

# Integration eines Lotpasten-Extruders in ein bestehendes System: Untersuchung der Extrusions- und Verlöteigenschaften

C. Loch<sup>a</sup>, J. Berlinski<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Fachhochschule Kiel, Sokratesplatz 1, 24149 Kiel, Deutschland

## ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit untersucht inwiefern verschiedene Lotpasten bezüglich ihrer Extrusions- und Verlöteigenschaften für eine Lotpasten-Extruder Erweiterung geeignet sind. Dabei wird der Lotpasten-Extruder in das bestehende LitePlacer Platinenbestückungssystem integriert. Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit ist die Frage, inwiefern sich verschiedene ausgesuchte Lotpasten für die Verwendung in dem System eignen. Hierbei wurden drei Lötpasten verschiedener Qualitäten und Partikelgrößen ausgewählt und eine Testplatine mit der Lotpaste versehen. Die Bewertung des Zusammenspiels von Extruder und Lotpaste erfolgt anhand der Bewertungskriterien: Klebrigkeit, Viskosität, Steuerbarkeit des Flusses, Benetzungsfähig und Satellitenbildung. Das Ergebnis ist, dass die Lotpaste SuperFinePitch-6 und FinePitch-3 die Anforderungen erfüllen. Mit der SuperFinePitch-6 Lotpaste ist es möglich erfolgreich ein BGA81 Footprint mit Lotpaste zu versehen. Dennoch zeigen sich hier die Limitationen des Systems. Somit stellen nicht runde Footprint Flächen ein Problem dar, weil nur runde Lotpastenpunkte aufgetragen werden können. Ebenso kann mit dem bestehen Versuchsaufbau die Lotpastenmenge nicht im Prozess verändert werden. Zusammenfassend ist es dennoch möglich mit den integrierten Lotpastextruder und einer geeigneten Lotpaste, gute Ergebnisse beim Lotpastenauftrag zu erreichen. Die Qualität reicht nicht dabei nicht an Standard-Industriegeräte heran, trotzdem lassen sich unter bestimmten Bedingungen brauchbare Resultate erzielen.

In dieser Arbeit geht es darum, wie geeignet verschiedene Lotpasten für das automatische Auftragen auf SMD-Platinen mit einem an einen Bestückungsautomaten befestigten Applikator sind. Dabei wurden verschiedene Lotpasten getestet und anhand von Erfolgskriterien die Endergebnisse miteinander verglichen. Die dafür entwickelte Vorrichtung ist in das Projekt LitePlacer zu integrieren und beinhaltet eine Halterung für verschiedene Spritzen und einen Schrittmotor zum herausdrücken der Lotpaste. In dieser Arbeit wird geprüft, inwiefern diese Vorrichtung den Zweck erfüllt und wie gut sich unterschiedliche Lotpasten damit auftragen lassen. Zu den Erfolgskriterien gehören Hafteigenschaften, die Viskosität und die Ausflusseigenschaft bei dem Extrusionsverfahren und die Fließ- und Oberflächeneigenschaften während des Reflow-Löt-Prozesses. Es wird analysiert, inwiefern sich eine solche Vorrichtung zum automatischen Lotpastenauftrag unter den Gesichtspunkten der Erfolgskriterien für Lotpasteneigenschaften rentiert.

**Schlüsselwörter:** Lotpaste, Bestückungsautomat, Lotpastenauftrag, SMD, Platine

## 1. EINLEITUNG

Im modernen Prototypenbau hat das „Rapid Prototyping“ die Herstellungsprozesse eines mechanischen Bauteils weitestgehend revolutioniert [1]. Jedoch erhält nahezu jedes technische Produkt erst durch eine Platine seine technische Funktionalität. Der Platinen-Herstellungsprozess besteht aus folgenden Schritten [2]:

1. Layouterstellung
2. Rohplatinenherstellung
3. Lotpastenauftrag
4. Bestückung
5. Verlöten

Die Herstellung von hoch integrierten Platinen ist, gemessen an den Kosten für professionelle Bestückungsautomaten, kapitalintensiv und aufwendig. Dies führt dazu, dass verschiedene Lösungen für die Schritte zwei bis fünf entwickelt werden. Voltera entwickelt ein Desktopsystem für die Rohplatinenherstellung mittels Leiterbahndruck. Zusätzlich sind der Lotpastenauftrag und in einem kleinen Umfang das Bestücken von Platinen möglich [3]. CirQoid vertreibt ein System mit vergleichbarer Funktionalität, stellt aber die Rohplatine mittels Fräsen her [4]. LitePlacer ist ein Open-Source-Projekt für die automatische Bestückung von Platinen. Die Vorteile des LitePlacers im Vergleich zu den zuvor

genannten Systemen sind ein größerer Arbeitsraum, die Integration von Kameras sowie der Transport von Bauteilen innerhalb von vier XYZA-Achsen [5]. Da sich der LitePlacer jedoch ausschließlich für Platinenbestückung eignet, wird an der Fachhochschule Kiel eine Open-Source-Erweiterung für den automatischen Lotpastenauftrag entwickelt. Bisher wurde die Lotpaste per Schablonendruck manuell aufgebracht. Hierbei besteht ein Kontaktisiko mit der potenziell gesundheitsgefährdenden Lotpaste, welches durch die Erweiterung reduziert werden soll. Außerdem eignet sich das manuelle Schablonendruckverfahren in dem Umfeld einer Fachhochschule nur bedingt für Anwendungen mit einem Pitch kleiner als 0,8 mm.

Es gibt verschiedene automatische Verfahren zum Auftragen von Lotpaste. Hierzu zählen das Jet-Printing, die Druckluft-Extrusion und die Spindel-Extrusion. Das Jet-Printing-Verfahren funktioniert analog zu dem Funktionsprinzip eines Tintenstrahldruckers. Dabei werden kleine Lotpastentropfen mittels eines Hochdruck-Piezoventils auf die Platine aufgebracht [6]. Bei der Druckluft-Extrusion lagert die Lotpaste in einer Kartusche, welche mit Druckluft beaufschlagt wird. Hierbei strömt durch eine Druckerhöhung die Lotpaste durch eine Dosiernadel auf die Platinenoberfläche [7]. Im Gegensatz zu der Druckluft-Extrusion wird bei der Spindel-Extrusion der für das Ausdrücken benötigte Druck auf den Kartuschenstopfen durch einen mechanisch verfahrbaren Stempel erzeugt. Da die Jetprint-Hardware vergleichsweise teuer sowie wartungsintensiv ist und keine Druckluft am bestehenden System verfügbar ist, wurde sich für die Spindel-Extrusion, als das einfachste und am besten zu integrierende Verfahren entschieden. Die dafür benötigte Mechanik und Software wurden im Rahmen des Projektes fertig entwickelt. Für die Untersuchung in dieser Arbeit wird eine Vorauswahl aus den am Markt befindlichen Lotpasten getroffen. Die Lotpasten unterscheiden sich in ihren Eigenschaften zum Teil erheblich und sind oft für eine spezielle Anwendung vorgesehen. Da es im Allgemeinen aufwendig ist, eine für seinen Prozess geeignete Lotpaste zu finden, ist es in der Industrie üblich „In-House-Tests“ mit der verschiedenen, potenziell geeigneten Lotpasten durchzuführen. Hierbei wird die Lotpaste bestimmt, die in Ihren Extrusions-, Bestückungs-, Verlöt- und Lagerungseigenschaften den Qualitätsansprüchen des Produzenten genügt [8]. Das Ziel dieser wissenschaftlichen Untersuchung ist es, eine Lotpaste zu bestimmen, welche sich hinsichtlich der Extrusions- und Verlöteigenschaften für den entwickelten Lotpasten-Extruder eignet. Dabei stehen die Bestückungs- und Lagerungseigenschaften nicht im Fokus dieser Untersuchung. Die Bewertung erfolgt anhand von fünf von uns ausgewählten Erfolgskriterien.

## **2. METHODEN**

### **2.1 Auswahl geeigneter Lotpasten**

Die Lotpaste besteht grundsätzlich aus dem Lotmetallpulver einer bestimmten Legierung sowie einem Flussmittel. Wichtige Auswahlkriterien der Lotpaste für die hier beschriebene Erweiterung sind: Legierung, Flussmittel, Partikelgröße, Metallmassegehalt, Kosten, Lagerbedingungen und Bleigehalt.

Am Markt sind zahlreiche Legierungen verfügbar. Im Wesentlichen gibt es bleihaltige und bleifreie Legierungen, sowie Legierungen für Niedertemperaturprozesse. Häufig findet die bleifreie und RoHS-Richtlinien konforme SAC305-Legierung in der Industrie Verwendung. Diese besteht typischerweise aus Sn96.5Ag3Cu, wobei es hier geringfügige Abweichungen gibt. Eine Beimengung von Blei ist nicht vorgesehen, womit die Lotpaste bleifrei ist und in der Industrie verwendet werden darf, weshalb die SAC305-Legierung eine attraktive Wahl für den Lotpasten-Extruder ist [9]. Dennoch gibt es eine Vielzahl weiterer Legierungen für verschiedene Applikationen. Das in der Lotpaste enthaltene Flussmittel erleichtert den Fließvorgang des Lotes, da es die Oberflächenspannung senkt. Außerdem vermindert das Flussmittel die Oxidation des Lotes in Kombination mit Sauerstoff und reduziert bestehende Oxidreste auf der Platinenoberfläche. Das Flussmittel verdampft bei dem Reflow-Prozess und hinterlässt bei der Verwendung von „No-Clean“-Qualität keine zu entfernenden Rückstände [10]. Die Klassifikation des Flussmittels erfolgt gemäß der IPC J-STD-004B und beschreibt die Flussmittelbasis, das Korrosionsverhalten der Flussmittelsrückstände sowie den Halogenidanteil. Die ausgewählten Flussmittel RELO und ROL0 erfüllen die „No-Clean“-Qualität, weshalb sich für diese Flussmittel entschieden wurde [11]. Lotpaste zum Extrudieren besteht zu ca. 85 Masseprozent aus Lotmetallpulver und zu ca. 15 Masseprozent aus Flussmittel. Durch die Dichteunterschiede der Materialien, setzt sich das Volumen hingegen zu jeweils ca. 50% Lotmetallpulver und ca. 50% Flussmittel zusammen. Die Partikelgröße bestimmt zusammen mit dem Durchmesser der Dosiernadel den kleinsten herstellbaren Lotpastenpunkt. Für eine Dosiernadel mit einem Durchmesser von 0,4 mm wird eine Partikelgröße von 25-45 µm empfohlen, um Verstopfungen zu vermeiden [12]. Für die Tests wurden drei Lotpasten mit unterschiedlichen Partikelgrößen und Preisniveaus ausgewählt.

<b>Produkt:</b>	<b>Super Fine-Pitch 6</b>	<b>Fine-Pitch 3</b>	<b>CHIPQUIK SAC305</b>
<b>Hersteller:</b>	Martin GmbH	Martin GmbH	Chip Quik
Legierung:	Sn96.5Ag3Cu	Sn95.5Ag4Cu	Sn96.5Ag3Cu0.5
Flussmittel:	ROL0	REL0	REL0
Partikelgröße:	5-15 µm	25-45 µm	25-45 µm
Metallgehalt:	85%	85%	87%
Kosten:	34€ netto	24€ netto	12€ netto
Haltbarkeit:	3 Monate	3 Monate	6 Monate
Kühlung:	Ja	Ja	Ja
Bleifrei:	Ja	Ja	Ja

Abbildung 1: Auswahl der zu testenden Lotpasten

## 2.2 Lotpasten-Extruder

Der Lotpasten-Extruder dient dazu die Lotpaste auf die Platine aufzubringen. Dieser besteht aus einer Vorrichtung, in die eine Standart 5 ccm Lotpastenkartusche eingesetzt wird. Über die Luer-Lock Verbindung der Kartusche wird eine konische Dosiernadel mit einem Durchmesser von 0,4 mm angebracht. Diese Vorrichtung befindet sich fest montiert an dem Arbeitskopf des Bestückungsautomaten, sodass sich die Kartusche in drei Dimensionen bewegen lässt. Auf diese Weise können beliebige Positionen auf der Platine erreicht werden. Außerdem steuert ein Schrittmotor eine 15 cm lange Spindel an, die den Stempel in die Kartusche fährt und somit die Lotpaste extrudiert. Die Software „LitePlacer“ steuert den Bestückungsautomaten und wurde um einige Funktionen zur Bedienung des Lotpasten-Extruders erweitert. Mit der Software wird der Auftragprozess sowie alle Parameter gesteuert. Der eingesetzte Schrittmotor hat einen Schrittwinkel von 1,8° und wird im 1/8-Mikroschrittbetrieb benutzt [13]. In Verbindung mit der Spindel, welche eine Steigung von 0,635 mm pro Umdrehung aufweist, beträgt die kleinste translatorische Distanz ca. 0,0004 mm. Die LitePlacer-Software unterstützt jedoch nur Bewegungen, welche größer als 0,001 mm sind. Folglich wird eine Extrusion erst bei einer kumulierten Extrusionsdistanz größer als 0,001 mm ausgelöst. Mehrere Vorversuche ergaben, dass es mit dieser Konfiguration möglich ist, ausreichend kleine Lotpastenmengen zu extrudieren.

## 2.3 Ablauf des Experimentes

Vor dem Extrudieren der Lotpaste werden vier Kalibrierungsschritte durchlaufen:

1. Einlesen der Padposition aus der „gbr“-Datei
2. Einmessen der Z-Position der Dosiernadel
3. Einmessen der XY-Position der Dosiernadel
4. Einmessen der XYA-Position der Platine

Der Benutzer liest zuerst die Padpositionen für den Lotpastenauftrag aus einer „gbr“-Datei in das Programm ein. Darauf folgt das Einmessen der Dosiernadel. Diese Schritte sind unabdingbar, da die Dosiernadel geringfügig schräg und unterschiedlich weit eingeschraubt werden kann. Daraus resultiert eine Abweichung, welche durch die Kalibrierung kompensiert wird. Mithilfe eines Tasters wird die Z-Position der Dosiernadel bestimmt. Vor der Vermessung der XY-Position werden 31 Lotpastenpunkte aufgetragen, damit sich der Fluss durch die Nadel entwickelt und sich die Auftragsmenge stabilisiert. Der 31. Lotpastenpunkt wird zur optischen Einmessung mit einer Kamera herangezogen. Hierdurch ist eine präzise Bestimmung der XY-Position der Dosiernadel möglich. Darüber hinaus muss die Position der Platine bestimmt werden. Dazu erfolgt die Einmessung von zwei Kalibrierungspunkten auf der Platine durch eine Kamera. Hiermit wird die XY-Position des Platinenursprungs, sowie eine mögliche Drehung der Platine um die A-Achse bestimmt.

Auf Basis von mehreren Vorversuchen sind geeignete Prozessparameter ermittelt worden. Folgende fünf Prozessparameter sind für die Versuchsdurchführung wie folgt definiert:

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Extrusions-Geschwindigkeit $c$ :   | 30 mm/s  |
| 2. Extrusions-Distanz $v$ des Stempels für einen Lotpastenpunkt:            | 0,002 mm |
| 3. Rückzugsdistanz $r$ des Stempels nach der Extrusion:                     | 0,2 mm   |
| 4. Abstand $a$ von der Dosiernadel zur Platine:                             | 0,4 mm   |
| 5. Verweilzeit $tv$ des Lotpasten-Extruders auf dem Pad nach der Extrusion: | 500 ms   |

Eine Benutzerinteraktion in der Software initiiert den automatischen Lotpastenauftrag. Im anschließenden Prozess fährt der Lotpastenextruder auf die XY-Position des ersten Pads. Danach fährt der Lotpastenextruder entlang der Z-Achse auf eine Z-Position, welche sich  $a$  mm über dem Pad befindet. Es startet der Extrusionsvorgang mit der Extrusions-Geschwindigkeit  $c$ , dabei wird der Stempel um die Distanz  $v$  vorgeschoben. Da der Fluss zeitlich verzögert eintritt, verweilt der Lotpastenextruder  $tv$  ms über dem Pad. Bevor der Lotpastenextruder entlang der Z-Achse angehoben wird, erfolgt ein Rückzug des Stempels um die Distanz  $r$ , um einen weiteren Fluss aus der Dosiernadel zu unterbinden. Im Folgenden werden alle Pads zyklisch nach diesem Vorgehen abgearbeitet.

Für die Durchführung werden Testplatinen mit den Maßen 40x40 mm und einer Dicke von 1,6 mm verwendet. Für den Test werden 0603-SMD-Footprints herangezogen. Auf diese Footprints wird mittels des zuvor beschriebenen Prozesses die Lotpaste aufgebracht. Nach dem Lotpastenauftrag werden die Platinen mit Bauteilen bestückt und im Reflow-Prozess verlötet. Im Fokus der Untersuchung stehen zum einen die Eigenschaften während des Extrusionsvorgangs und zum anderen die Qualität der fertigen Lötverbindungen. Um das Resultat zu verifizieren, wird die beste Lotpaste auf eine Platine mit einem BGA81-Footprint aufgetragen. Hierbei wird jedoch auf das Verlöten verzichtet, da ansonsten keine Untersuchung mit den gegebenen Ressourcen möglich wäre.

## 2.4 Bewertungskriterien

Diese Untersuchung zielt nicht darauf ab, die Eigenschaften der Lotpaste an sich zu bestimmen, sondern die Eigenschaften der Kombination von Lotpasten-Extruder und Lotpaste. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Mittel und Ressourcen erfolgt eine qualitative Bewertung der Zielerreichung durch die Expertise der durchführenden Personen. Zur Bewertung der Extrusions- und Verlöteigenschaften der Lotpaste werden fünf Bewertungskriterien festgelegt. Hierbei werden die Bewertungskriterien zum einen aus der Literatur abgeleitet und zum anderen für die in dieser Arbeit behandelte Konfiguration definiert [14].

Die folgenden Kriterien werden zur Bewertung der Extrusionseigenschaften herangezogen: Klebrigkeit, Viskosität und Steuerbarkeit. Die ersten beiden Kriterien, orientieren sich an der Literatur. Die Klebrigkeit definiert wie stark die Lotpaste an dem Pad anhaftet. Diese Eigenschaft ist relevant, da die Lotpaste nur zuverlässig aufgebracht werden kann, wenn diese ausreichend stark beim Zurückziehen der Dosiernadel an der Platine haftet. Die Viskosität ist ein Maß dafür, wie viel Kraft zur Extrusion der Lotpaste benötigt wird. Es ist eine Viskosität gesucht, bei welcher der Ausfluss mit geringer Kraft erfolgt. Als drittes Kriterium für die Extrusionseigenschaften wird die Steuerbarkeit definiert. Diese beschreibt die Steuerbarkeit des Flusses durch die Dosiernadel. Eine gute Steuerbarkeit ist gegeben, wenn der Fluss durch die Dosiernadel konstant ist. Hiermit lässt sich zuverlässig immer die gleiche Auftragsmenge extrudieren. Weiterhin sollte der Fluss nach dem Zurückziehen des Stempels innerhalb kürzester Zeit abnehmen.

Die Verlöteigenschaften werden anhand folgender Kriterien bewertet: Benetzungsfähigkeit und Satellitenbildung. Die Benetzungsfähigkeit beschreibt die Oberflächenspannung des Lotes. Eine niedrige Oberflächenspannung führt zu einem guten Fließen des Lotes auf dem Pad. Dies ist eine prinzipbedingte notwendige Eigenschaft, da nur runde Lotpastenmengen aufgetragen werden können. Dem Entgegen steht die Notwendigkeit einer hohen Oberflächenspannung, damit die Pins der Bauteile sicher mit Lotpaste umschlossen werden. Die für diese Erweiterung ideale Benetzungsfähigkeit, stellt ein Kompromiss aus diesen Zielgrößen dar. Da der Lotpasten-Extruder nicht immer die Pads zuverlässig mittig trifft, ist eine Lotpaste gesucht, welche nur eine geringe Satellitenbildung besitzt. Es kommt zur Satellitenbildung, wenn sich die Lotpaste zum Teil neben dem Pad befindet und sich während des Schmelzvorgangs eine Lotkugel vom dem eigentlichen Lotpastenpunkt abspaltet.

Die Bewertung der Versuchsergebnisse erfolgt auf Basis der Kriterien anhand qualitativer Maßstäbe. Zur Bewertung der Lotpasten wird eine Benotung mit einer Skala von 1 für sehr gut bis 6 für sehr schlecht herangezogen.

### 3. RESULTATE

Nach der erfolgreichen Durchführung des Versuchs wurden die Resultate, vor und nach dem Verlöten, mittels eines Mikroskops aufgezeichnet. Die verwendeten Lotpasten werden wie folgt bezeichnet: Super-FinePitch-6 (Lotpaste 1), FinePitch-3 (Lotpaste 2) und CHIPQUIK SMD291SNL (Lotpaste 3). Im Folgenden werden die Platinen anhand der Kriterien bewertet und die Ergebnisse anschließend in einer Tabelle zusammengefasst.

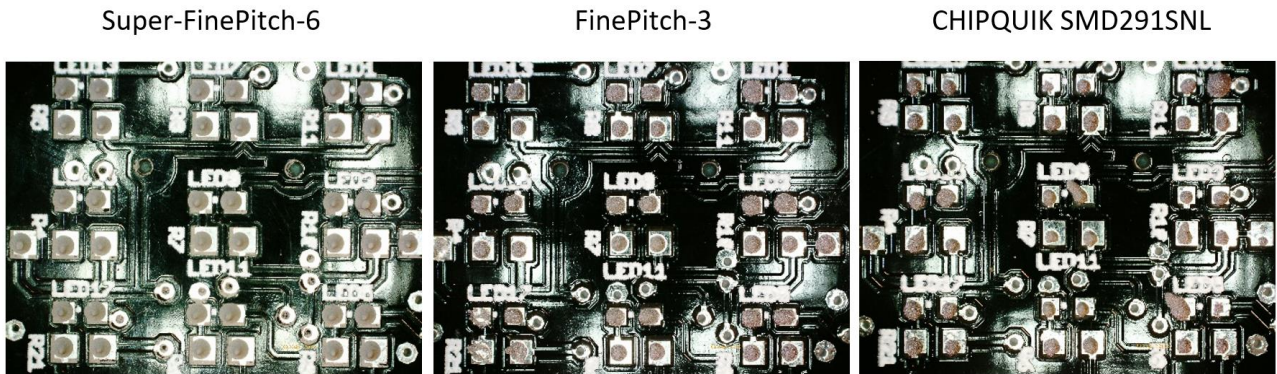


Abbildung 2: Platinen nach dem Extrusionsvorgang

Bezüglich der Klebrigkeit erhalten die Lotpasten 1 und 2 die Note eins, da die Klebrigkeit der Lotpasten sehr gut ist. Hingegen erhält Lotpaste 3 nur die Note vier. Hier war bei vielen Extrusionsvorgängen eine ausreichende Menge Lotpaste vorhanden, dennoch blieb sie nicht am Pad haften, stattdessen haftete erst beim folgenden Pad eine entsprechend größere Menge. Dies ist in Abbildung 2 im rechten Bild im unteren rechten Viertel erkennbar und wird auf eine große Menge Flussmittel an der Dosiernadel zurückgeführt. Die Viskosität der Lotpaste beim Extrusionsvorgang wurde von den durchführenden Personen von Hand getestet. Dabei wurde festgestellt, dass sich Lotpaste 1 besonders leicht extrudieren lässt. Die Lotpaste 2 ließ sich geringfügig schwerer extrudieren, aber dennoch gut. Die Lotpaste 3 ließ sich nur mit erheblichem Kraftaufwand extrudieren. Daher werden folgende Noten vergeben: Lotpaste 1: Note eins; Lotpaste 2: Note zwei; Lotpaste 3: Note fünf. Die Bewertung der Steuerbarkeit erfolgt zum einen aufgrund der Resultate in Abbildung 2 und zum anderen aus der Beobachtung des Extrusionsprozesses. Die Steuerbarkeit der Lotpaste 1 ist ausgezeichnet. Sobald die Kartusche mit dem Stempeldruck beaufschlagt wird, beginnt ein konstanter Fluss. Nach dem Zurückziehen des Stempels, wird der Durchfluss nahezu verzugslos unterbrochen. Diese Eigenschaft äußert sich in konstanten Auftragsmengen. Hingegen ist die Lotpaste 2 geringfügig schlechter, da bei dieser gewisse Unterschiede in den Auftragsmengen zu erkennen sind. Deshalb erhalten die Lotpaste 1 die Note eins und Lotpaste 2 die Note zwei. Die Lotpaste 3 hingegen ist nicht für die Verwendung mit dem Lotpasten-Extruder geeignet, da der Fluss nur unzureichend gesteuert werden kann. Dies wird damit begründet, dass nach dem Zurückziehen des Stempels der Fluss bis zu einer Minute konstant bleibt. In Verbindung mit der schlechten Klebrigkeit der Lotpaste 3 führt dies zu unterschiedlichen Auftragsmengen. Daher wird die Steuerbarkeit von Lotpaste 3 mit Note fünf bewertet.

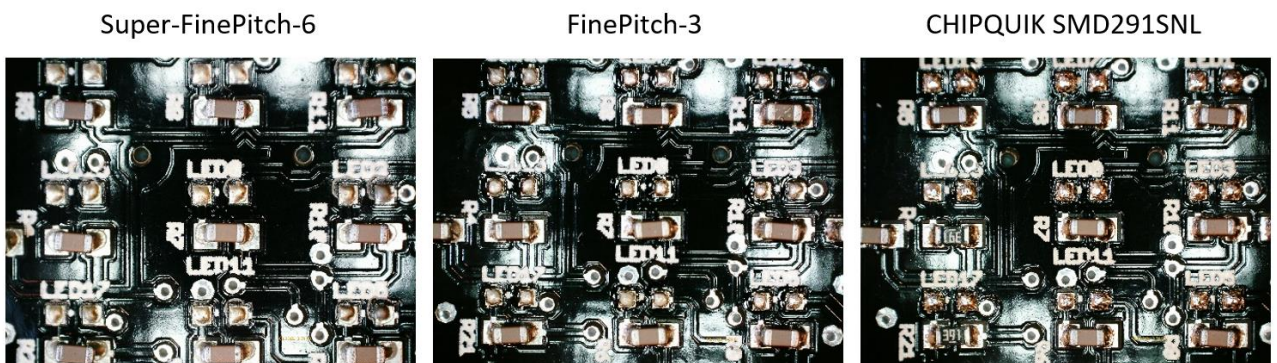


Abbildung 3: Platinen nach dem Reflow-Prozess



Die Benetzungsfähigkeit und Satellitenbildung werden nach dem Reflow-Prozess bewertet. Die Benetzungsfähigkeit der Lotpaste 2 bildet einen sehr guten Kompromiss aus dem Fließen des Lots und einer hohen Oberflächenspannung. In Abbildung 3 lässt sich die gleichmäßige Lotverteilung sowie die gut ausgefüllte Kante zwischen Pad und Bauteil erkennen. Somit erhält die Lotpaste 2 die Bewertung eins. Ebenso erfüllt Lotpaste 3 die Anforderungen, allerdings weist das verlötete Pad eine zerklüftete Oberfläche auf, weshalb die Note zwei vergeben wird. Die Lotpaste 1 hingegen, weist eine zu geringe Oberflächenspannung auf, da die Kanten zwischen Pad und Bauteil nicht vollkommen ausgefüllt werden. Die Fließeigenschaft ist jedoch hervorragend, wie in Abbildung 3 mittig bei dem Pad „LED8“ zu erkennen ist, weshalb die Note zwei vergeben wird. Die Lotpasten 2 und 3 weisen keine Satellitenbildung auf, weshalb diese mit der Note eins bewertet werden. Die Lotpaste 1 zeigt in Abbildung 3, mittig bei dem Pad „LED8“ einen zurück gebliebenen Rand. Dieser schließt sich nicht zu einer Lotkugel zusammen, weshalb hier keine Satellitenbildung vorliegt. Dennoch ist das Verhalten der Randbildung unerwünscht. Aus diesem Grund wird hier die Note zwei vergeben.

In der Abbildung 4 sind die Resultate der Extrusions- und Verlöteigenschaften zusammengefasst. Die Lotpaste 1 und 2 stellen mit jeweils einem Notendurchschnitt von 1,4 die beste Wahl in Verbindung mit dem Lotpasten-Extruder dar.

<b>Produkt:</b>	<b>Super Fine-Pitch 6</b>	<b>Fine-Pitch 3</b>	<b>CHIPQUIK SAC305</b>
Hersteller:	Martin GmbH	Martin GmbH	Chip Quik
<b>Extrusion</b>			
Klebrigkeit:	1	1	4
Viskosität:	1	2	5
Steuerbarkeit:	1	2	5
<b>Verlöten</b>			
Benetzungsfähigkeit	2	1	2
Satellitenbildung	2	1	1
<b>Ø-Gesamtnote:</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>3,4</b>

Abbildung 4: Resultate

Zur Verifizierung der Auswahl wird mit dem BGA81-Footprint ein deutlich anspruchsvollerer Footprint gewählt als die bisherigen 0603-Footprints. Da die Lotpasten 1 und 2 gleich gute Ergebnisse erzielen, wird die Lotpaste 1 ausgewählt, welche unter schwierigeren Extrusionsbedingungen bessere Ergebnisse erzielen sollte.

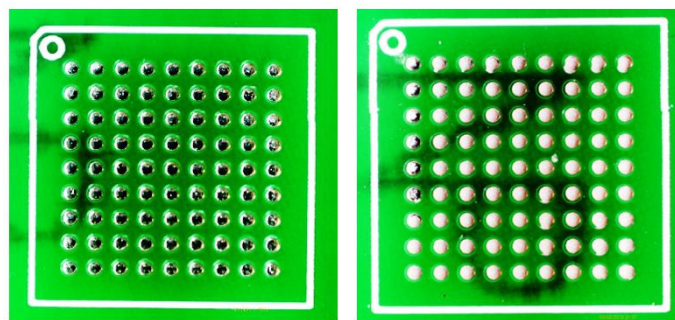


Abbildung 5: BGA81-Footprint ohne(links) und mit(rechts) Lotpaste

In der Abbildung 5 ist das Ergebnis dargestellt. Es ist zu beachten, dass die ersten sechs Pads aus Gründen der Vergleichbarkeit frei gelassen wurden. Das Gesamtergebnis ist sehr zufriedenstellend. Dies wird mit der hohen Positioniergenauigkeit und dem konstanten, gut steuerbarem Lotpastenauftrag begründet.

## 4. DISKUSSION

Die Lotpaste 1 eignet sich für den Auftragprozess bei besonders kleinen Pads. Dies liegt an der sehr guten Steuerbarkeit des Flusses und den weiteren Extrusionseigenschaften, die vermutlich deshalb so gut sind, weil die Partikel mit einer Größe von 5-15 µm verhältnismäßig klein sind. Ebenso scheint das Flussmittel ROL0 geringfügig bessere Eigenschaften für diese Anwendung zu haben. Mit 34€ Netto ist diese Lotpaste allerdings die teuerste im Vergleich. Die Empfehlung der Autoren lautet daher diese Lotpaste für besonders kleine Footprints wie den BGA81 oder TSSOP-28 zu verwenden. Bei den häufig verwendeten 0603-Footprints wird die Lotpaste 2 empfohlen, da diese bei größeren Bauteilen eine bessere Benetzungsfähigkeit besitzt. Dieses Verhalten rührt wahrscheinlich von der größeren Partikelgröße mit 25-45 µm her. Lotpaste 3 ist nicht für die Verwendung mit dem Lotpasten-Extruder zu empfehlen, da sich keine reproduzierbaren Ergebnisse erzielen lassen. Die schlechte Steuerbarkeit des Flusses von Lotpaste 3 liegt vermutlich an dem 2% höheren Metallgehalt im Vergleich zu Lotpaste 2. Weiterhin wird vermutet, dass die Partikel über eine schlechtere Oberflächengüte als bei Lotpaste 2 aufweisen, was zur Verkantung der Partikel in der Dosiernadel führt. Nur so ließe sich die hohe Flussmittelkonzentration an der Spitze der Dosiernadel erklären, welche zu der geringeren Klebrigkeit der Lotpaste 3 führt. Dies könnte im Zusammenhang mit dem niedrigen Preis von 12€ Netto stehen.

Die Ergebnisse in Abbildung 5 zeigen eindrucksvoll das Potential des Lotpasten-Extruders in Verbindung mit einer geeigneten Lotpaste. Während sich der Extruder gut zum Lotpastenauftrag auf 0603- oder BGA81-Footprints eignet, ist die Software nicht in der Lage auf unterschiedliche Dosiermengen einzugehen. Es wird im Wesentlichen eine Pad-spezifische Dosiermenge ausgewählt, welche im Prozess nicht verändert werden kann. Dadurch ist es nur möglich unterschiedlich große Pads in zwei separaten Durchgängen mit unterschiedlichen Mengen zu versehen. Weiterhin eignet sich der Extruder insbesondere für runde Pads oder nahezu quadratische Pads. Bei länglichen Pads wie bei dem TQFP100 ist ein Lotpastenauftrag ebenfalls möglich, jedoch werden lediglich ca. 30% der gesamten Padfläche mit Lotpaste versehen. An dieser Stelle wäre eine Programmerweiterung sinnvoll, welche einen Pfadfinde-Algorithmus, vergleichbar zu dem eines 3D-Druckers, implementiert. Somit kann auf unterschiedliche Geometrien Lotpaste aufgetragen werden. Zusätzlich zeigen sich beim TQFP 100 Limitationen auf. Das präzise Setzen eines Lotpastenpunktes auf ein Pad mit einer Breite von 0,35 mm stellt bezüglich der Dosiermenge und Positioniergenauigkeit eine Herausforderung dar. Hierfür sind in der Regel mehrere Auftragsversuche nötig.

In Abhängigkeit vom Platinenlayout müssen zum Teil mehrere hunderte Pads mit Lotpaste versehen werden. Dies führt dazu, dass der Auftragprozess eine Zeit von zehn Minuten oder mehr in Anspruch nimmt. In Verbindung mit der notwendigen Kalibrierung muss im Einzelfall geklärt werden, ob sich der automatische Lotpastenauftrag im Vergleich zum manuellen Lotpastenauftrag als wettbewerbsfähig herausstellt. Besonders lohnende Spezialfälle stellt der Lotpastenauftrag bei Kleinserien dar, wenn mehr als zwei oder drei Platinen hergestellt werden sollen. Ebenfalls lohnt sich der Lotpastenauftrag bei anspruchsvollen Footprints wie dem BGA81, TSSOP-28 oder TQFP-44 bei welchen das manuelle Schablonen-Verfahren an seine Grenzen stößt. Weiterhin ist der automatische Lotpastenauftrag bei Platinen mit weitestgehend gleicher Padgröße empfehlenswert, da hier die Software nicht umparametriert werden muss. Eine weitere denkbare Anwendung sind Reparaturen wie das BGA-Reballing auf bereits bestückten Platinen. Hier werden keine speziellen Schablonen mehr benötigt, ebenfalls wird auf den Anlötprozess der Reballing-Kugeln verzichtet.

Zusammenfassend stellt der Lotpasten-Extruder mit einer geeigneten Lotpaste eine sinnvolle Erweiterung zu dem LitePlacer dar. Zahlreiche Features wie bei den vergleichbaren Produkten Voltera oder Cirqroid werden ergänzt. Dennoch ist mit der Erweiterung nicht die Rohplatinenherstellung möglich. Allerdings wird der gesamte Bestückungs- und Lotpastenauftragsprozess effektiv auf dem LitePlacer abgebildet. Hiermit stellt der erweiterte LitePlacer eine kostengünstige Alternative zu den industriellen Platinenherstellungsautomaten dar. Dies gilt insbesondere für kleinere Unternehmen, welche nur geringe Anzahlen fertigen möchten.

## 5. REFERENZEN

- [1] Formlabs GmbH, „Leitfaden Rapid-Prototyping“, 12 Februar 2019, online unter: <https://formlabs.com/de/blog/leitfaden-rapid-prototyping/> [Stand: 12.02.2019].
- [2] Eurocircuits GmbH, „Herstellung einer Leiterplatte – Schritt für Schritt erklärt“, 12. Februar 2019, online unter: <https://www.eurocircuits.de/lehrfilme/> [Stand: 12.02.2019].
- [3] Voltera, „Printing circuit boards is easy“, 12 Februar 2019, online unter: <https://www.voltera.io/product/print/> [Stand: 12.02.2019].

- [4] Cirqoid, „Cirqoid - your PCB lab on your desk!“, 12 Februar 2019, online unter: <https://cirqoid.com/> [Stand: 12.02.2019].
- [5] LitePlacer, „The Prototyping Pick and Place Machine for Your Lab“, 12 Februar 2019, online unter: <https://www.liteplacer.com/> [Stand: 12.02.2019].
- [6] Coenen, N., „Lotpastenauftrag mit JetPrinting Technologie ermöglicht neue Möglichkeiten in der SMT-Fertigung“, MYDATA, S. 5 ff., online unter: <http://www.etfn.de/uploads/media/Mydata.pdf> [Stand: 12.02.2019].
- [7] Coenen, N., „Lotpastenauftrag mit JetPrinting Technologie ermöglicht neue Möglichkeiten in der SMT-Fertigung“, MYDATA, S. 3 ff., online unter: <http://www.etfn.de/uploads/media/Mydata.pdf> [Stand: 12.02.2019].
- [8] KOKI COMPANY LIMITED, „Allgemeine Information über Lotpaste“, S.9, (o.J.).
- [9] Aimsolder, SAC305 LEAD-FREE SOLDER ALLOY, 12 Februar 2019, online unter: [https://www.aimsolder.com/sites/default/files/alloy\\_sac305\\_tds.pdf](https://www.aimsolder.com/sites/default/files/alloy_sac305_tds.pdf) [Stand: 12.02.2019].
- [10] Graubner, N., „SMD-Reflow-Löten für Amateure“, Amateurfunkservice GmbH, S. 1 ff., (2009).
- [11] IPC J-STD-004B, „Requirements for Soldering Fluxes“, IPC, Bannockburn, (2004), online unter: <http://www.ipc.org/TOC/IPC-J-STD-004B.pdf> [Stand: 12.02.2019].
- [12] Martin SMT GmbH, „Datenblatt Super Fine-Pitch 6“, (2018).
- [13] Stepper Online, „Datenblatt Nema 11 Non-captive“, (2018), online unter: <https://www.omc-stepperonline.com/download/11LS13-04247-150N.pdf> [Stand 12.02.2019].
- [14] KOKI COMPANY LIMITED, „Allgemeine Information über Lotpaste“, S. 21 ff., (o.J.).
- [15] Booth, N. and Smith, A. S., [Infrared Detectors], Goodwin House Publishers, New York & Boston, 241-248 (1997).
- [16] Davis, A. R., Bush, C., Harvey, J. C. and Foley, M. F., "Fresnel lenses in rear projection displays," SID Int. Symp. Digest Tech. Papers 32(1), 934-937 (2001).
- [17] Van Derlofske, J. F., "Computer modeling of LED light pipe systems for uniform display illumination," Proc. SPIE 4445, 119-129 (2001).
- [18] Myhrvold, N., "Confessions of a cybershaman," Slate, 12 June 1997, <<http://www.slate.com/CriticalMass/97-06-12/CriticalMass.asp>> (19 October 1997). [www.optics4yurresearch.com/7752.html](http://www.optics4yurresearch.com/7752.html)
- [19] Jones, C. J., Director, Miscellaneous Optics Corporation, interview, Sept. 23 2011