenschaften des MID den Einsatz des Schablonendrucks stark einschränken.

#### 2.10.2.1 Verbindungsmedien

Als Verbindungsmedien für MID kann grundsätzlich Lotpaste oder Leitkleber eingesetzt werden, die beide das Ziel

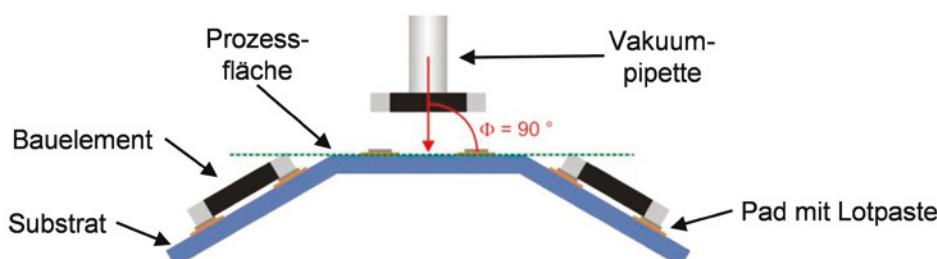


Abb. 2.413:  
Schematische Darstellung  
der 3D-Bestückung

haben, neben der mechanischen Fixierung die elektrische Kontaktierung des Bauelements zu erreichen, sodass eine zuverlässige Löt- bzw. Klebeverbindung gebildet wird. Die beiden Verbindungsmedien unterscheiden sich in den notwendigen Löt- bzw. Aushärtetemperaturen. Insbesondere die Zusammensetzung der Lotlegierung bestimmt die im Lötprozess zu erreichenden Temperaturen, sodass das Lotmaterial in der Peakphase aufschmilzt und die Kontakte benetzt. Demnach muss insbesondere für MID bei der Auswahl des Verbindungsmediums bzw. für die einzusetzende Lotlegierung die maximale Temperaturbelastbarkeit bzw. die Temperaturbeständigkeit des Kunststoffes berücksichtigt werden.

Lotpaste setzt sich aus einer Mischung aus Metallpulver und Flussmittel in einem definierten Mischungsverhältnis zusammen. Die Aufgabe des Flussmittels ist die Entfernung von Oxidschichten während des Lötprozesses sowie die Verbesserung der Benetzungeigenschaften der Kontaktflächen, sodass eine zuverlässige Lötstelle gebildet werden kann. Die zweite Komponente, das Metallpulver, besteht aus Lotpartikeln einer definierten Lotlegierung und schmilzt während des Reflowlötprozesses, benetzt die Kontaktflächen am Bauelement und auf der Leiterplatte und bildet final den Lotmeniskus bzw. die Lötstelle auf der Baugruppe. Lotpasten werden typischerweise anhand der Partikelgröße (Körnung) des Metallpulvers, der Lotlegierungszusammensetzung und der beigesetzten Flussmittel unterschieden. Als Lotlegierungen werden in der Elektronikproduktion meistens bleifreie Weichlote eingesetzt, z.B. SnAgCu, SnBi. Die Wahl der Partikelgröße des Pulvers muss in Abhängigkeit der zu druckenden Strukturen erfolgen. So muss für Fine-pitch Anwendungen zur Sicherstellung der Druckbarkeit eine Lotpaste mit entsprechend kleiner Partikelgröße gewählt werden. Jedoch steigt mit der Reduzierung der Partikelgröße die Neigung der Lotlegierung zur Oxidation wäh-

rend des Lötprozesses, die zu einer Verschlechterung der Benetzungeigenschaften führen kann.

Die Zuverlässigkeit der Lötverbindung ist abhängig von den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Substrat-, Lot- und Bauelementwerkstoffe. Bei zyklischer Temperaturbelastung der Baugruppe im Einsatz können unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten der Materialien zu einer mechanischen Spannung in der Lötverbindung führen. Es kann zu einer Rissbildung in der Lötstelle und zu einem Versagen der Lötverbindung kommen.

Beim Einsatz der Lotpaste in der MID-Technologie muss zur Sicherung der Temperaturstabilität des Kunststoffes die maximalen Temperaturen während des Lötprozesses berücksichtigt werden. So kann beim Einsatz der Lotlegierung SnAgCu mit einer Liquidustemperatur von 217 °C während des Lötprozesses der Hochtemperatur-Thermoplast LCP bzw. die technischen Kunststoffe PA, PET+PBT eingesetzt werden. Für Kunststoffe mit niedrigerer Temperaturbeständigkeit (z.B. PC/ABS, PBT) kann die niedrigschmelzende Lotlegierung SnBi mit einer Liquidustemperatur von 139 °C verwendet werden.

Da die Temperaturbelastung des Substratmaterials insbesondere bei der Verwendung von SnAgCu-Loten relativ hoch ist, kann als alternatives Verbindungsmedium Leitklebstoff eingesetzt werden, der bei deutlich geringeren Temperaturen aushärtet. Die elektrische Leitfähigkeit des Klebstoffes wird durch den Zusatz elektrisch leitfähiger metallischer oder metallisierter Partikel erreicht. Die Leitklebstoffe werden in isotrop und anisotrop leitende sowie nicht gefüllte Klebstoffe unterschieden (Abb. 2.414). Bei isotrop leitenden Klebstoffen wird die elektrische Leitfähigkeit durch Metallpartikel, die meist aus Silber bestehen, in alle Richtungen hergestellt. Diese Silberflakes sind in einer Matrix aus Harzkomponenten (meist Epoxidharz) und Härter eingebettet, welche die mechanische Festigkeit gewährleistet. Das anisotrope

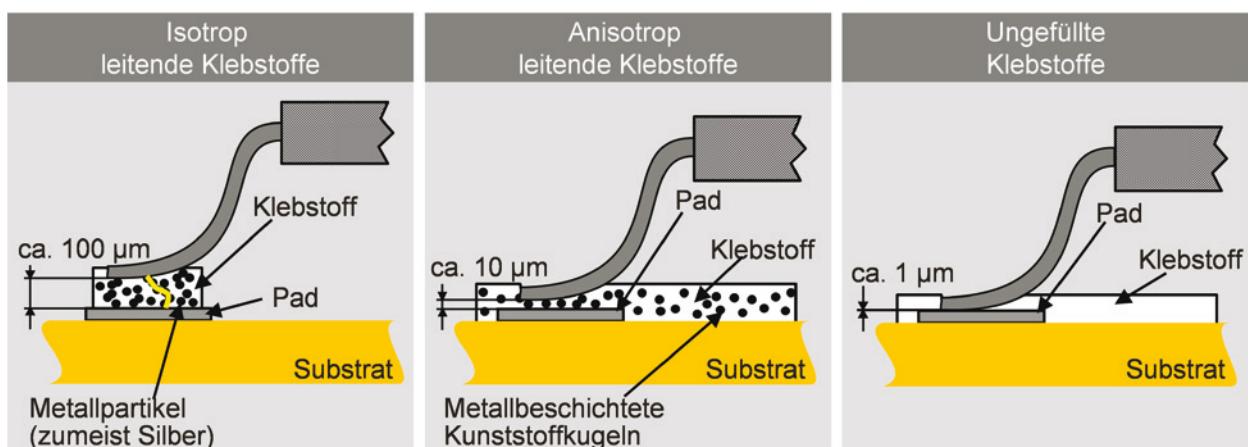


Abb. 2.414: Funktionsprinzipien von elektrisch leitfähigen Klebstoffen

Leitkleben bildet im Gegensatz zum isotropen Leitkleben die elektrische Verbindung zwischen Bauteil und Schaltungsträger nur in eine Richtung. Die Matrix des Leitklebstoffes besteht auch hier aus Epoxidharz, die aber nur mit einem deutlich geringerem Anteil an Leitpartikeln gefüllt ist. Durch den geringen Gehalt und durch gleichmäßiges Mischen von Polymer und Leitpigmenten ist der Werkstoff im Ausgangszustand nicht leitfähig. Bei nicht gefüllten Klebstoffen basiert die elektrische Leitung auf der gegenseitigen Berührung der Fügepartner bei Klebschichtdicken im Größenbereich der Oberflächenrauhigkeiten. Der Prozessablauf ähnelt sehr stark dem der anisotropen Klebetechnik. Bei der Verarbeitung von Leitklebstoffen müssen die erhöhten Anforderungen an die Oberflächenneigenschaften der Fügepartner Bauelement und Substratmetallisierung beachtet werden. Oberflächen aus einer edlen Metallisierung wie z.B. Gold, Silber oder Palladium eignen sich besonders zur Herstellung elektrisch und mechanisch stabiler Verbindungen. Hingegen sind Zinn-Oberflächen, wie sie in der SMT-Produktion als Oberflächenpassivierung eingesetzt werden, nicht für Leitklebeverbindungen geeignet. Vorhandene Verunreinigungen oder Oxidschichten beeinträchtigen die elektrische Leitfähigkeit sowie die Benetzungseigenschaften des Klebstoffes.

### 2.10.2.2 Schablonendruck

In der Flachbaugruppenfertigung ist Schablonendruck das etablierte Verfahren für den Auftrag der Lotpaste, da es ein Massendruckverfahren ist und somit eine hohe Produktivität erlaubt. Alle Lotpastendepots auf dem Schaltungsträger werden in einem Prozessschritt gedruckt.

Für die MID-Technologie eignet sich das Schablonendruckverfahren nur bedingt, da das Verfahren eine planare zu bedruckende Fläche (Prozessfläche) ohne geometrische Restriktionen wie Hervorhebungen voraussetzt, auf der die Druckschablone eben aufliegen kann (Franke 1995). Somit ist das Schablonendruckverfahren lediglich für MID der Klasse 1A geeignet, da bei dieser Klasse planare Prozessflächen und keine 3D-Elemente auf der zu bedruckenden Prozessfläche vorhanden sind und die Druckschablone flächig auf dieser Fläche aufliegen kann. Die Klasse 1B besitzt zwar planare Prozessflächen, jedoch befinden sich 3D-Elemente auf der Prozessfläche, sodass die Druckschablone hier nicht aufgelegt werden kann. Ab Klasse 1C besitzen die MID mehrere planparallele oder planare, winklige Prozessflächen, sodass das flächige Aufliegen der Druckschablone nicht mehr möglich ist. Klasse 3 ist auf Grund der Regel- und Freiformflächen allgemein nicht geeignet.

### 2.10.2.3 Dispensen

Beim Dispensen wird das zu applizierende Verbindungsmedium mit Hilfe eines speziellen Dosierventils in einem vollautomatischen Dispensautomaten sequentiell in definierten Volumina auf den Schaltungsträger appliziert (Abb. 2.415). Das Dispensverfahren zeichnet sich besonders durch die sehr hohe Flexibilität bezüglich des Schaltungslayouts aus. Insbesondere auf Grund der Flexibilität in der Positionierung des Dispensventils auch bei einer räumlichen Anordnung der Dosierpositionen wird überwiegend das Dispensverfahren für räumliche Schaltungsträger eingesetzt.

Unter Berücksichtigung der Zugänglichkeit des Dosierventils an der Dosierposition, ist das Dispensverfahren für alle MID-Klassen geeignet. Beispielweise dürfen Dosierpositionen in Abhängigkeit des Dosierwerkzeugs und des Nadeldurchmessers nicht zu nahe an Wänden, an Stegen oder ähnlichen 3D-Elementen gesetzt werden, was bereits beim Schaltungsentwurf als Design-Rule berücksichtigt werden kann. Des Weiteren werden gegebenenfalls zusätzliche Freiheitsgrade zum Positionieren des Werkzeugs oder der Prozessflächen des MID bei winkeligen oder gekrümmten Prozessflächen benötigt, um die zu bedruckende Prozessfläche idealerweise senkrecht zur Dosiernadel zu positionieren. Jedoch ist die geforderte Positionierungstoleranz beim Dispensen gering. Es kann ein minimaler Winkelfehler zwischen Dispensnadel und Normalenvektor der Prozessfläche vorliegen. (Brand 1997)

Da es sich beim Dispensverfahren um ein sequentielles Druckverfahren handelt, ist die Dispenszeit abhängig von der Anzahl der zu dosierenden Punkte und der Verfahrwege des Werkzeugs. Da jedoch typische MID im Allgemeinen wenige Bauelemente besitzen, müssen somit relativ wenige Dispenspunkte dosiert werden. Dabei sollten im Hinblick auf eine hohe Produktivität eine zufriedenstellende Dosierleistung erreicht werden.

### 2.10.3 Bauelemente-Montage

MID mit einer komplexen dreidimensionalen Struktur haben den höchsten Effekt bezüglich der Funktionsintegration und der Miniaturisierung der gesamten Baugruppe. Jedoch sind die Anforderungen bezüglich des Montageprozesses höher. Da die elektronischen Bauelemente auf MID nicht nur auf einer Ebene wie bei konventionellen Flachbaugruppen positioniert werden, sondern meistens auf mehreren geneigten Flächen, ist die Kinematik der bestehenden SMD-Anlagentechnik für die Bestückung bzw. Montage von räumlichen Schaltungsträgern nicht geeignet.

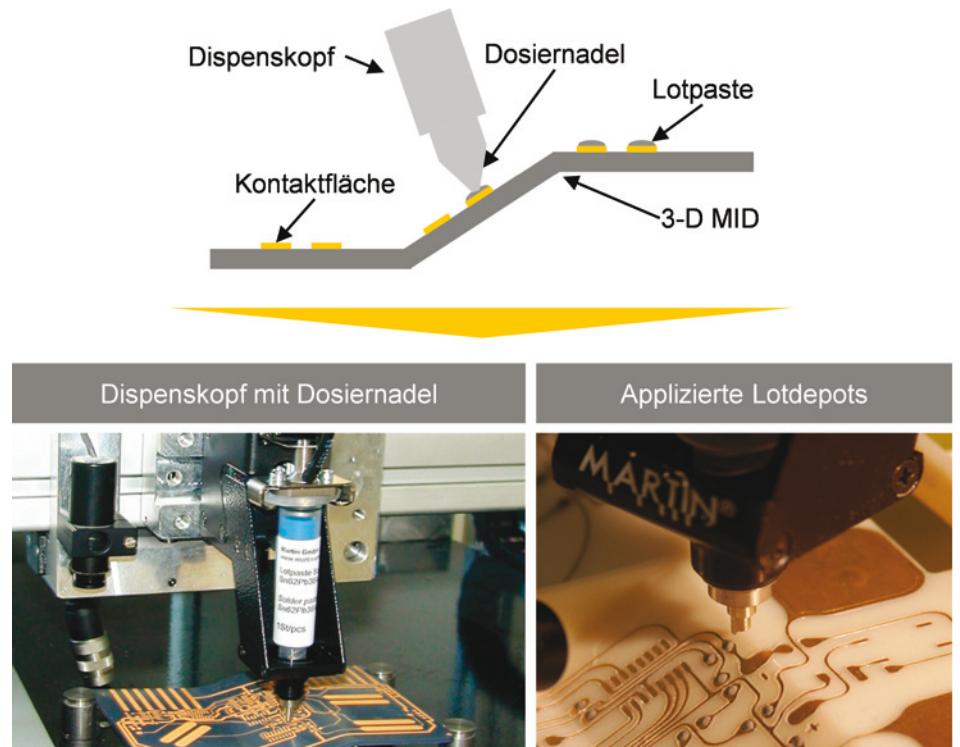


Abb. 2.4.15: Dispens-system für den Auftrag von Verbindungsmedien

Eine wesentliche Anforderung beim Bestücken von elektronischen Bauelementen ist die senkrechte Fügerichtung des Bauelements zur bestückenden Prozessfläche auf der Baugruppe. Bei konventionellen SMD-Bestückungssystemen realisiert das Portalsystem drei lineare Freiheitsgrade sowie einen rotatorischen Freiheitsgrad. Durch diese Kinematik ist die Fügerichtung stets senkrecht auf die Leiterplatte ausgerichtet. Demgegenüber werden für die Bestückung von MID mindestens sechs Freiheitsgrade benötigt, die sowohl auf Bauelement- als auch auf Substratseite angeordnet sein können. Folglich werden für die Bestückung von MID im Vergleich zur konventionellen Flachbaugruppen-Bestückung zusätzliche Freiheitsgrade erforderlich. (Feldmann 1994)

Des Weiteren muss die Zugänglichkeit der Bestückposition für den Bestückkopf bzw. das Greifwerkzeug sicher gestellt werden. Im Besonderem muss beim Einsatz von automatisierten Produktionsanlagen die Kollisionsvermeidung zwischen der Baugruppe und dem Bestückwerkzeug garantiert werden.

Im Zuge der aktuellen Entwicklungen der MID-Technologie und der steigenden Anzahl an Serienanwendungen sind verschiedene Produktionsanlagen für die Montage und Bestückung von MID am Markt verfügbar. Diese Sonderanlagen besitzen unterschiedliche Kinematikkonzepte und Freiheitsgrade sowohl für die Positionierung der Bauelemente als auch der Substrate. Die Auswahl des Ki-

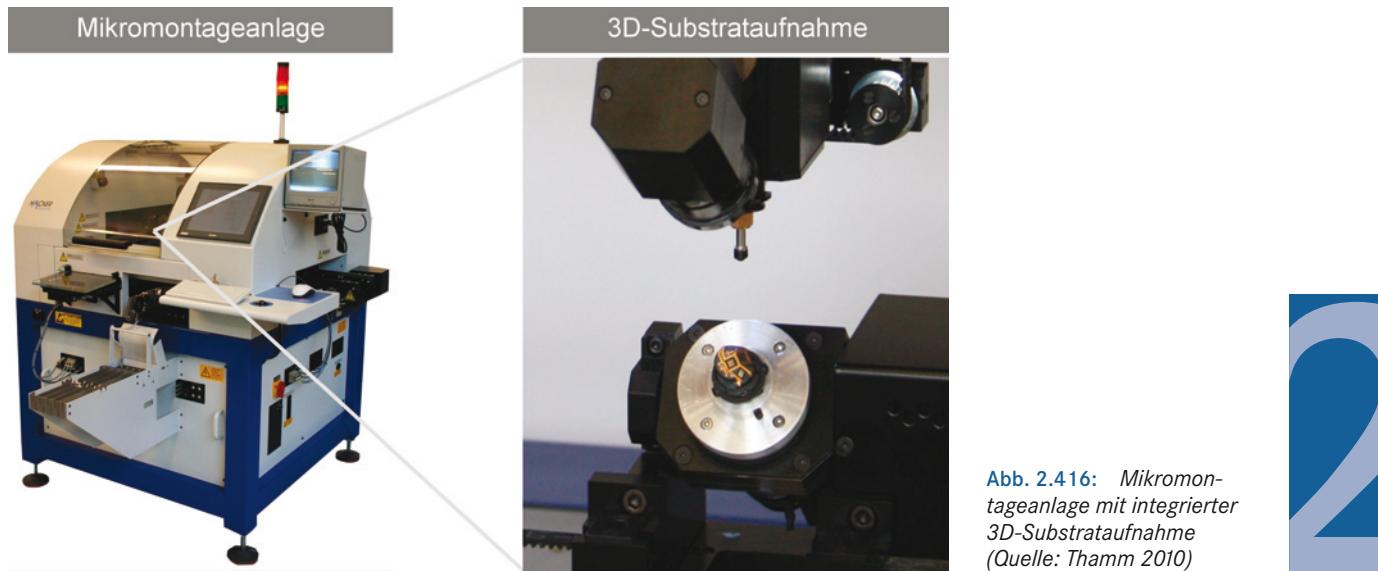
nematikkonzepts wird im Wesentlichen durch die zu verarbeitende dreidimensionale Struktur des MID bestimmt.

### 2.10.3.1 Kartesische Systeme

Bestückungssysteme, die auf einem kartesischen Portalsystem basieren, wie die konventionellen SMD-Bestückungssysteme, besitzen im Allgemeinen drei lineare Achsen x, y, und z sowie eine Rotationsachse, in der Regel um die z-Achse. Auf Grund der Präzision dieser Achsen und der Sensorik kann mit kartesischen Portalsystemen eine hohe Positioniergenauigkeit und somit eine hohe Bestückgenauigkeit auf dem Schaltungsträger erreicht werden.

Für MID der Klasse 1 können SMD-Bestückungssysteme eingesetzt werden, wenn keine geometrischen Restriktionen vorhanden sind und die Zugänglichkeit der Bestückposition gesichert ist. Weiterhin dürfen keine 3D-Elemente in den Verfahrbereich des Bestückkopfes ragen, sodass die Kollisionsvermeidung sicher gestellt wird. Für den Transport der MID in den Bestückungssystemen auf dessen Leiterplattentransportband kann ein zusätzlicher Werkstückträger erforderlich sein.

Für die Bestückung von MID ab Klasse 2 muss die Kinematik des kartesischen Portalsystems erweitert werden, sodass das Bauelement dreidimensional bestückt werden kann. Die Erweiterung der Kinematik erfolgt dabei



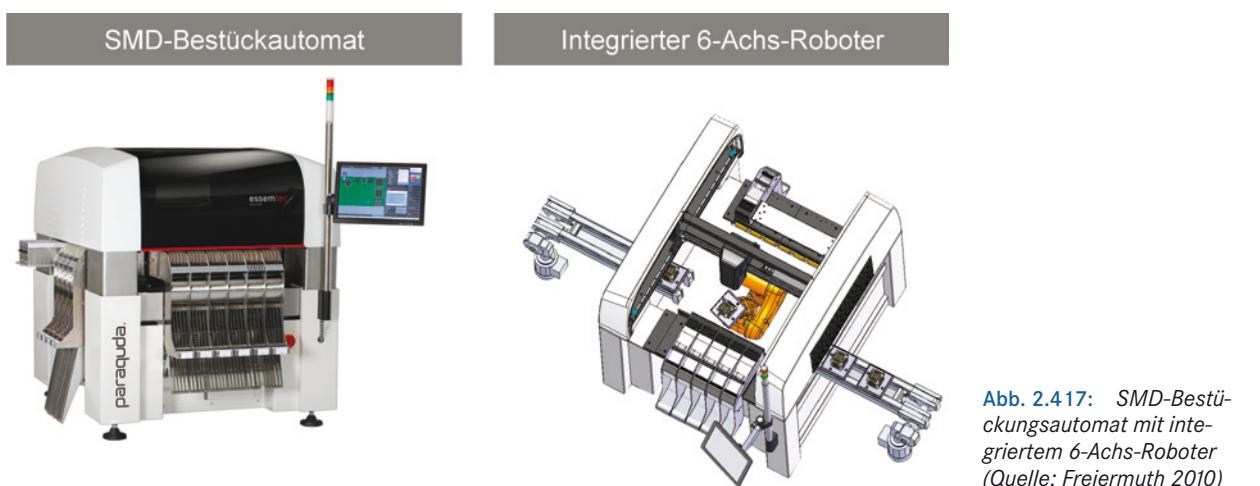
**Abb. 2.416:** Mikromontageanlage mit integrierter 3D-Substrataufnahme  
(Quelle: Thamm 2010)

meistens auf Schaltungsträgerseite. Mit Hilfe einer geeigneten Aktorik werden die zu bestückenden Prozessflächen des Schaltungsträgers im Bestückbereich des Portalsystems positioniert, sodass anschließend die Bauelemente bestückt werden können (Abb. 2.416). Die Substrataufnahme realisiert mit einer integrierten Dreh- und Kippachse die horizontale Ausrichtung der Prozessfläche (Thamm 2010). Die Zugänglichkeit der Bestückposition wird über einen verlängerten z-Verfahrweg des Bestückkopfes erweitert. Jedoch können im Bestückkopf noch weitere Freiheitsgrade, z. B. Drehachsen für die räumliche Positionierung des Bauelements integriert werden. Eine weitere Bestücklösung auf Basis eines kartesischen Portalsystems stellt ein Bestückungsautomat mit inte-

griertem 6-Achs-Industrieroboter dar (Abb. 2.417). Der Roboter ist im Maschinenbett des Bestückungsautomaten platziert und greift die MID, die über den Leiterplatten-transport zugeführt werden. Anschließend positioniert er die jeweilige Prozessfläche des MID im Bestückbereich des Portalsystems, sodass der Bestückkopf die Bauelemente bestücken kann. (Freiermuth 2010)

### 2.10.3.2 Roboterlösung

Industrieroboter stellen auf Grund ihrer hohen 3D-Fähigkeit und Flexibilität in der Bewegung eine Lösung für die automatisierte Bestückung von räumlichen Schaltungsträgern dar (Abb. 2.418). 6-Achs-Roboter eignen sich



**Abb. 2.417:** SMD-Bestückungsautomat mit integriertem 6-Achs-Roboter  
(Quelle: Freiermuth 2010)

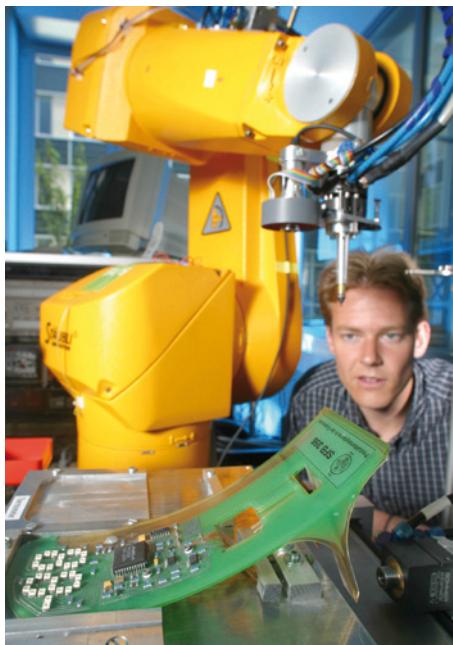


Abb. 2.418: 6-Achs-Roboter zur flexiblen Bestückung von räumlichen Schaltungsträgern am Lehrstuhl FAPS (Foto: K. Fuchs)

besonders für die Bestückung von komplexen geometrischen MID-Strukturen der Klasse 3 mit dreidimensionalen Regel- und Freiformflächen (Reißmann 2010). Die Roboterzelle in Abbildung 2.418 wurde um ein Greifwerkzeug für SMT-Bauelemente mit Werkzeugwechseleinheit erweitert. Des Weiteren verfügt die Zelle über Bauelementzuführleinheiten sowie ein Kamerasystem zur Bauelement- und Schaltungsträgerlageerkennung. Während des Bestückungsprozesses ist der Schaltungsträger ortsfest eingespannt und der Roboter übernimmt die Positionierung der Bauelemente auf den Schaltungsträger. Die

fertigungstechnischen Eigenschaften bezüglich Durchsatz und Bestückgenauigkeit können bei dieser Lösung geringer ausfallen.

### 2.10.3.3 Automatisierter Werkstückträger

Eine weitere Bestücklösung für MID bildet ein automatisierter Werkstückträger, der die Kinematik eines SMD-Bestückungsautomaten erweitert (Abb. 2.419). Es können mehrere MID Baugruppen im Werkstückträger eingespannt werden und von der integrierten Aktorik in drei zusätzlichen Freiheitsgraden gleichzeitig positioniert werden, sodass die Prozessflächen normal zur Bestückrichtung orientiert sind (Pfeffer 2011). Die Positionierung erfolgt dabei über eine Kipp- und eine Drehachse, sodass dadurch die Bestückung einer Halbkugel ermöglicht wird. Mit der Kinematik des Werkstückträgers ist generell die Bestückung von MID in allen Klassen möglich, sofern die Zugänglichkeit zur Bestückposition gegeben ist. Gegebenenfalls muss der Werkstückträger individuell an die Größe des MID angepasst werden.

Für eine automatisierte und verkette Fertigung kann der Werkstückträger über den Leiterplattentransport in den Arbeitsbereich des Bestückungsautomaten eingefahren werden. Dort wird dieser geklemmt und wird mit der Kommunikations- und Datenschnittstelle gekoppelt. Die exakte Position der Prozessfläche wird, wie bei planaren Leiterplatten, mit Hilfe von Passmarken und des Vision-Systems des Bestückungsautomaten erfasst. Anschließend beginnt der Bestückprozess. Eine Alternative ist die stationäre Integration des Werkstückträgers in den Bestückungsautomaten. Die MID müssten in diesem Fall vom Bestückungsautomaten auf den Werkstückträger gesetzt werden, sodass sie anschließend bestückt werden

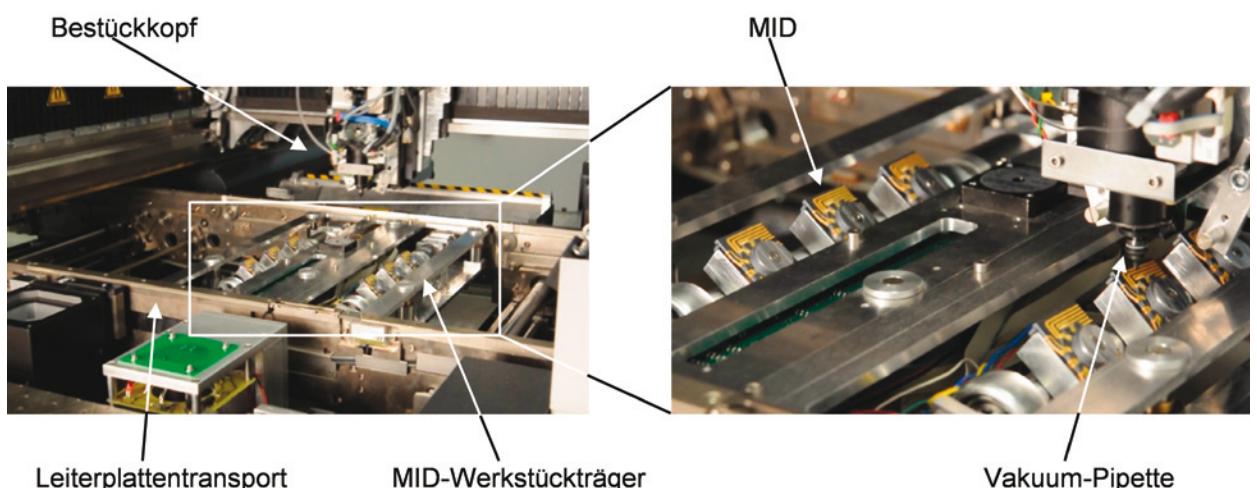


Abb. 2.419: Automatisierter Werkstückträger in SMD-Bestückungsautomat