



# Spezielle Reflowprozesse

Armin Rahn

1. Auflage mit 179 Abbildungen  
und 14 Tabellen



Fachverlag für  Oberflächentechnik –  
Galvanotechnik

 Produktion von Leiter-  
platten und Systemen

BAD SAULGAU GERMANY

[www.leuze-verlag.de](http://www.leuze-verlag.de)

## Vorwort

Das Fräulein in den short Shorts, das jemandem mitteilen muss, dass sie gerade die Treppe der Unterführung des Bahnhofs hinauftritt, verdankt diese Möglichkeit der gleichen Technologie wie der etwas ergraute Herr, der sich per Fernsteuerung sagen lässt, welche der vielen Joghurts in der Kühltruhe des Supermarkts zu Hause gewünscht wird. Beide verstehen wohl kaum wie solch ein Wunderwerk zustande kommt und dass die Kommunikation über höchst komplizierte Antennen oder Satelliten um die ganze Welt geleitet wurde.

Moore's Gesetz, das er 1965 im Electronics-Magazin formulierte, kann in etwa auf das Gesamtprodukt übertragen werden. Vom ersten Mobiltelefon bis zum heutigen ist nicht viel Zeit verstrichen, aber die Größe sowie die Fähigkeiten dieser Geräte haben sich unheimlich schnell verändert.

Die Telekommunikation ist nur ein Bereich, der profitierte. Physik, Chemie, Medizin, Biologie, Astronomie und viele andere verdanken ähnlichen Produkten so machen Durchbruch und entsprechende Fortschritte, wobei wir den Forschern hier die ihnen zustehende Anerkennung nicht absprechen wollen.

Die alte und rühmliche Vakuumröhre hätte die Beschleunigung und Vibration beim Start einer der gigantischen Raketen nicht unbeschadet überstanden. Auch die Temperaturwechsel im Raum zwischen von der Sonne bestrahlten Seite zu jener der Sonne abgewandten wäre ihr schlecht bekommen.

Jedoch hinter den Erfindern und Entwicklern schuftet eine Armee von Prozessingenieuren, Fachleuten und Arbeitern, um diese Ideen in die Wirklichkeit zu überführen. Sie stellen sich den täglichen Herausforderungen und lösen höchst komplexe Situationen oft mit beinahe unzureichenden Mitteln. Ihnen gebührt ebenfalls hochachtungsvolles Lob, was leider jenen am unteren Ende des Totempols oft versagt bleibt.

Die Komplexität in der elektronischen Verbindungstechnologie ist erstaunlich und verändert sich kontinuierlich. Neben den technischen Faktoren wie den Tausenden von Bauteilen unterschiedlichster Provenienz und Machart gesellen sich die Leiterplatten, die immer anspruchsvoller werden. Flussmittel, Pasten und Lote werden in wachsender Vielfalt angeboten und überdecken große Bereiche, was Lötbarkeit und Rückstände betrifft, um nicht von der Auftragsbedingung abzulenken. Dazu gesellt sich der Maschinenpark, der oft erst auf das Verlangen gewitzter Prozessingenieure und des Wartungspersonals hin entsteht.

Schließlich mischt inzwischen auch der Gesetzgeber mit und macht (vernünftige und weniger vernünftige) Vorgaben betreffs gewisser Stoffe als auch deren Herkunft (Konflikt-mineralien).

Das vorliegende Buch entstand somit durch die persönliche Kenntnis solcher Personen, Firmen und Prozesse. Überall, wo sich die elektronische Fertigung angesiedelt hat – und das ist inzwischen beinahe überall – stößt man auf Innovation und mehr oder weniger intelligente Lösungsansätze. Einiges stellt sich als Irrweg heraus, ist aber als Ergebnis oft genauso wichtig wie der Erfolg:

„I have not failed. I have just found 10,000 ways that won't work.“

*Ich habe nicht versagt. Ich habe nur 10 000 Wege gefunden, die nicht funktionieren.*

*Thomas A. Edison*

Škrobočov im Dezember 2016

Armin Rahn

# 1      **Einleitung**

Gegen Ende des 20. Jahrhunderts überholte das Reflowlöten die bis dahin dominante Füge-technik des Schwalllötens. Die Ursachen sind vielfältig, wurden aber hauptsächlich durch die Entwicklung bei den Bauteilen getrieben.

Obgleich inzwischen eine für die elektronische Herstellung beinahe Ewigkeit verstrichen ist, tun sich noch immer viele Produktionen schwer, bei niedrigen Fehlerquoten zu fertigen. Zwar kann man mangelnder Investition – vor allem in hochqualifizierte Fachkräfte – die Schuld geben, aber das wirkliche Bild ist eher komplizierter.

Nicht nur wird in jedem Standort anders gefertigt sondern die technische Entwicklung bleibt nicht stehen. Zudem werden Erkenntnisse, die in einer Firma gewonnen wurden, oft nicht weitergereicht oder aber von anderen nicht erhalten oder gelesen. Die Teilnahme an internationalen Konferenzen, auf denen solche Themen abgehandelt und besprochen werden, ist auf jene beschränkt, die Englisch gut genug beherrschen, um Vorträge zu verstehen und das wissenschaftliche Rüstzeug mitbringen. Ansonsten entarten sie zu Trinkgelagen, was durch viele Firmen tatkräftig mit ihren hospitality suites oder feuchtfröhlichen Empfängen unterstützt wird.

Wenn schon die einfachen Reflowprozesse Schwierigkeiten bereiten, wie viel mehr dann die etwas komplizierteren Spezialprozesse, die entweder produktspezifisch oder wegen des Anforderungsprofils eines Kunden eingeführt wurden.

Wenigen ist bewusst, dass es sehr unterschiedliche Vorgehensweisen beim doppelseitigen Reflow gibt, die alle irgendwo tatsächlich so genutzt werden. Noch weniger bekannt sind deren verschiedenen Vor- oder Nachteile. Zudem haben sich die Bedingungen unter der RoHS viel mehr verändert als oft realisiert, denn nicht nur sind nun neue Lote à rigueur sondern dem ganzen System der Leiterplatte wurde durch das Verbot halogenhaltiger Flammschuttmittel der Teppich unter den Umsteigern weggezogen.

Nimmt doch der durchschnittliche Prozessingenieur immer noch hoffnungsvoll an, dass wenn er einen höheren  $T_g$ -Wert für seine Leiterplatten bestellt er auch Material bekommt, das einen günstigeren, d.h. kleineren Ausdehnungskoeffizient mit sich bringt. Nun, da sieht man, wie er sich täuschen kann.

Man wird immer wieder feststellen, dass das Wissen zwar irgendwo vorhanden ist, aber nicht immer in jenen Köpfen präsent, bei denen kritische Entscheidungen zu treffen sind.

Manager bilden sich heute in Schnellkursen aus, je nach Mode auch mit Gurus bei Meditation in einem Aschram oder beim Bungeejumping. Vom Metier verstehen sie dann zwar nichts, aber glauben eine Firma oder zumindest einen Teil davon lenken zu können.

Wen wundert es dann, wenn Ingenieure, die Leiterplatten und ganze Produkte auslegen noch nie in der Produktion waren, weder den vorhandenen Maschinenpark kennen noch die Leute, die ihn bedienen? Warum sollten sie auch, denn schließlich legt ihnen die Software alles vorgekauft zurecht?

Leider haben aber jene, die solche Software erstellen, meist noch weniger Ahnung vom Prozess als der Layouter selbst, und glauben, wenn sie sich auf die verschiedenen Standards beziehen, schon ihren Teil geleistet zu haben.

Schließlich haben wir noch die Menge der Ingenieure, die am CAD/CAM-Bildschirm die richtungsweisende neue Produktionsmaschine entwickeln. Sie wird dann beim nächsten Treffen vorgestellt, hat aber, wie die Prozessingenieure oder die Wartungsmannschaft bei Kunden zu berichten wissen, grundlegende Mängel, denn diese Ingenieure haben z.B. noch nie gelötet oder eine Leiterplatte bestückt.

Immerhin schreiben dann die Marketingexperten, dass ihre Anlage 0 ppm Restsauerstoff enthalte oder 100 % reine Konvektionsheizung erlaube. Das verwundert eigentlich weniger als die Tatsache, dass ausgebildete Ingenieure so einen Stuss schlucken.

Immerhin hat die Industrie auch noch gute Leute, die gelegentlich sogar gewisse Risiken bei Neuentwicklungen eingehen, denn sonst würde immer noch wie vor 50 Jahren gearbeitet. Diese Innovation treibt dann die Entwicklung weiter, wobei viel nachgeäfft wird statt grundsätzlich den Prozess zu verstehen.

Die Vielfalt der Prozessmöglichkeiten ist der Anlass hier einige anzuführen und hilfreiche Hinweise zu geben.

Statt fünf oder zehn Selektivanlagen nach dem Schwalllötten und Reflowlötten aufzustellen, kann man ja auch andenken, einen PiP-Prozess einzuführen. Solch eine Herausforderung kann viel Spaß machen und die Firma profitiert ungemein, wenn es wirklich klappt.

Mit einem doppelseitigen Reflow konfrontiert kann man auf die Nachbarproduktion schießen oder aber phantasie reich die vielen Variationen vor dem geistigen Auge durchspielen. Einige Gespräche mit dem Entwurfsbüro, wodurch vielleicht Änderungen veranlasst werden, die dann die Produktion vereinfachen, wären auch auf der persönlichen Basis vielleicht ein Bonus.

Kaufleute im Management oder gar Buchhalter schauen oft nur auf die letzte Zeile der Bilanz und vergessen, dass gerade in der elektronischen Industrie Innovation die Triebfeder ist. Die Konkurrenz ist nicht der Fleischerladen um die Ecke sondern sind Firmen, die in Fernost, Südamerika oder Mexiko planen, entwickeln und fertigen. Es sind weniger die Gehälter der Arbeiter – die schlagen im Endprodukt mit nur wenigen Prozenten durch – sondern eher die Ausnutzung des investierten Kapitals. Laufen teure Anlagen nur eine Schicht, dann ist das finanziell unerträglicher als liefern sie drei Schichten und 365 Tage im Jahr. Wenn Europa diese Möglichkeiten nicht mehr hat, da mit der alternden Bevölkerungs pyramide trotz aktiver Immigration die jungen Leute fehlen, dann muss man sich etwas anderes einfallen lassen. Merke: auch in dem ach so divers gesehenen China geht es in Richtung Automatisierung und Robotertechnik.

Einige Triebfedern stammen aus technischen Überlegungen. Da die Schaltzeiten und damit die Öffnungen der gates immer kürzer werden, muss der Entwurf auch die Laufzeiten zwischen den beiden Bauteilen – z.B. Prozessor und Speichermedium – einbeziehen. Je

---

kürzer der Abstand, desto einfacher kann die Übertragung der Daten erfolgen. Die dritte Dimension durch Stapeln von Bauteilen auszunutzen ist eigentlich recht logisch. Man hat das notgedrungen mit passiven Bauteilen vorgemacht, also warum nicht auch bei aktiven? Als zusätzlichen Gewinn erhält man eine Platzeinsparung, die in einigen Geräten sehr willkommen ist.

Inzwischen ist PoP (package-on-package = Bauteil-auf-Bauteil) in vielen Produktionen beinahe ein alter Hut und man überlegt sich, mit welchem Husarenstreich man die etwas ungelinkere Konkurrenz bald erneut vorführen kann.

## **2       Doppelseitiges Reflow**

### **2.1       Einleitung**

Die oberflächige Bestückung hat viele Vorteile, unter denen die Platzersparnis an einer der obersten Stellen rangiert. Damit antwortet die Leiterplatte auf die Miniaturisierung bei den Bauteilen. In dieser Hinsicht ist typisch, dass bei der Einführung der SM-Technik das Ende der mehrlagigen Leiterplatte vorausgesagt wurde, die, wie man inzwischen sicher weiß, sich auch heute noch bester Gesundheit erfreut.

Gemischte Bestückung – also bedrahtete Bauteile in Durchkontaktierungen und oberflächige gemeinsam auf einer Leiterplatte – standen am Anfang. Jedoch erkannte die Industrie nicht nur, dass diese zu fertigen aufwendig und teuer ist sondern dass der Vorteil der Platzersparnis so nicht voll ausgereizt werden kann.

Der Schritt zur beidseitigen SM-Bestückung war also sozusagen vorprogrammiert und durch die Hintertür marschierte auch gleich wieder die Mehrlagenkarte in die Produktion, denn die neue Software, die dem Layouter zur Verfügung gestellt wurde, fügte jedes Mal, wenn eine Leiterbahn nicht mehr aus dem Gewirr herausgeführt werden konnte, eine neue Lage mittels eines Umsteigers hinzu.

Wenige Gedanken wurden daran verschwendet, wie man diese Produkte dann auch fertigen sollte. Das überließ man den Prozessingenieuren.

Da in den verschiedenen Produktionen andere Maschinenzusammenstellungen vorhanden waren und sind, trifft man deswegen auf eine große Vielfalt an Vorgehensweisen und man muss den Erfindungsreichtum dieser Leute rühmen, denn ohne sie wäre die Neuentwicklung geeigneter Maschinen wohl kaum so zügig verlaufen, wie sie schließlich war.

Natürlich sind es nicht nur vorhandene Maschinen und Ausrüstungsstücke, die einen Einfluss auf die gewählte Produktionsweise haben sondern viele andere Faktoren, von denen das Know-how und der Ausbildungsstatus der Angestellten ganz oben rangieren.

Betritt man eine Produktionsstätte erkennt man oft bereits am Zustand der Maschine, wer hier arbeitet und wie gearbeitet wird. Jedoch kann man das nicht nur dem untersten Arbeiter ankreiden, denn wie die Amerikaner sagen: der Fisch fängt am Kopf an zu stinken.

Was ebenfalls oft übersehen wird ist die überregionale Organisation der elektronischen Industrie. Der Deutsche konkurriert nicht mit anderen Deutschen oder gar Europäern sondern mit der gesamten Welt. Bei einer sich stetig nach oben verlagernden Alterspyramide können die Europäer mit Arbeitskraft gegen Inder, Chinesen oder Indonesier nicht bestehen. Als überzogene Aussage könnte man meinen, dass in Europa das Durchschnittsalter

auf dem Arbeitsparkett bei 50 Jahren liegt, in Fernost aber bei 25. Politiker sollten sich bewusst sein, dass man hier nur den Wohlstand bewahren kann indem man den jungen Bürgern die bestmögliche Ausbildung angedeihen lässt, die man ihnen zur Verfügung stellen kann. Die Unterfinanzierung z. B. der Schulen und Universitäten ist eine Schande. Mit seiner Altersstruktur muss Europa auf Innovation setzen.

Wenn Milliarden zur Verteidigung der Demokratie am Hindukusch vorhanden sind, sollte doch auch etwas für Schulen und Universitäten abfallen?

Im Folgenden werden die einzelnen Prozesse (Abb. 1) näher betrachtet und jeweils die pertinentesten Besonderheiten hervorgehoben. Um Wiederholungen zu vermeiden, werden einige Themen nur in einem Kapitel behandelt, obgleich sie auch auf andere Produktionsvorgänge zutreffen.

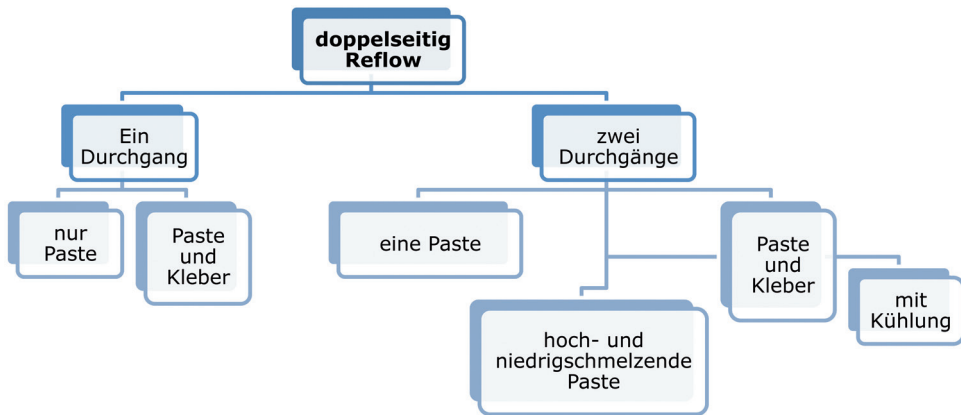


Abb. 1: Alternative Möglichkeiten für den doppelseitigen Reflowprozess (Rahn)

Alle Variationen wird man nicht ansprechen können, denn die Vielfalt ist enorm. Immerhin sind Grundtendenzen klar zu erkennen und den Rest kann man als lokale Spielart sehen.

Oft hängen die Entscheidungen auch an der Kunst des Verkäufers, denn es ist nicht selten, dass unerfahrenen Leuten der Auftrag erteilt wird, eine neue Produktion zu initiieren. Sie sind leichte Opfer. Was einem als blanker Irrsinn vorkommt, begegnet einem jedoch nicht selten und man muss sich wirklich wundern warum – nach vielen zusätzlichen Kosten – am Ende doch etwas geschaffen wird, was Produkte erzeugt. Es kann natürlich auch – und zum Glück geschieht das meistens – anders vorgegangen werden und mit richtiger Planung ein System ausgewählt werden, das schnell und effizient umgesetzt werden kann.

Die Verbindungstechnik der elektronischen Industrie wird durch die rasante Weiterentwicklung der Bauteile getrieben. Es war offensichtlich, dass nach den bipolaren und dann einseitig bedrahteten Bauteilen bald flächige erscheinen würden und die dritte Dimension war wohl ebenfalls auf Dauer unvermeidlich. Package-on-Package (PoP) ist ein erster Schritt in diese Richtung.



Jedoch bleibt die Entwicklung nicht stehen und weitere Technologien (*Abb. 2*) sind bereits bei einigen wenigen Firmen in Produktion. 3D-IC-Packaging ist solch eine Fortschritt und 3-D IC Integration Technology mit TSV (through-silicon-via) führt dann zur nächsten Stufe der Komplexität.

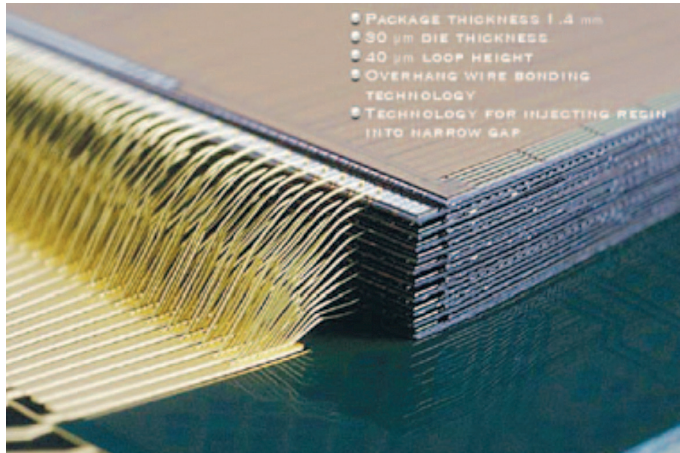


Abb. 2: Akita Elpida's 20 stacked chips (nach Akita Elpida)

## 2.2 Reflowmaschinen

Die Auswahl an Geräten hat sich mit den neuen Anbietern aus Fernost in den letzten Jahren stark vergrößert. Es reicht von kleinen Tischmaschinen bis hin zu Durchlaufanlagen mit über zehn oder mehr geheizten Modulen (das als Konvektionssysteme) mit einer Gesamtlänge, die schon einmal über sechs Meter betragen kann.

Als Heizmedium wird so ungefähr alles angeboten, was Wärme überträgt ohne Elektronik zu beschädigen. Konduktion, Induktion, Widerstandsheizung, Infrarotstrahlung, Konvektion selbst mit Mikrowellen oder Hoch- oder Niederdruck, Kondensation auch mit Infrarot oder Konvektion als Vorheizung oder gar Vakuumkammern, Laser und sogar variable Mikrowellen sind verfügbar. Alle Verfahren haben Vor- sowie Nachteile und somit gibt es kein bestes System und demnach muss sich der Anwender stets mit einem für ihn optimalen Kompromiss zufrieden geben.

Dazu kommen noch die unterschiedlichsten Entwurfprinzipien und Qualitätsleistungen der verschiedenen Hersteller. Man braucht nur den Wartungsingenieuren zuzuhören, um festzustellen, dass einige der Geräte sehr schnell versagen – Ausfall von Heizungen, Motoren, Lagern, Dehnung des Transports usw., so dass interessanterweise nicht nur erfahrene Käufer Ersatzteile beim Kauf der Maschine mitbestellen sondern Hersteller selbst schon kommentarlos einen Vorrat beilegen.

Andererseits sind die Bemerkungen der Prozessingenieure auch nicht immer schmeichelhaft, wenn sie die Prozessstabilität beanstanden oder sich über abgeblasene Bauteile beschweren.

Leider sind viele Maschinenbauingenieure bei den Herstellern bezüglich der Produktionsanforderungen in der elektronischen Industrie nicht bewandert und kennen deswegen die Prozessansprüche nur oberflächlich. Das Wichtigste jedoch an einer Lötanlage ist der Prozess und nicht der Stolz des Ingenieurs, wieder einen eleganten Blechkasten in die Ausstellung geliefert zu haben.

Der Käufer hingegen geht so weit, dass er beim Hersteller vorspricht und Probeläufe vornimmt. Anschließend geht es dann in ein wohlverdientes feines Lokal (wie fein hängt oft vom Kaufpreis ab) zum Essen und er preist sich glücklich, wenn auch nicht weise, wenn zwei Leiterplatten ordentlich gelötet bei dem Versuch mit nach Hause genommen werden können. Später stellt er dann fest, dass die Anlage das eingestellte Profil nicht halten kann oder sie sich im Laufe des Tages langsam aber sicher auf immer höhere Temperaturen aufheizt mit dem wunderbaren Effekt, dass morgens die Baugruppen weitgehend korrekt gelötet werden abends dann aber mit 10 oder mehr Kelvin höheren Temperaturen.

### 2.2.1 Wärme

Ohne die vielen Vorlesungen\* oder Bücher über das Thema vorwegnehmen zu wollen, beschäftigen wir uns nachstehend kurz mit einigen der grundlegenden Themen, die für das Reflowing wichtig sind.

Der Physiker definiert Wärme anders als der Normalbürger, was ja auch von Wissenschaftlern zu erwarten ist. Für ihn ist Temperatur eine Zustandsgröße der Thermodynamik. Sie beschreibt die durchschnittliche kinetische Energie der Moleküle, was besagen will, dass es in jedem Stoff immer Moleküle gibt, die schneller und andere, die langsamer schwingen. Der Stoff (Festkörper, Flüssigkeit, Gas, ...) wird wärmer, wenn die kinetische Energie ansteigt.

Ein sogenannter Phasenübergang findet statt, wenn z.B. in einem Festkörper (Lot) die Moleküle so stark schwingen, dass die Struktur des festen Körpers sie nicht mehr gefangen halten kann und sich der Stoff verflüssigt (schmilzt). So ein ähnlicher Vorgang findet dann wieder statt, wenn die Flüssigkeit verdampft. Der Physiker spricht von Freiheitsgraden\*\*, die gewonnen werden. Hierzu sei bemerkt, dass während eines Phasenübergangs Energie benötigt wird, die dann zurückgewonnen wird, wenn der Phasensprung in umgekehrter Richtung durchlaufen wird (z.B. vom flüssigen zum festen Zustand). Somit existieren während des Übergangs zwei Zustände bei gleicher Temperatur (z.B. Flüssigkeit und Dampf – Wasser und Eis).

Die Wärme eines Gegenstands oder Stoffes ändert sich dauernd. Er nimmt Wärme auf und gibt auch gleichzeitig Wärme ab (alle Materie über dem absoluten Nullpunkt ( $\sim -273\text{ °C}$  =

---

\* z.B. Prof. Dr.-Ing. Klaus Spindler; Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart; Grundlagen der Wärmeübertragung und O. von der Lühe & U. Landgraf; Einführung in die Physik I - Wärme 1 - Grundlagen

\*\* gibbssche Phasenregel

### 3 Durchkontaktiertes Reflow

Besser bekannt unter seiner amerikanischen Bezeichnung Pin-in-Paste (PiP) oder Alternative Assembly and Reflow Technology (AART).

Hinter vielen Reflowöfen stehen eine Anzahl von Selektivlötanlagen, deren Einsatz plötzlich eine Attraktivität gewonnen hat, die überrascht. Diese Maschinen, die oft aus gewissen Reparaturanlagen entwickelt wurden, werden als Ergänzung des Reflowprozesses betrachtet, wenn gewisse Bauteile – meist bedrahtete, die in Durchkontaktierungen gesteckt werden – noch zusätzlich auf der Baugruppe verwendet werden. Sieht man mehr als eine oder höchstens zwei dieser Maschinen, kommen einem Bedenken, ob das die beste Vorgehensweise sein kann. Vielleicht sollte dann ein Gespräch mit dem Layouter oder Designingenieur anberaunt werden?

Während die Fehlerquoten beim Reflowlöten bei ca. 5 DPMO (defects per million opportunities – Fehler pro einer Million möglicher Fehler) liegen sollten oder sogar darunter, beim Schwalllöten bei 20 bis höchstens 80 DPMO, so liegen sie bei Selektivlötanlagen nicht selten bei 2000 DPMO (in der Literatur findet man selbst Prozentangaben statt DPMO) und es müssen lange Lernkurven und Kopfstände unternommen werden, um diese Zahl in annehmbare Bereiche zu drücken. Je mehr dieser Anlagen im Einsatz sind, desto teurer wird die Produktion und desto geringer ist die Chance, sie unter Kontrolle zu bringen.

Eine ganze Baugruppe kann im Allgemeinen für vielleicht 10,- € gelötet werden, dagegen liegen die Kosten bei einer Reparatur wohl eher bei > 150,- €, was sich auf den Preis des Produkts auswirkt. Reparaturen werden erst dann günstiger, wenn man viele auszuführen hat, was jedoch, da es keine Reparaturmethode gibt, die eine Lebenserwartung der Lötstelle verbessert, meist kosmetischer Natur ist (außer bei Brücken und offenen Lötstellen).

Einige Firmen durchschauen solche Spielchen und überlegen sich, ob es nicht andere Ansätze geben kann, dieses Problem der zusätzlich bedrahteten Bauteile in den Griff zu bekommen. Das Schwalllöten mit Masken ist ebenfalls teuer und schlecht zu kontrollieren, speziell wenn einige höhere SM-Bauteile durch die Maske abgedeckt werden müssen. PiP (pin-in-paste – Anschlussbeinchen in der Paste: durchkontaktiertes Reflow) bietet sich hier an und läuft in vielen Fällen dem Selektivlöten inzwischen den Rang ab, bestehen doch nicht wenige Baugruppen aus 80 % SM-Anteil und 20 % TH (through-hole – Durchkontaktierung) wobei der geringe TH-Anteil 80 % der Kosten verursacht!

Eine Reihe weiterer Vorteile für den PiP-Prozess werden angeführt, vor allem im Vergleich zum Selektivlöten mit der Miniwelle oder Schwalllöten mit einer Maske. Demnach erzielt man meist eine bessere Benetzung und weniger Brücken. Der Flächenbedarf von durch-

kontaktierten Steckern ist geringer als der für SM-Stecker benötigte und die Zuverlässigkeit meist um einiges besser, speziell wenn die Stecker häufiger verwendet und somit wiederholt belastet werden. Der Vorteil einer einfacheren Prozessführung – schließlich werden mehrere zusätzliche Schritte vermieden – sowie allgemein geringere Investitionskosten schlagen ebenfalls zu Buch.

Eine Änderung im ANSI-Standard [34] half gewaltig, diese Methode zu akzeptieren.

*„...if there is evidence of good wetting, it is not necessary that vias or leaded holes exhibit solder on the destination side pads nor does the hole need to be completely filled.”*

*„...wenn gute Benetzung vorhanden ist, dann ist es nicht nötig dass Umsteiger oder Durchkontaktierungen an der gegenüberliegenden Seite der Pads Lot aufweisen noch müssen sie völlig gefüllt sein.“*

Das totale Füllen der Durchkontaktierung ist zwar möglich, aber nicht ganz einfach zu erzielen und wurde als eines der Hindernisse für die Einführung des PiP gesehen, da einige Standards und Kunden das verlang(t)en. Zwar ist es für die Zuverlässigkeit der Lötstelle nicht erforderlich, aber es hatte sich durch die Übermacht des amerikanischen Militärstandards weltweit eingebürgert – und machte Sinn, wie die Inspektoren fühlten. Zahlreiche Versuchsanordnungen widerlegten diese Intuition – eigentlich bewiesen sie das Gegenteil [35] – was sich endlich in der Revision einiger Spezifikationen niederschlug.

Durchkontaktiertes Reflow (Abb. 59 und Abb. 60) sollte nicht alleinstehend gesehen werden, denn die meisten solcher Produkte sind obendrein auch noch beidseitig bestückt, was sowohl den Prozess als auch notwendig werdende Reparaturen verkompliziert – natürlich auch das Selektivlöten.

Die zusätzlichen Bauteile schränken jedoch auch die Optionen für das doppelseitige Reflow ein, das ebenfalls durchgeführt werden muss. So sollten Feinraaster-Bauteile auf der (beim zweiten Reflow mit den bedrahteten Bauteilen) Unterseite angebracht werden, um

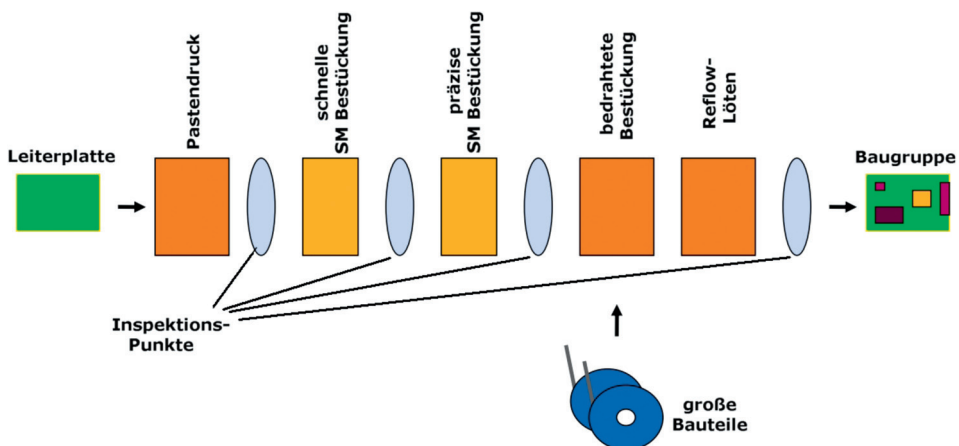


Abb. 59: Möglicher Prozessfluss

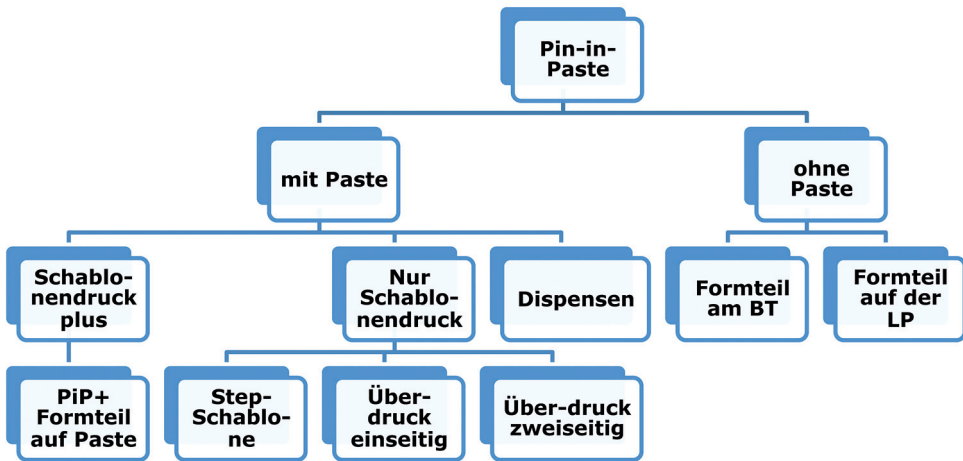


Abb. 60: Übersicht einiger Prozessanordnungen (Rahn)

den Pastendruck zu vereinfachen, was bedeutet, dass auch gewichtsmäßig ungünstige falsch verwendet werden – mit der Konsequenz, dass Klebstoff eingesetzt werden muss.

Pintransfer von Pasten verbietet sich meist ebenfalls, da die dazu verwendeten Pasten eine Konsistenz wie Honig haben und durch die Durchkontaktierung laufen, denn die Hauptaufgabe beim PiP ist sicherlich hinreichend viel Lot bereit zu stellen.

Das Prinzip des PiP ist schnell erklärt (Abb. 61 bis Abb. 63). Die hauptsächliche Schwierigkeit ist, hinreichend viel Lot zur Verfügung zu stellen, um eine ordentliche Lötstelle zu

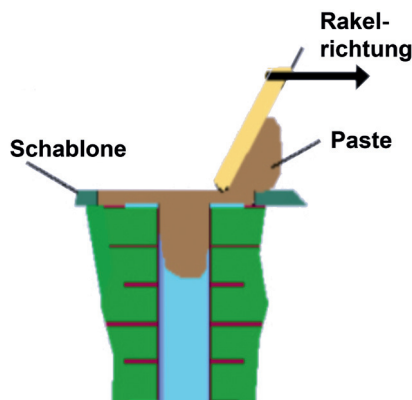


Abb. 61: Schritt 1: Pastenauftrag (nach FCI)

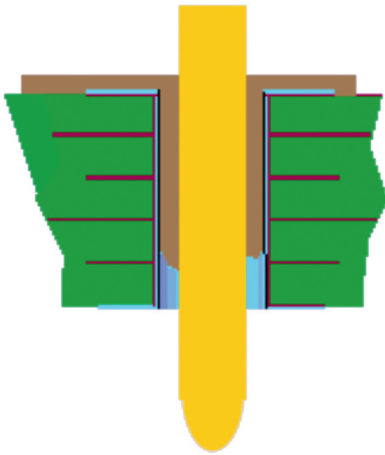


Abb. 62: Schritt 2: Bestückung mit bedrahtetem Bauteil (nach FCI)

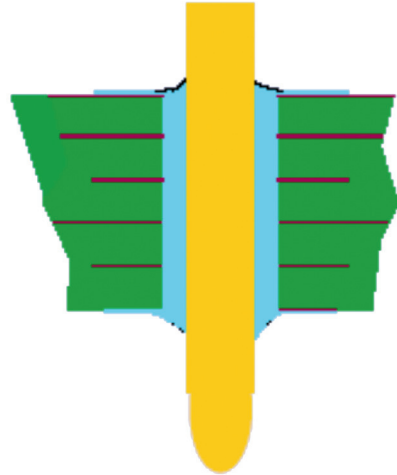


Abb. 63: Schritt 3: Reflow (nach FCI)

erhalten. Dabei spielt das Layout/Design eine wichtige Rolle aber auch die verschiedenen Schritte im Prozess.

Sicherlich nicht ganz selbstlos gibt es auch Hilfe bei der Einführung solcher Prozesse (Abb. 64). Eine CD-ROM ist z.B. unter dem Namen AARTIST von dem Universal SMT Labor erhältlich. Ein Programm assistiert bei der Berechnung von

- Lotpastenvolumen
- Aussparungen in der Schablone
- Voraussagen der Füllung einer Durchkontaktierung

Dazu gibt es auch noch Schulungen, nicht nur auf der CD sondern auch direkt durch das obige Labor.



Abb. 64: Beispiel einer AART-Linie (nach Universal Instruments®)