

**Seho Systems GmbH**

**Emil Otto e. K.**

**Umweltfreundlicher, VOC-freier Weichlötprozess für die  
Elektronikfertigung**

Abschlussbericht über ein Forschungsprojekt

gefördert unter dem Az: 33318 / 01

von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Dr. Andreas Reinhardt (Seho)  
Dr. Sonja Wege (Seho)  
André Bremser (Emil Otto)

Kreuzwertheim, November 2017

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Ausgangssituation.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Aufgabenstellung des Projektes.....</b>	<b>3</b>
<b>4. Entwicklung und Qualifikation eines förderfähigen Flussmittelpulvers .....</b>	<b>4</b>
4.1. Modifikation und Optimierung der ausgewählten Pulvervarianten .....	4
4.2. Zusatz von UV-aktiven Stoffen zur Kontrolle der Pulververteilung .....	4
4.3. Herstellung eines förderfähigen Pulvers .....	7
4.4. Pulverqualifikation .....	9
4.5. Lieferform des serientauglichen Pulvers und Lagerbedingungen.....	10
4.6. Qualitätsvorgaben für das serientaugliche Pulver .....	10
4.7. Datenblatt für das serientaugliche Pulver .....	10
<b>5. Aufbau einer serienreifen Prozessanlage für das Plasmalöten .....</b>	<b>10</b>
5.1. Unterbrechungsfreie Pulverförderung.....	10
5.1.1. Erarbeitung möglicher Lösungen .....	12
5.1.2. Konstruktionslösungen zum Einbau in die Anlage .....	14
5.2. Steuerungstechnische Aufgaben.....	16
5.2.1. Regelkreis zur positionsgenauen Schaltung von Plasmaquelle und Pulverförderung.....	16
5.2.2. Messmethode zur In-Situ-Überwachung der Pulverförderung .....	17
5.3. Optische Inspektion .....	19
5.3.1. Erarbeitung von Lösungen für die optische Inspektion .....	19
5.3.2. Auswahl der Inspektionsmethode für den Serienbetrieb .....	23
5.4. Integration der Prozesszelle in eine Fertigungsanlage .....	23
<b>6. Begleitende Untersuchungen .....</b>	<b>26</b>
6.1. Beschichtungsversuche und Bewertung der Ergebnisse.....	26
6.1.1. Vorversuche zur Optimierung der Flussmittelmenge .....	26

6.1.2. Versuche an Leiterplatten und Baugruppen.....	30
6.2. Durchführung von Lötversuchen und Bewertung der Lötergebnisse .....	33
6.3. Überprüfung der Korrosivität der Rückstände .....	35
<b>7. Ökologische und ökonomische Bewertung des Verfahrens .....</b>	<b>36</b>
<b>8. Fazit der Untersuchungen .....</b>	<b>38</b>
<b>9. Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabenergebnisse .....</b>	<b>39</b>
<b>10. Literatur.....</b>	<b>39</b>

## 1. Einleitung

Der Anteil elektronischer Komponenten und Baugruppen nimmt in den High-Tech-Anwendungen, vor allem im Bereich der Automotive-Industrie, stetig zu. Durch den Trend mechanische Funktionen durch elektrische Funktionen zu ersetzen und durch die Erschließung neuer Anwendungsfelder, wie z. B. im Bereich der Hybrid- und Elektrofahrzeuge, ergeben sich neue Herausforderungen, was zu immer komplexeren Aufbauten der elektronischen Baugruppen führt.

Um Prozessschritte einzusparen ist man bestrebt die Baugruppen so zu konstruieren, dass sie unter Anwendung eines doppelseitigen Reflowprozesses produziert werden können. Allerdings lassen sich nicht alle Durchsteckbauteile durch SMD-Bauteile ersetzen oder im Pin-In-Paste-Prozess verarbeiten. Der stetig wachsende Markt der Leistungselektronik erfordert zunehmend den Einsatz von Leistungsbauteilen mit hohen Strömen und großem Wärmebedarf, die häufig nur in Durchstecktechnik verfügbar sind und mit großen Kupferflächen und Kupferschichtdicken der Leiterplatte verbunden werden müssen, um das erforderliche Wärmemanagement zu realisieren. Der Wellen- bzw. Selektivlötprozess nimmt deshalb nach wie vor einen hohen Stellenwert ein und gewinnt zunehmend wieder an Bedeutung.

Um eine Benetzung der Bauteil- und Leiterplattenoberflächen im Weichlötprozess und eine Verbindungsbildung zwischen dem Lot und den Anschlussflächen zu erreichen. Ist der Einsatz von lösemittelhaltigen Flussmitteln unumgänglich. Trotz eines gezielten Flussmittelauftrages im Wellen- bzw. Selektivlötprozess mittels Drop-Jet oder Sprühfluxer lassen sich Flussmittelrückstände auf den Baugruppen nicht vermeiden. Unter Feuchteeinwirkung kann es zur Bildung eines geschlossenen Feuchtigkeitsfilmes auf der Baugruppe und letztendlich zu Ausfällen durch eine lokale Absenkung des Oberflächenwiderstandes bzw. die Bildung von Kurzschlussbrücken durch Migrationsvorgänge kommen. Da die Baugruppen, bedingt durch die Einsatzorte, auch immer extremeren klimatischen Belastungen ausgesetzt werden, sind diese Rückstände bezüglich der Betriebszuverlässigkeit der Baugruppen als kritisch zu bewerten. Für zahlreiche Anwendungen, speziell im Automotivebereich, ist deshalb ein Reinigungsprozess zur Entfernung der Flussmittelrückstände unumgänglich.

Aus umwelttechnischen Gesichtspunkten wäre es zusätzlich erstrebenswert, den Verbrauch von Fluss- und Lösemittel möglichst einzuschränken. Folgende Gründe sind hier anzuführen:

- Das Lösemittel wird nach dem Auftrag über die Absaugung der Lötanlagen überwiegend an die Umwelt abgegeben. Durch eine Reduzierung kann ein erheblicher Beitrag zur Verringerung der VOC-Emission geleistet werden kann.
- Flussmittel gilt als Gefahrgut (Lagerklasse 3) und muss als „gefährlicher Abfall“ entsorgt werden.
- Bei Flussmitteln auf Alkoholbasis besteht eine hohe Brandgefahr. Zusätzliche Vorkehrungen beim Transport und bei der Lagerung sind deshalb zu beachten.

- Für die regelmäßige Reinigung der Transportbänder, des Lötrahmens und weiterer Maschinenteile ist eine größere Menge an Chemikalien bzw. Alkohol notwendig.
- Es gelten Ein- und Ausfuhrbeschränkungen beim Transport innerhalb Europas und auf internationaler Ebene.
- Flüssigkeiten stellen generell, durch die Gefahr des Ablaufens oder Wegfließens, ein erhöhtes Umweltrisiko dar.
- Freiwerdende Flussmitteldämpfe können gesundheitsschädlich sein.

Von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung wäre es deshalb, wenn ein Lötverfahren zur Verfügung stünde, das es ermöglicht, den Einsatz von lösemittelhaltigen Flussmitteln zu vermeiden oder erheblich zu reduzieren.

## 2. Ausgangssituation

Bereits in den 90er Jahren wurde nach Lösungen zur Vermeidung von Fluss- und Lösemitteln im Lötprozess gesucht. Eine flussmittelfreie Plasmalöttechnologie wurde damals entwickelt und erprobt /1, 2/, bei der vor dem Eintritt der Baugruppe in die Welle eine Behandlung im Niederdruckplasma erfolgte. Durch die verwendete Vakuumtechnik waren diese Anlagen allerdings bei eingeschränktem Durchsatz zu teuer, so dass sich diese Technik am Markt nicht durchsetzen konnte.

Erst in den letzten Jahren wurde die Plasmatechnologie in Verbindung mit Fertigungsprozessen in der Elektronik wieder aufgegriffen. Der Schwerpunkt lag hier vor allem in der Plasmareinigung von Oberflächen zur Verbesserung des Benetzungsverhaltens. In /3/ wird z. B. eine kombinierte Plasma-Vakuumanlage beschrieben, bei der das Plasma zu einer Vorkonditionierung der zu lötenden Oberflächen herangezogen wird. Der Lötprozess selbst läuft standardmäßig, d.h. unter Zusatz lösemittelhaltiger Flussmittel, ab.

Die Thematik der Plasmatechnologie wurde in einem Forschungsprojekt /4/, finanziert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie über das Förderprogramm Mikrosystemtechnik, wieder aufgegriffen. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem ein lösemittelfreier Flussmittelauftrag auf elektronische Baugruppen möglich ist. Der Auftrag des Flussmittels in Pulverform erfolgt dabei über ein Atmosphärendruck-Plasmasystem /5/, bei dem das Pulver über einen Bürstendispergierer dem Plasmastrom zugeführt wird /6/.

Die im Rahmen des Projektes erzielten Ergebnisse haben aufgezeigt, dass sich das Verfahren grundsätzlich als Alternative zum Standard-Flussmittelprozess eignet. Allerdings war für die Realisierung eines bedenkenlosen Einsatzes in der Serienproduktion eine Weiterentwicklung des Prozesses notwendig. Entwicklungsbedarf bestand hier bei der Anlage selbst, sowie bei der Herstellung und Aufbereitung des Flussmittelpulvers.

### 3. Aufgabenstellung des Projektes

Ausgehend von den Ergebnissen des abgeschlossenen Projektes ergaben sich somit folgende Aufgaben für die Realisierung eines serientauglichen, VOC-freien Lötprozesses:

- Entwicklung eines förderfähigen Flussmittelpulvers
- Konstruktion einer Vorrichtung zur Realisierung eines vollautomatischen Kartuschenwechsels / anderes Verfahren
- Aufbau eines Regelkreises zum positionsgenauen Schalten von Plasmaquelle und Pulverförderung
- Entwicklung einer Messmethode zur In-Situ-Überwachung der Pulverförderung (Pulvermenge)
- Realisierung eines optischen Inspektionssystems zur Überprüfung der Pulverbelegung
- Konstruktion einer Inline-fähigen Prozesszelle zur Integration in bestehende und neue Fertigungsanlagen

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse des abgeschlossenen Projektes und die geplanten Ergebnisse dieses Projektes nochmals gegenübergestellt.

<p style="text-align: center;"><b>Ergebnisse des abgeschlossenen Projektes</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Geplante Ergebnisse dieses Projektes</b></p>
<p><b><i>Prozessanlage:</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachweis der Eignung des Plasmadustverfahrens zum Auftrag von Flussmittel in Pulverform</li> <li>• Nachweis der grundsätzlichen Eignung des Verfahrens als Alternative zum Standard-Lötprozess</li> <li>• Prototypaufbau - Reproduzierbarkeit und Serientauglichkeit nicht nachgewiesen!</li> </ul>	<p><b><i>Prozessanlage:</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterentwicklung und Optimierung des Verfahrens bis zur Serienreife</li> <li>• Bereitstellung einer serienreifen Wellenlötanlage mit eingebautem Flussmittel-Plasma-Modul</li> </ul>
<p><b><i>Pulverbereitstellung und Pulverförderung:</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• grobkörniges Ausgangsmaterial</li> <li>• portionsweises Mahlen mit einer Analysemühle und manuelles Abfüllen in Kartuschen</li> <li>• Kartuschenwechsel nach 2 Std. Betrieb notwendig</li> </ul>	<p><b><i>Pulverbereitstellung und Pulverförderung:</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung eines feinkörnigen, homogenen Pulvers in einem geeigneten Pulverbehälter (direkt verarbeitbar)</li> <li>• vollautomatische, unterbrechungsfreie Pulverförderung</li> </ul>

<b>Pulverauftrag:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• manuelles Ein-/Ausschalten der Pulverzufuhr</li><li>• keine Überwachung der Pulverförderung</li><li>• optische Kontrolle der Pulververteilung auf der Probe (außerhalb der Anlage)</li></ul>	<b>Pulverauftrag:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Regelkreis Plasmaquelle / Pulverförderung</li><li>• In-Situ-Überwachung der Pulverförderung</li><li>• integriertes Inspektionssystem zur Kontrolle der Pulverbelegung</li></ul>
--	---

## 4. Entwicklung und Qualifikation eines förderfähigen Flussmittelpulvers

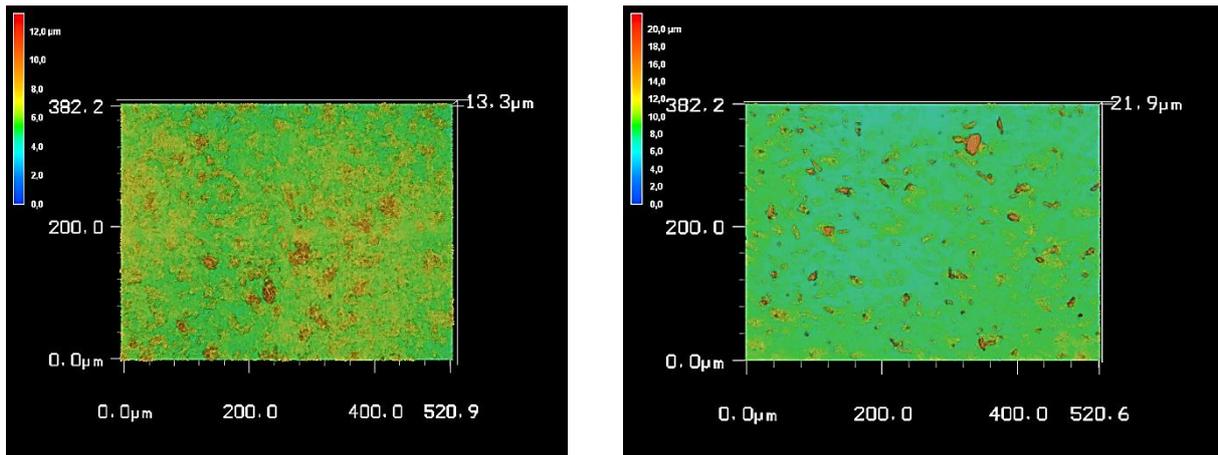
### 4.1. Modifikation und Optimierung der ausgewählten Pulvervarianten

Die Auswahl der Pulvervarianten erfolgte auf der Basis der Ergebnisse, die im Vorprojekt /4/ erarbeitet wurden. Die Adipinsäure dient generell als Basis für die Mischungen. Zugewetzt werden Carbon- und Dicarbonsäuren mit und ohne Harzadditive, die einen unterschiedlichen Schmelzbereich sowie eine unterschiedliche Aktivität aufweisen, sowie weitere Hilfsstoffe. Alle hergestellten Mischungen sind Halogen- und halogenidfrei sowie WEEE- und RoHS-konform und enthalten keine Stoffe nach der REACH/SVHC-Liste.

Nach der Herstellung weiterer Pulvermodifikationen und Überprüfung der Eigenschaften (vgl. Kap. 4.4) fiel die Wahl letztlich auf die Pulvervariante 50.25 mit Harzadditiv, einem Schmelzbereich von 130 - 155 °C und einer Aktivitätszahl von  $660 \pm 5$  mg KOH/g (vgl. Kap. 4.7). Zusätzlich hat sich herausgestellt, dass sich auch das reine Adipinsäurepulver sehr gut für den Plasmaprozess eignet.

### 4.2. Zusatz von UV-aktiven Stoffen zur Kontrolle der Pulververteilung

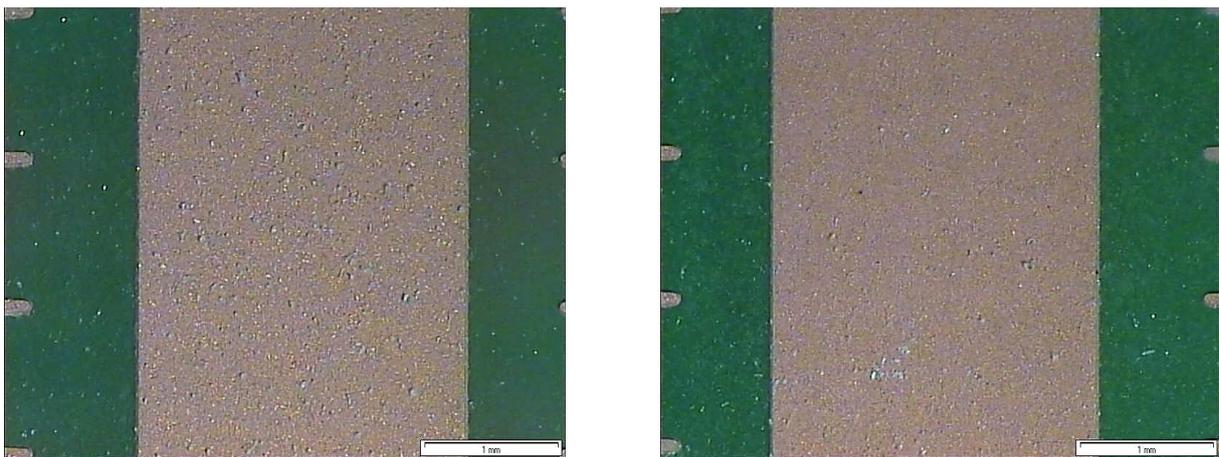
Zur Gewährleistung der Prozesssicherheit ist eine ausreichende Flussmittelmenge und eine homogene Verteilung des Pulvers im Bereich der zu verlöteten Stellen Voraussetzung. Im Rahmen der Verfahrensentwicklung erfolgte die Kontrolle des Pulverauftrages unter Verwendung eines Makroskopes bzw. Laserscanning-Mikroskopes. Mit dem Laser-Scanning-Mikroskop sind durch die farbliche Darstellung die Bereiche ohne und mit Partikelbelegung gut zu unterscheiden. Zusätzlich können auch Rückschlüsse auf die Partikelgröße gezogen werden. Abb. 1 zeigt als Beispiel eine Probe, bei der nicht beschichtete Bereiche (bläulich) neben Bereichen mit fein verteilten Partikeln (grünlich) vorliegen, sowie vereinzelt, grobe Partikel, die bräunlich erscheinen, zu sehen sind.



*Abb. 1: Belegung der Oberfläche bei unterschiedlichen Beschichtungsparametern (Verwendung eines Laserscanning-Mikroskopes)*

Diese Methode ist allerdings sehr aufwendig und deshalb für eine kontinuierliche Prozesskontrolle in der Serienfertigung nicht praktikabel. Bei der Verwendung eines Makroskopes, welches bei den meisten Firmen für eine optische Lötstellenkontrolle zur Verfügung steht und deshalb einfach zu handhaben ist, ist der Kontrast nicht ausreichend, um eine zuverlässige Bewertung der Oberflächenbelegung mit dem Flussmittelpulver zu erreichen (Abb. 2).

Ausgehend von den Erfahrungen bei Emil Otto mit dem Zusatz von UV-Additiven zu Flussmitteln bzw. Flussmittelpasten, um Flussmittelrückstände besser sichtbar zu machen, entstand die Idee diesen Effekt auch bei den Flussmittelpulvern zu nutzen. Da sich das von fluoreszierenden Farbstoffen emittierte Licht relativ einfach nachweisen lässt bestand hier die Vorstellung mit dem Zusatz der Additive zum Pulver eine Verbesserung der Inspektionsmöglichkeiten von beschichteten Baugruppen zu erreichen.

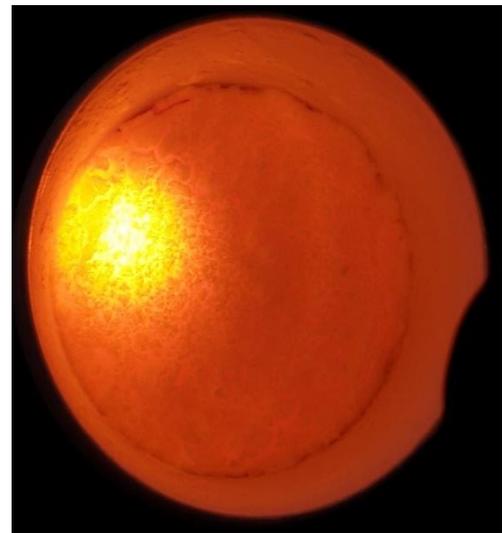


*Abb. 2: Belegung der Oberfläche bei unterschiedlichen Beschichtungsparametern (Verwendung eines Makroskopes)*

Ausgangsbasis für die Versuche bildete das Adipinsäurepulver. Es wurden etliche Versuchsreihen mit unterschiedlichsten Varianten durchgeführt. Nach Auswertung der Ergebnisse erfolgte eine Auswahl von Zusatzstoffen, die sich am vielversprechensten erwiesen. Die Wahl fiel auf folgende Stoffe:

- Sulphonamid-Melamin-Paraformaldehyd-Duromer-Harz
- Glycofuril- Sulphonamid-Paraformaldehyd-Thermoplast-Harz
- Polyamid-Ester-Thermoplast-Harz.

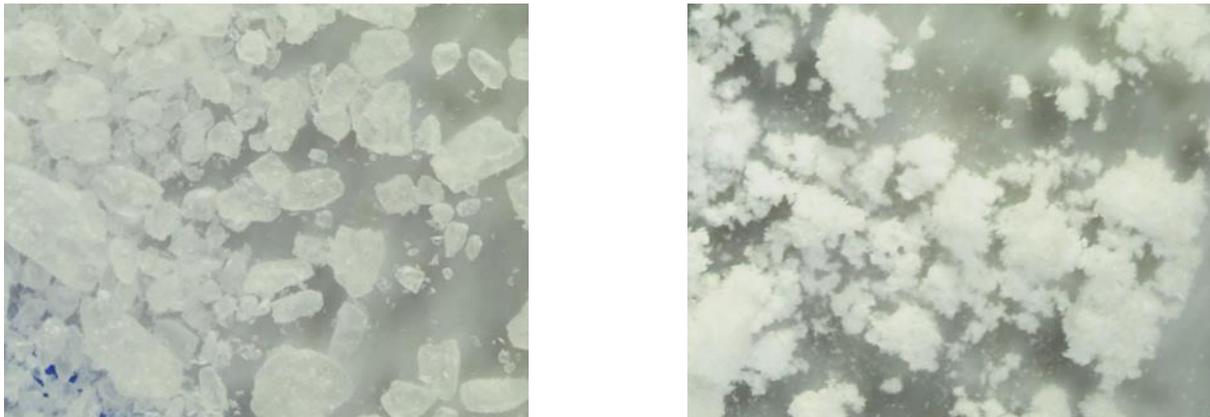
Durch die Zusatzstoffe verändert das sonst weiße Pulver seine Farbe und unter Bestrahlung mit UV-Licht (z.B. mit einer UV-LED-Leuchte) entwickelt das Pulver im Ausgangszustand eine intensive Leuchtkraft (Abb. 3).



*Abb. 3: Adipinsäurepulver mit Zusatzstoffen – ohne und mit Beleuchtung*

### 4.3. Herstellung eines förderfähigen Pulvers

Adipinsäure in Pulverform weist im Ausgangszustand eine inhomogene Teilchenstruktur mit teils sehr groben Partikeln auf. In dieser Konfiguration ist eine gleichmäßige Pulverförderung mit dem Bürstendispersierer (vgl. Kap. 5.1) nicht zu erreichen. Das Pulver muss deshalb in eine Form gebracht werden, die für eine reibungslose Förderung mit dem Dispersierer geeignet ist. Für die ersten Versuche kam eine Analysenmühle zum Einsatz, um den nötigen Feinheitsgrad des Pulvers herzustellen (Abb. 4).



*Abb. 4: Adipinsäure-Pulver im Ausgangszustand (links), gemahlenes Adipinsäure-Pulver (rechts) – Vergrößerung 50 x*

Für die Erzeugung eines serientauglichen Pulvers in größeren Mengen ist eine Analysenmühle natürlich ungeeignet. Deshalb wurde von Emil Otto eine Kugelmühle beschafft (Abb. 5). Sie besteht aus einer horizontal gelagerten Trommel als Mahlraum. Die Trommel wird mit dem Mahlgut und Mahlkörpern gefüllt und in Rotation versetzt, wodurch das Mahlgut zerkleinert wird. Durch eine Optimierung der Drehzahl kann die gewünschte Feinheit und Homogenität des Pulvers eingestellt werden.



*Abb. 5: Kugelmühle zur Vorbereitung der Pulvermischung*

Voraussetzung für die reibungslose Pulverförderung ist, dass die Adipinsäure bzw. das Flussmittelpulver in feingemahlener Form nicht klumpt oder zu Klumpenbildung neigt. Zusätzlich haben die Beschichtungsversuche (vgl. Kap. 6.1) aufgezeigt, dass ein möglichst feines Pulver notwendig ist, um ein vollständiges Aufschmelzen der Partikel in der Plasmaflamme zu erreichen. Dies bedeutet, je feiner die Pulvermischung, desto größer ist die Oberfläche und umso stabiler ist der Prozess.

Die Aufgabe bestand nun darin die Kugelmühle zu erproben und die optimalen Parameter einzustellen. Hauptaufgabe war die optimale Kugelzusammenstellung zu finden, die es möglich macht, homogenes Pulver und Pulvermischungen zu erzeugen. Die beschaffte Kugelmühle erfüllte zunächst nicht die gestellten Anforderungen und es mussten erhebliche Anpassungen vorgenommen werden, bis eine optimale Mahlkugelumstellung (vgl. Abb. 6) gefunden wurde.



Abb. 6: Mahlkugeln unterschiedlicher Durchmesser aus spezialgehärtetem Porzellan

Insgesamt waren ca. 500 Mahlversuche mit der Adipinsäure und dem Flux-Powder notwendig, um eine homogene Teilchen-Mischgröße von 30 – 60  $\mu\text{m}$  (ca. 200 – 300 Mesh) zu erhalten. Die Adipinsäure und das Flux-Powder kann nun kontinuierlich und homogen mit einer Teilchengröße  $<65 \mu\text{m}$  (ca. 200 Mesh) produziert werden. Somit wurde das gesetzte Ziel erreicht.

Tabelle 1: Mahlkugelumstellung in Abhängigkeit der Topf-Größe

Kugeln	Ø 12 mm	Ø 20 mm	Ø 25 mm	Ø 30 mm	Ø 40 mm
Lg. Nr.	26.812	26.820	26.825	26.830	26.840
3 Ltr.-Topf	0,8	1,5	-	0,8	-
15 Ltr.-Topf	-	3,5*	4,0	4,0	3,5

In Tabelle 1 sind die jeweiligen Mahlkugeldurchmesser ersichtlich, die für eine optimierte Vermahlung notwendig sind.

Die Fertigung des Pulvers wird entsprechend nach folgenden Prozessschritten durchgeführt:

1. Wareneingangskontrolle der Rohstoffe, es dürfen nur Rohstoffe in „reinst“-Qualität eingesetzt werden, um Verunreinigungen zu vermeiden.
2. Optimierte Mahlkugelumstellung verwenden
3. Pulver oder Pulvermischung nach Rezeptur einwiegen
4. Durch Versuche ermittelte Prozessbedingungen einstellen.
5. Mahlverfahren starten.

6. Nach beendetem Vorgang erfolgt die Freigabekontrolle (Laborkontrolle: Qualitative Analyse und Mikroskopische Untersuchungen)
7. Abfüllung erfolgt über einen speziellen Filter, damit das homogene Mahlgut von den Mahlkugeln getrennt wird.
8. Das Mahlgut wird in einen Kunststoff-Hobbock, der auch gleichzeitig als Lagerbehältnis dient abgefüllt.
9. Aus diesem Behälter wird die gewünschte Anwendungsverpackung (Transport- und Anlagenbehälter, auch kundenspezifisch) abgefüllt

In Abb. 7 ist der Ausgangszustand des Pulvers nach Wareneingangskontrolle zu sehen (links), nach dem Mahlvorgang (rechts) besitzt das Pulver ein mit Puderzucker vergleichbare Konsistenz.

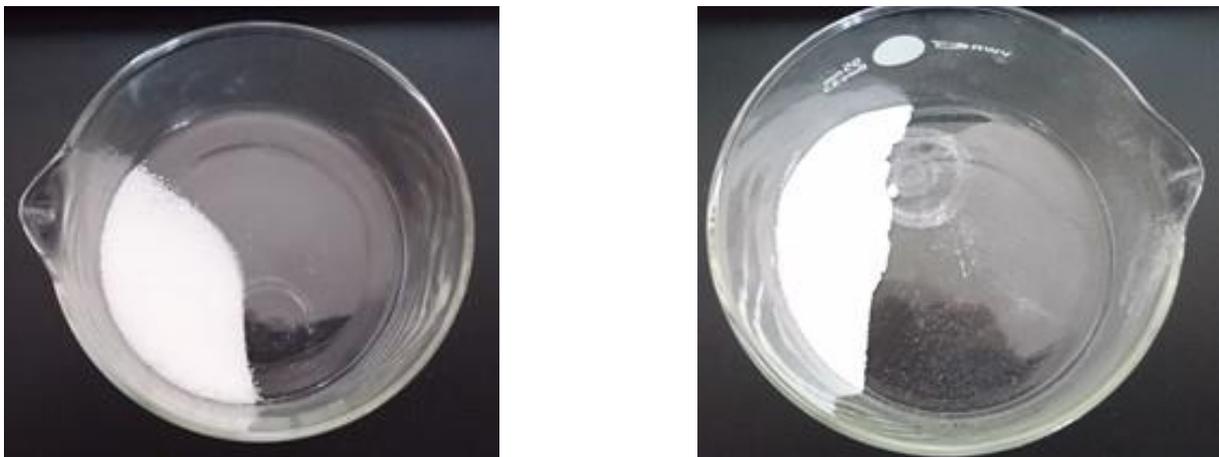


Abb. 7: Vergleich eines Pulvers vor (links) und nach (rechts) dem Mahlprozess

#### 4.4. Pulverqualifikation

Für die Abfüll- und Lagerbedingungen müssen folgende Umgebungsbedingungen vorliegen, damit die Pulvermischung lagerstabil ist (keine Klumpenbildung):

- Raumtemperatur
- geringe Feuchtigkeit (<40% Luftfeuchtigkeit)

Für die Erprobung und Auswahl einer geeigneten Pulvermischung wurden folgende Eigenschaften überprüft und bewertet:

- Handling (Fließ- und Verarbeitungsverhalten),
- Mahlen des Pulvers (Schmierverhalten und Neigung zum Agglomerieren),
- Pulverförderung (Förderverhalten im Luftstrom),
- Pulververteilung (Partikelgröße, Gleichmäßigkeit)
- Wellenlöten (Beurteilung von Lotbenetzung und Lotdurchstieg, vgl. Kap. 6.2)
- Korrosivität der Rückstände (SIR-Tests, vgl. Kap. 6.3)
- Homogenität (qualitative Analyse, Säurezahlbestimmung, Schmelzpunkt bzw. Schmelzbereich)

#### 4.5. Lieferform des serientauglichen Pulvers und Lagerbedingungen

Das für den Serienprozess verwendbare Flussmittelpulver wird nun in einem luftdicht verschlossenen Kunststoffbehälter mit einem Fassungsvermögen bis zu 2,0 Liter geliefert (vgl. Abb. 8). Dieses Fassungsvermögen ist ausreichend für einen mehrstündigen Betrieb und die Handhabung sowie Lagerung der Behälter ist einfach möglich.



Abb. 8: Weithalsrunddosen (Quelle: Heinz Gero Duhme GmbH)

Die Behälter können ohne besondere Vorkehrungen unter normalen Umgebungsbedingungen gelagert werden. Zur Adaption des Behälters auf dem Einfüllstutzen (vgl. Kap. 5.1.2) ist darauf zu achten, dass der Behälter direkt nach dem Öffnen auf dem Adapter montiert wird, um die Absorption von Luftfeuchte zu vermeiden.

#### 4.6. Qualitätsvorgaben für das serientaugliche Pulver

Die Qualifikation des marktfähigen Pulvers erfolgte unter der Verwendung von Standards, die auch für die Klassifizierung von Standardflussmitteln in flüssiger Form herangezogen werden. Dazu gehören neben der J-STD-004 /12/ die DIN EN 61190-1-1 /13/ und die ISO 9454 /14/. Neben dem SIR-Test (vgl. Kap. 6.3) wird ein Kupferspiegeltest, Silberchromatetest und eine Korrosionsprüfung durchgeführt, sowie der Halogenidgehalt bestimmt. Das Flux Powder kann nach /13/ als LO und nach /14/ als 2.2.3 B eingestuft werden (vgl. Anhang II).

#### 4.7. Datenblatt für das serientaugliche Pulver

Für das Adipinsäure-Pulver und das Flux Powder 50.25 wurde je ein Datenblatt erstellt (s. Anhang I und II).

### 5. Aufbau einer serienreifen Prozessanlage für das Plasmalöten

#### 5.1. Unterbrechungsfreie Pulverförderung

Das Prinzip des Plasmalötverfahrens ist schematisch in Abb. 9 dargestellt. Durch eine Hochspannungsentladung wird in der Plasmadüse ein gepulster Lichtbogen erzeugt. Dieser ionisiert das Trägergas, hier Stickstoff, so dass es in die Plasmaphase übertritt.

In das austretende Plasma wird ein Aerosol aus Stickstoff und Flussmittelpulver eingesprüht. Das Zerstäuben des Flussmittelpulvers übernimmt ein Pulverdispersierger. Die Pulverpartikel werden durch den Plasmastrahl aufgeschmolzen und in Richtung der Leiterplatte beschleunigt und dort an der Oberfläche abgeschieden.

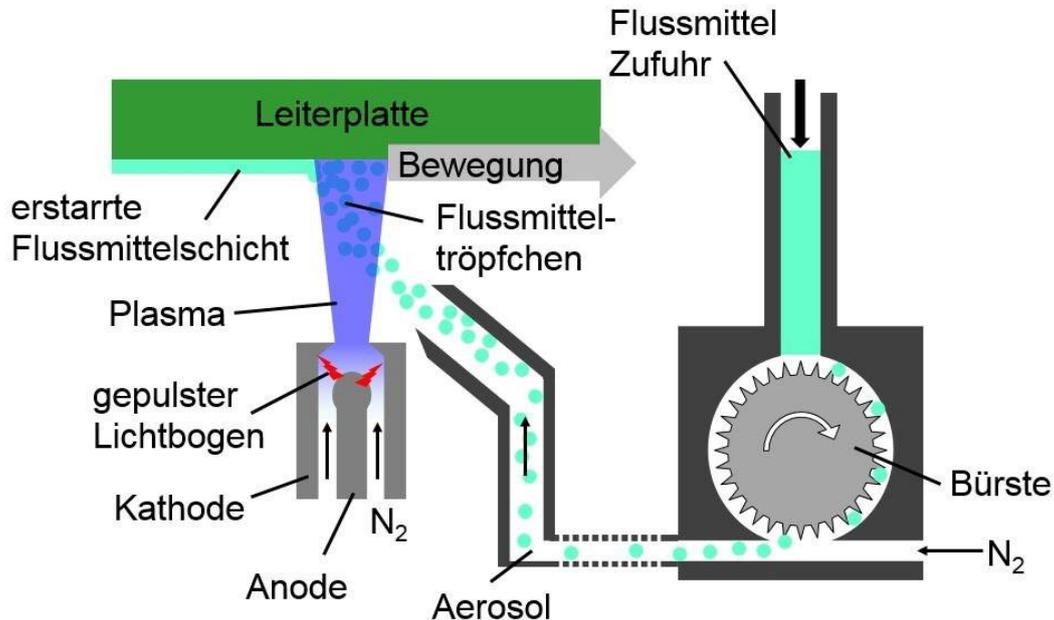
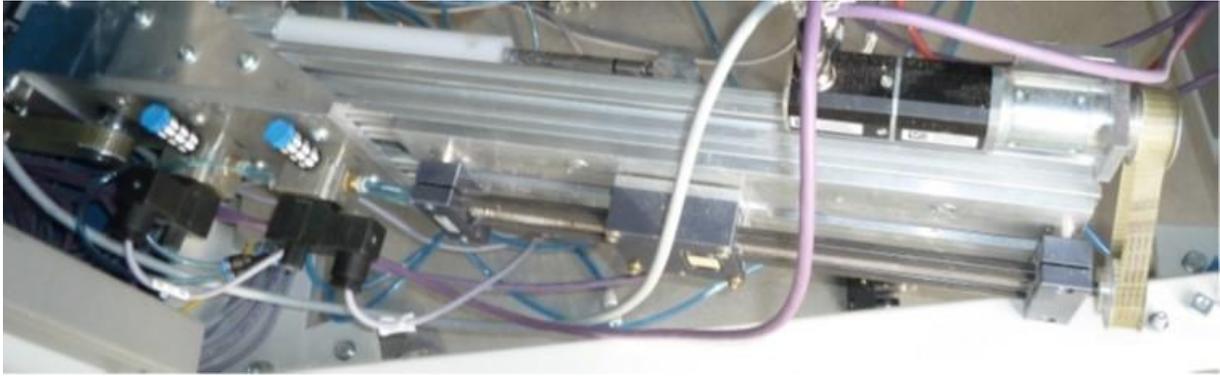


Abb. 9: Schematische Darstellung des Verfahrensprinzips mit Plasmadüse, Bürstendispersierger und Leiterplatte

In der bisherigen Lösung (Abb. 10) wurde als Flussmittelbehälter ein Kunststoffrohr benutzt, in das eine endliche Menge Flussmittelpulver in verdichteter Form enthalten ist. Das Fassungsvermögen des Kunststoffrohres liegt bei 20 g bzw. 30 ml. Der Flussmittelbehälter wird über einen Flansch an den Bürstendispersierger angesteckt. Ein auf einer Linearachse befestigter Metallstab (Abb. 11) drückt das Flussmittelpulver aus dem Flussmittelbehälter in den Dispersierger. Dort wird das Flussmittel von einer Bürste zerstäubt und durch einen Stickstoffstrom mitgerissen. In der Prototypen-Anlage waren der Bürstendispersierger und der Flussmittelbehälter nicht fest in die Anlage integriert.

Bei einer reinen Beschichtung mit dem Rohr reicht die vorhandene Pulvermenge für eine Betriebsdauer von 10 Minuten. Die Beschichtungsdauer pro Leiterplatte beträgt dabei ca. 30 Sekunden, so dass mit einer Rohrfüllung 20 Baugruppen beschichtet werden können bis das mit Flussmittelpulver gefüllte Kunststoffrohr ausgetauscht werden. Dieser notwendige, häufige Wechsel der Rohre ist für einen Serienbetrieb nicht akzeptabel, so dass hier eine andere Methode der Pulverzufuhr, zur Minimierung der Prozesszeiten, unumgänglich ist. Erforderlich ist deshalb eine erhebliche Verlängerung der Betriebsdauer bis zum Austausch des Pulverbehälters oder als optimale Lösung eine unterbrechungsfreie Pulverförderung.



*Abb. 10: Flussmittelzufuhr bestehend aus Bürstendispersierer, Flussmittelbehälter und Flussmittelvorschub (nicht unterbrechungsfrei)*



*Abb. 11: Detailaufnahme Flussmittelbehälter (links) mit Pulvervorschub*

#### 5.1.1. Erarbeitung möglicher Lösungen

Für die Lieferform eines serientauglichen Pulvers hat sich ein luftdicht verschlossener Kunststoffbehälter mit einem Fassungsvermögen bis zu 2,0 Liter als am geeignetsten erwiesen (vgl. Kap. 4.5). Diese Pulvermenge ist nun ausreichend für eine Betriebsdauer von 10 Stunden. In dieser Zeit können bis zu 1300 Baugruppen beschichtet werden.

Nun galt es Lösungen für die Pulverförderung zu erarbeiten. In ersten Überlegungen wurde eine direkte Förderung des Pulvers aus dem Behälter zum Dispersierer in Erwägung gezogen. Als erstes Problem zeigte sich, dass das Adipinsäurepulver nach Öffnung des Behälters unter Umgebungsluft relativ schnell zum Verklumpen neigt. Somit war zunächst das Ziel Möglichkeiten zu finden, um die Rieselfähigkeit des Pulvers während des Fördervorganges erhalten zu können. Erste Versuche erfolgten unter Verwendung einer Ultraschallanregung. Dazu wurde das Pulver in ein Ultraschallbad gefüllt (Abb. 12). Hier zeigte sich allerdings, dass die Ultraschalleinkopplung in das Pulver zu gering ist und eine Wirkung nur lokal an der Wannenwand erreicht wird.



Abb. 12: Ultraschallbad mit Pulverfüllung

In zahlreichen Anwendungsbereichen erweisen sich Vakuumförderer /7/ für die Förderung von Pulver als besonders geeignet. Der Antrieb erfolgt über Druckluft. Die Erprobung dieser Methode erfolgte zunächst im Labormaßstab. Dazu wurde ein Becherglas mit Pulver gefüllt. Über dem Behälter wurde eine Vorrichtung mit einem Saugröhrchen, eine Pumpe und einem Druckluftanschluss montiert (Abb. 13).

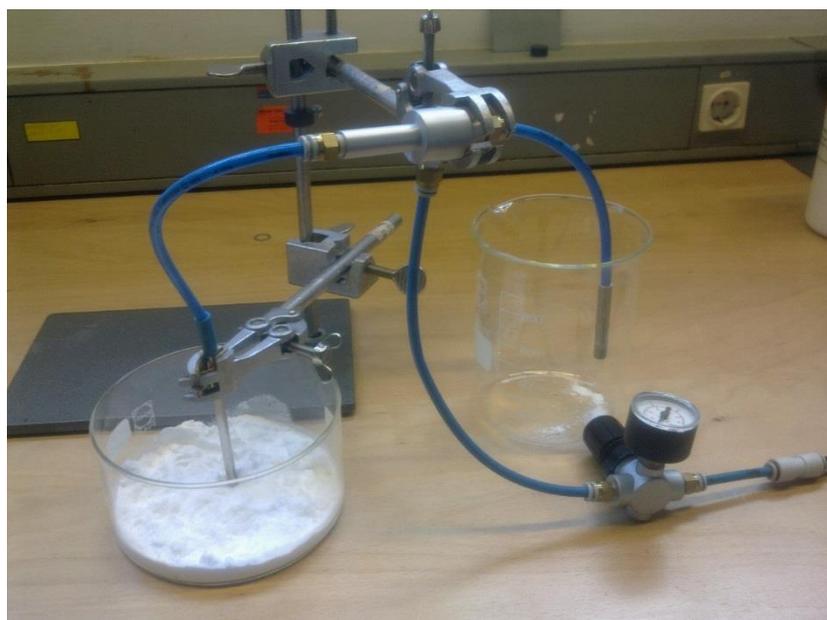


Abb. 13: Vorrichtung zur Erprobung der Vakuumförderung des Pulvers

Hier stellt sich heraus, dass mit der gewählten Anordnung die Fördermenge zu groß ist und als Folge eine ungleichmäßige Förderung des Pulvers erfolgt. Weiterhin neigt das Saugröhrchen zum Verstopfen. Um die Fördermenge zu reduzieren wurde anstelle des Saugröhrchens eine Dosiernadel angebracht. Diese Variante erwies sich jedoch als noch ungeeigneter, da es zu einer sehr schnellen Verstopfung der Dosiernadel kommt. In einem weiteren Schritt wurde nun versucht die Verklumpung des Pul-

vers durch eine zusätzliche Vibrationsanregung (Abb. 14) während der Vakuumpföderung zu vermeiden. Bei einer niederfrequenten Anregung kommt es zu einer Kugelbildung an der Pulveroberfläche. Bei einer Anregung mit höherer Frequenz (40 KHz) konnte ebenfalls kein brauchbares Ergebnis erzielt werden, da es zu einer Überhitzung der Sonotrode und damit zu einer Beeinflussung der Pulverkonsistenz kam.



*Abb. 14: Vorrichtung zur Erprobung der Pulverförderung mit US-Anregung*

Da alle erprobten Varianten zur direkten Förderung aus dem offenen Pulverbehälter nicht zu dem erwünschten Erfolg führten wurde als Lösung die in Kap. 5.1.2 beschriebene Konstruktion umgesetzt.

#### 5.1.2. Konstruktionslösungen zum Einbau in die Anlage

In die Anlage wurde ein Einfüllstutzen (Abb. 15) integriert, auf dem der angelieferte, luftdicht verschlossene Pulverbehälter über einen Adapter aufgeschraubt wird. Vorteil hierbei ist, dass das Pulver nur während der Montage des Behälters auf dem Einfüllstutzen kurzzeitig der Umgebungsluft ausgesetzt ist und somit während des Betriebes die Gefahr der Verklumpung des Pulvers unterbunden wird. Zwischen dem Einfüllstutzen und dem Pulverbehälter ist ein Schieber eingebaut, wodurch eine gezielte Pulverzuführung zum Dispergierer realisiert wird. Der Einfüllstutzen ist mit zwei Füllstandssensoren (Abb. 16) ausgestattet. Dabei soll der Sensor an der oberen Messstelle darauf hinweisen, dass ca. 2/3 der Pulvermenge verbraucht sind und ein Nachfüllen des Pulvers demnächst vorgenommen werden sollte. Bei der zweiten unteren Messstelle ist ein kritischer Pulverbestand erreicht und es muss eine sofortige Nachfüllung des Pulvers in den Einfüllstutzen erfolgen. Der Einfüllstutzen hat ein Fassungsvermögen von 5 Liter.

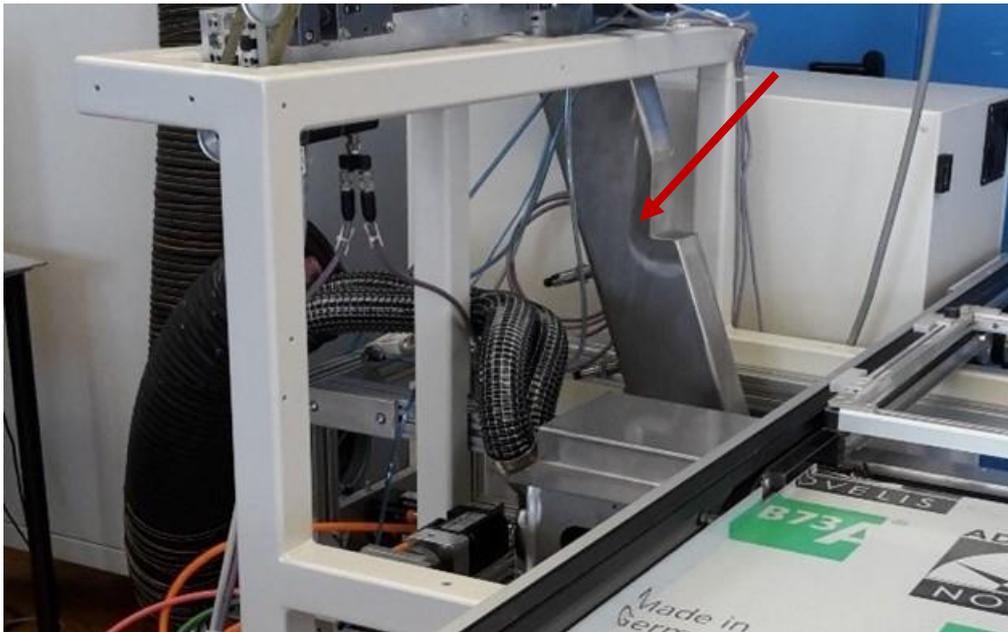


Abb. 15: Übersichtsaufnahme – Anlage mit eingebautem Einfüllstutzen



Abb. 16: Detailaufnahme aus Abb. 15 – Füllstandssensoren am Einfüllstutzen

Zum Transport des Pulvers in den Dispergierer wurde ein Teflonrohr mit Stößel montiert (Abb. 17), der über einen Motor gesteuert wird und schubweise eine exakte Pulvermenge einleitet. Die Pulverzufuhr zur Plasmaflamme erfolgt über Schläuche. Über einen weiteren Schlauch wird der für den Plasmabrenner notwendige Stickstoff zugeleitet.



*Abb. 17: Teflonrohr mit Stößel, montiert am Einfüllstutzen*

## 5.2. Steuerungstechnische Aufgaben

### 5.2.1. Regelkreis zur positionsgenauen Schaltung von Plasmaquelle und Pulverförderung

Um die Effizienz des Verfahrens zu maximieren, ist es notwendig Plasmaquelle und Pulverförderung nur zu aktivieren, wenn sich auch der Bearbeitungskopf unterhalb einer Leiterplatte befindet und sich mit der notwendigen Geschwindigkeit bewegt. Wichtigstes Kriterium hierbei ist ein stabiler Flussmittelauftrag ab einer festgelegten Position, d.h. mögliche Einschwingvorgänge des Systems müssen vor Erreichen dieses Punkts abgeschlossen sein. Für die entsprechende Regelung sind die jeweiligen Einschaltvorgänge und -dauern zu beachten. Diese wurden in Versuchen detailliert ermittelt, um die Schaltreihenfolge und -zeitpunkte festlegen zu können. Dabei ergibt sich folgende Abstufung der einzelnen Komponenten bzgl. ihrer „Trägheit“ bis zum stabilen Prozess (von schnell bis langsam):

1. Plasmadüse – Elektronik/Zünden
2. Plasmadüse – Begasung
3. Pulverförderung – Pulvervorschub
4. Pulverförderung – Bürste
5. Pulverförderung – Gasstrom

Die Verzögerungszeiten bewegen sich hierbei von 0,5 s (Zünden der Plasmaflamme) bis zum stabilen Gasstrom der Pulverförderung mit 2 s.

Prozesstechnisch ergibt sich durch die Trägheit des Systems, dass während der Bearbeitung einer Baugruppe die Pulverförderung aktiviert bleiben muss und lediglich ein Schalten der Plasmadüse durchgeführt werden kann. Eine Deaktivierung der Pulverförderung ist nur bei einem Leerlaufen der Anlage sinnvoll, da die Wartezeit zwischen zwei Baugruppen bei voller Auslastung ca. 5s dauert und unter Berücksichtigung einer „Herunterfahrzeit“ zur Vermeidung von Ablagerungen in den Schläuchen die Aktivierung sofort wieder nach der Deaktivierung durchgeführt werden müsste.

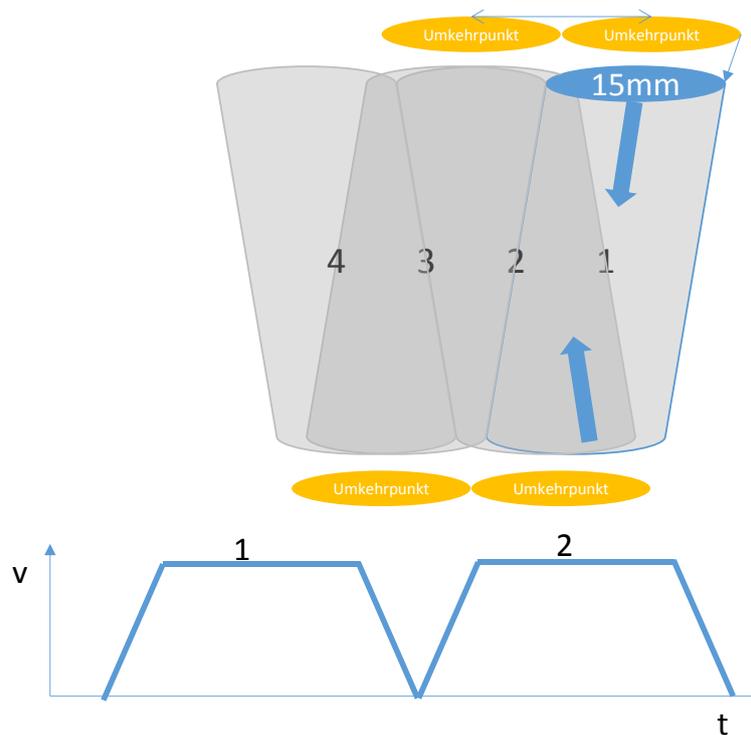


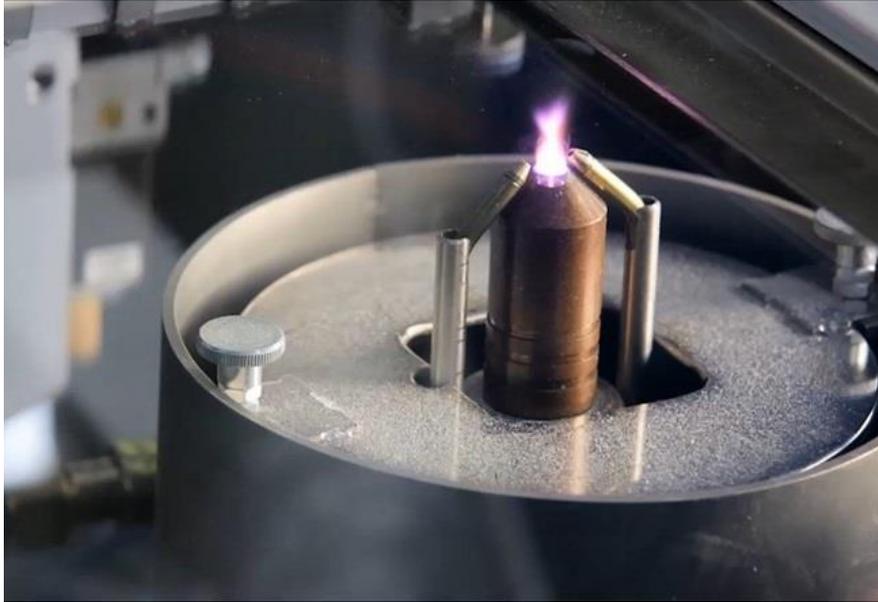
Abb. 18: Skizze der Verfahrbewegung des Auftrags auf der Baugruppe

Bei einem vollflächigen Auftrag (Abb. 18) könnte also lediglich die Plasmadüse ab dem Verlassen der zu beschichtenden Fläche abgeschaltet werden und muss rechtzeitig vor Beginn der nächsten Spur wieder aktiviert sein. Bei diesem vollflächigen Auftrag (400 mm Breite) ergibt sich für die Zeit zwischen Start des Bremsvorgangs, Richtungs- umkehr und Beschleunigung ein Wert von  $<0,4$  s. Diese Zeit ist nicht ausreichend um das Plasma neu zu zünden, entsprechend muss während eines Beschichtungsvorgangs auch die Plasmaflamme aktiviert bleiben. Bei kleineren Breiten wird die Verfahr- bewegung der Achse reduziert, so dass sich hierdurch auch keine größeren Leerlauf- zeiten ergeben. Entsprechend werden in der Steuerung die minimalen Schaltzeiten für die jeweiligen Komponenten hinterlegt und die Aktivierung erfolgt vor dem Beschich- tungsvorgang. Dies bietet auch den Vorteil, dass nicht genutztes Pulver im Anfahrvor- gang in einer Parkposition direkt am Kopf abgesaugt und wieder in das Pulverreservoir zurückgeführt werden kann.

### 5.2.2. Messmethode zur In-Situ-Überwachung der Pulverförderung

Entscheidend für einen reibungslosen und sicheren Prozessablauf ist es, dass eine Unterbrechung der Pulverzufuhr zur Plasmaflamme sofort bemerkt und eine Fehler- meldung ausgelöst wird. Hierzu galt es eine Messmethode zu finden, die eine direkte und ständige Überwachung der Pulverförderung zur Plasmaflamme garantiert. Bei der Einleitung des Pulvers in die Plasmaflamme war zu beobachten, dass sich die Farbe der Flamme verändert, sobald Pulver in die Flamme gelangt. Während die Stickstoff- Plasmaflamme ohne Pulver violett bis lavendel-farbig erscheint (Abb. 19), gibt es mit

der Zuführung des Pulvers im Bereich der Durchmischung eine Farbänderung zu hellblau.



*Abb. 19: Plasmavorrichtung im Betrieb (ohne Pulverzugabe)*

Daraus entstand die Idee diesen Effekt für die Überwachung zu nutzen. Es wurde deshalb nach Messmethoden gesucht, mit der eine Erfassung dieser Farbveränderung möglich ist. Zusätzlich musste gewährleistet sein, dass das Messinstrument in unmittelbarer Nähe der Plasmaflamme angebracht werden kann. Nach umfangreichen Recherchen fiel die Wahl auf einen Farbspektrometer. Aktuell verwendet wird ein Farbsensor mit der Bezeichnung Spekto 3 SLE von Sensor Instruments /8/.

Diese Farbsensoren sind im Hinblick auf eine „True Color“-Detektion (Bewertung der Farbunterschiede entsprechend der Farbempfindung eines menschlichen Beobachters) und auf eine hohe Schaltfrequenz getrimmt. Da die Plasmaflamme selbstleuchtend ist, wird im vorliegenden Anwendungsfall die integrierte Lichtquelle nicht genutzt, sondern nur das Leuchten selbst farblich ausgewertet. Im Sensor werden die „Sollfarben“ mit zulässigen Abweichungstoleranzen hinterlegt und mit den ermittelten Werten aus der Detektion des emittierten Lichts der Plasmaflamme verglichen. Eine im ausgewählten Sensor vorhandene selektierbare Verstärkung des Empfängersignals und eine Integralfunktion ermöglichen eine Einstellung des Sensors auf nahezu jede Oberfläche. Die Empfindlichkeit des Farbsensors ist so hoch, dass auch sehr kurze Unterbrechungen des Pulverflusses ( $< 10$  ms) detektierbar sind. Abb. 20 zeigt beispielhaft die Flamme – einmal ohne Pulverzugabe und mit Blaufärbung durch Pulverzugabe.

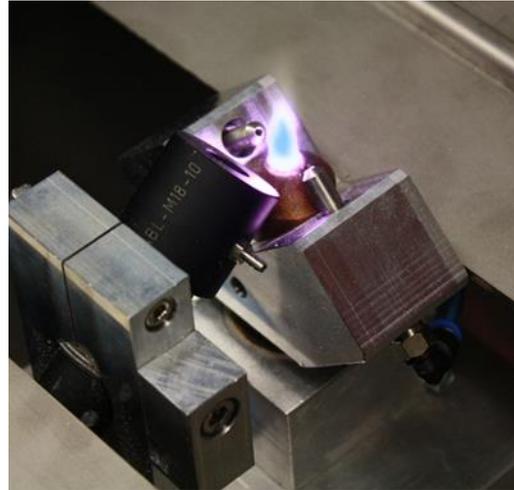
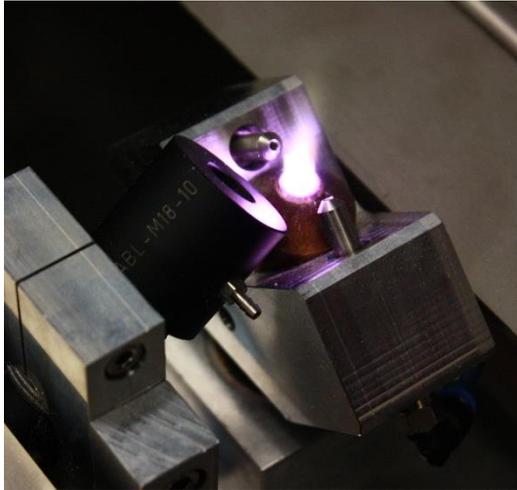


Abb. 20: Plasmaflamme ohne (links) und mit (rechts) Pulverzugabe

Das Farbspektrometer wird direkt an der Plasmaflamme angebracht und wird im Prozess mitbewegt (Abb. 20, links, schwarzes Gehäuse – schräg auf die Flamme gerichtet). Bei einer Unterbrechung der Pulverzufuhr wird ein digitales Signal ausgelöst, das direkt in der Steuerung verarbeitet wird und eine entsprechende Fehlermeldung generiert werden kann. Hierbei kann die Empfindlichkeit der Reaktion eingestellt werden.

### 5.3. Optische Inspektion

#### 5.3.1. Erarbeitung von Lösungen für die optische Inspektion

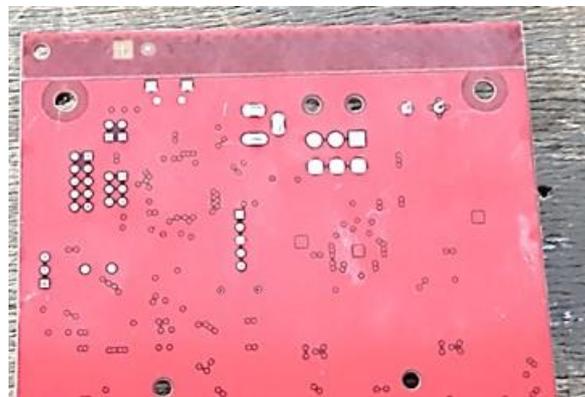
##### a) UV-Licht

Wie bereits in Kap. 4.2 beschrieben war die Idee dem Flussmittelpulver UV-aktive Stoffe zuzusetzen und den Flussmittelauftrag auf den Baugruppen durch Verwendung einer UV-Lichtlampe zu kontrollieren. Für die ersten Versuche wurden einfache, unbestückte Leiterplatten herangezogen. Das modifizierte Pulver wurde unter Variation der Geschwindigkeit, um unterschiedliche Pulvermengen auf der Oberfläche zu erreichen, aufgetragen.

Das Pulver mit den Zusatzstoffen zeigte im Ausgangszustand (vgl. Abb. 3) und beim Transport des Pulvers durch die Leitungen in Richtung der Plasmaflamme eine ausreichende Leuchtkraft. Nach dem Auftrag des Flussmittelpulvers auf der Leiterplatte war jedoch mit der UV-Lichtlampe kein gravierender Unterschied mehr zwischen den beschichteten und nicht beschichteten Bereichen auf der Baugruppe festzustellen (Abb. 21). Es wurden mehrere Pulvermodifikationen mit unterschiedlichen Zusatzstoffen (vgl. Kap. 4.2) hergestellt und getestet. Allerdings konnte mit keiner der Pulvervarianten ein brauchbares Ergebnis erreicht werden. Es hat sich herausgestellt, dass die UV-Additive nur bei Anwesenheit von Feuchtigkeit oder gebundenem Wasser (Kristallwasser) oder später prozessbedingt funktionieren. Das bedeutet, solange die Rückstände feucht oder einen geringen Wasseranteil besitzen, kann der UV-Aktivator wirken und somit detektiert werden. Sind die Rückstände trocken und frei von Wasser ist keine UV-Aktivität vorhanden. Bei dem vorliegenden Prozess ist keine Feuchtigkeit

vorhanden und während und nach dem Prozess wird auch keine Feuchtigkeit oder Wasser gebildet.

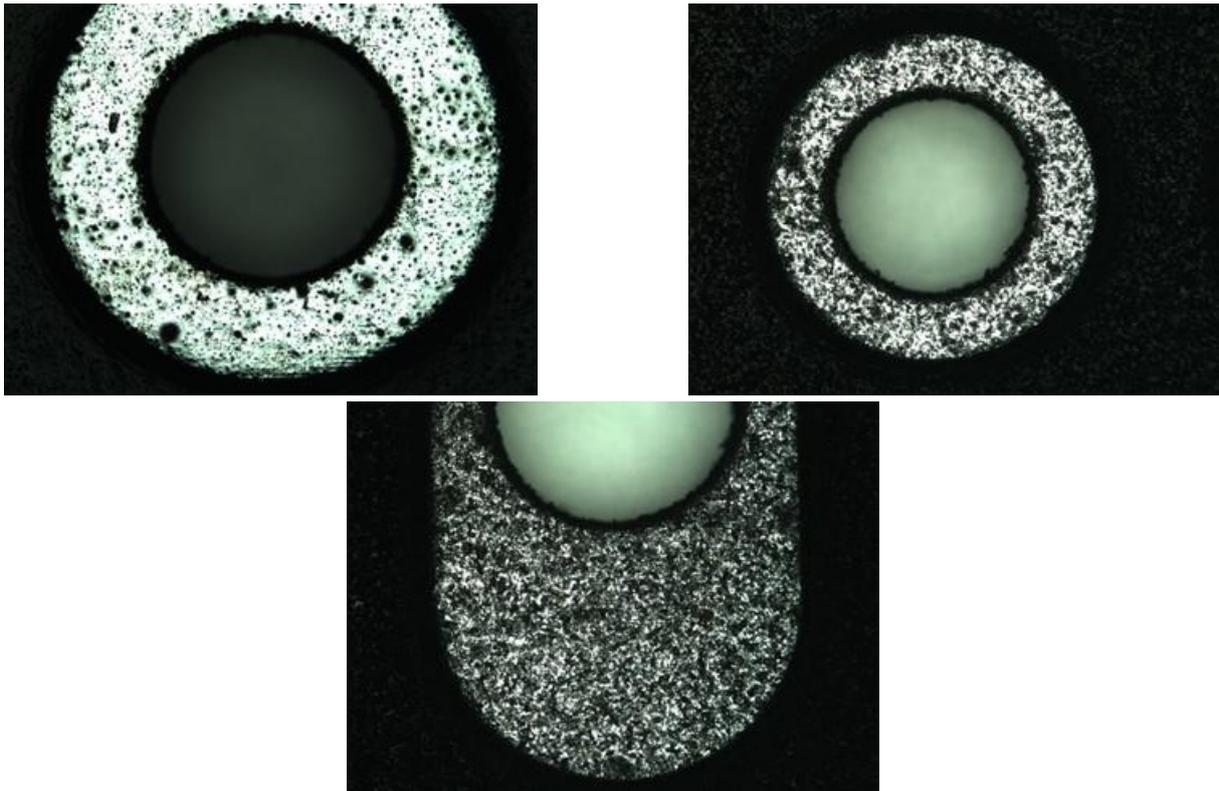
Weiterhin hängt die fluoreszierende Wirkung auch stark von der Temperatur ab und bei höheren Temperaturen wird die fluoreszierende Wirkung erheblich geschwächt. Nach Angaben in der Literatur /9/ kann z. B. das Sulphonamid-Melamin-Paraformaldehyd-Harz nur für kurze Verweilzeiten in Anwendungen mit Prozesstemperaturen bis zu 180 °C benutzt werden, ohne die Farbeigenschaften zu beeinflussen. Da beim Eintritt des Flussmittelpulvers in die Plasmaflamme diese Temperatur kurzzeitig überschritten wird, wird die Molekülstruktur der Stoffe zerstört und die Leuchtkraft geht verloren. Die Verwendung von Pulver mit UV-aktiven Pigmenten hat sich deshalb für das Plasma-Lötverfahren zur Kontrolle des Flussmittelauftrages als nicht brauchbar erwiesen.



*Abb. 21: Mit UV-aktivem Flussmittelpulver beschichtete Leiterplatte*

#### b) Mikroskopie mit Polarisation

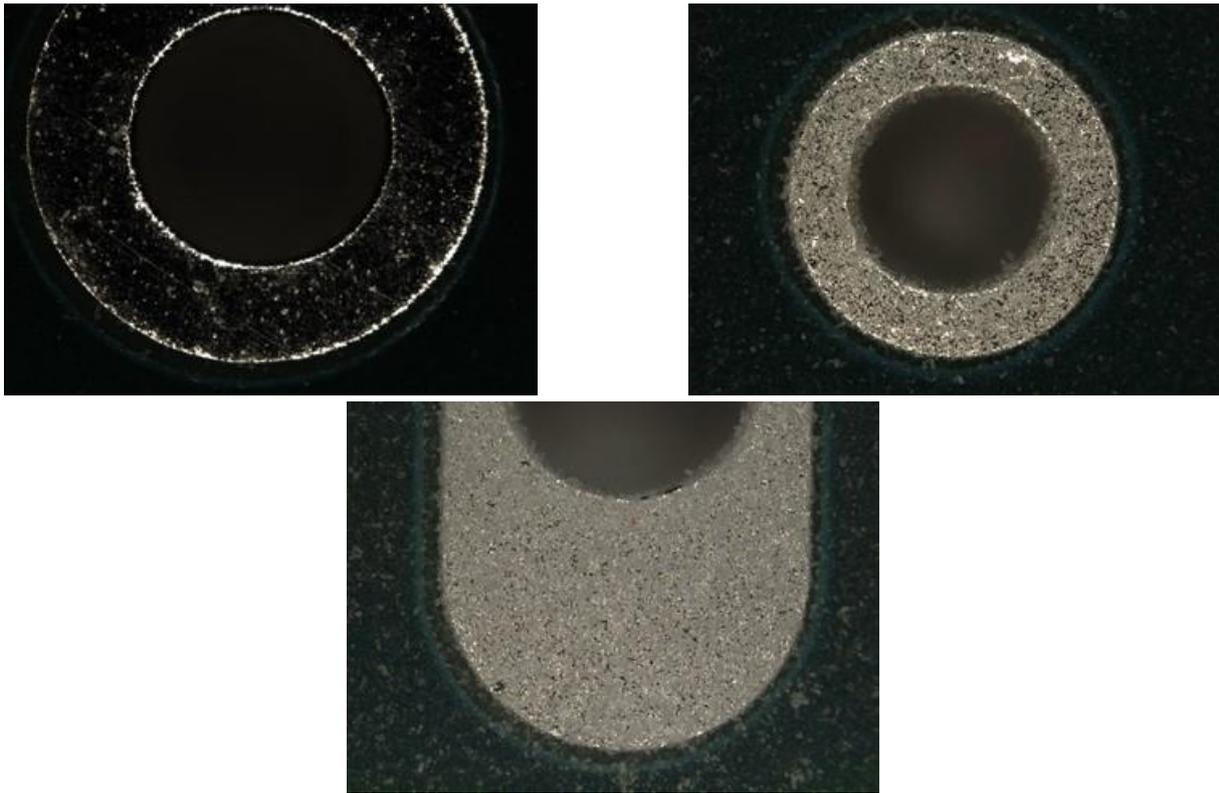
Wie bereits in Kap. 4.2 dargestellt ist die Verwendung eines Makroskopes für die Bewertung der Pulverbelegung auf den Leiterplatten nicht geeignet, da der Kontrast zwischen beschichteten und nicht beschichteten Flächen zu gering ist. Es wurden deshalb verschiedene Möglichkeiten der Mikroskopie herangezogen. Zunächst wurden Versuche mit einem Lichtmikroskop mit Polfilter und mit Dunkelfeldbeleuchtung getestet. Die Bilder Abb. 22 und Abb. 23 zeigen Ergebnisse von unbeschichteten Proben und Proben mit geringer und größerer Pulvermenge im Vergleich.



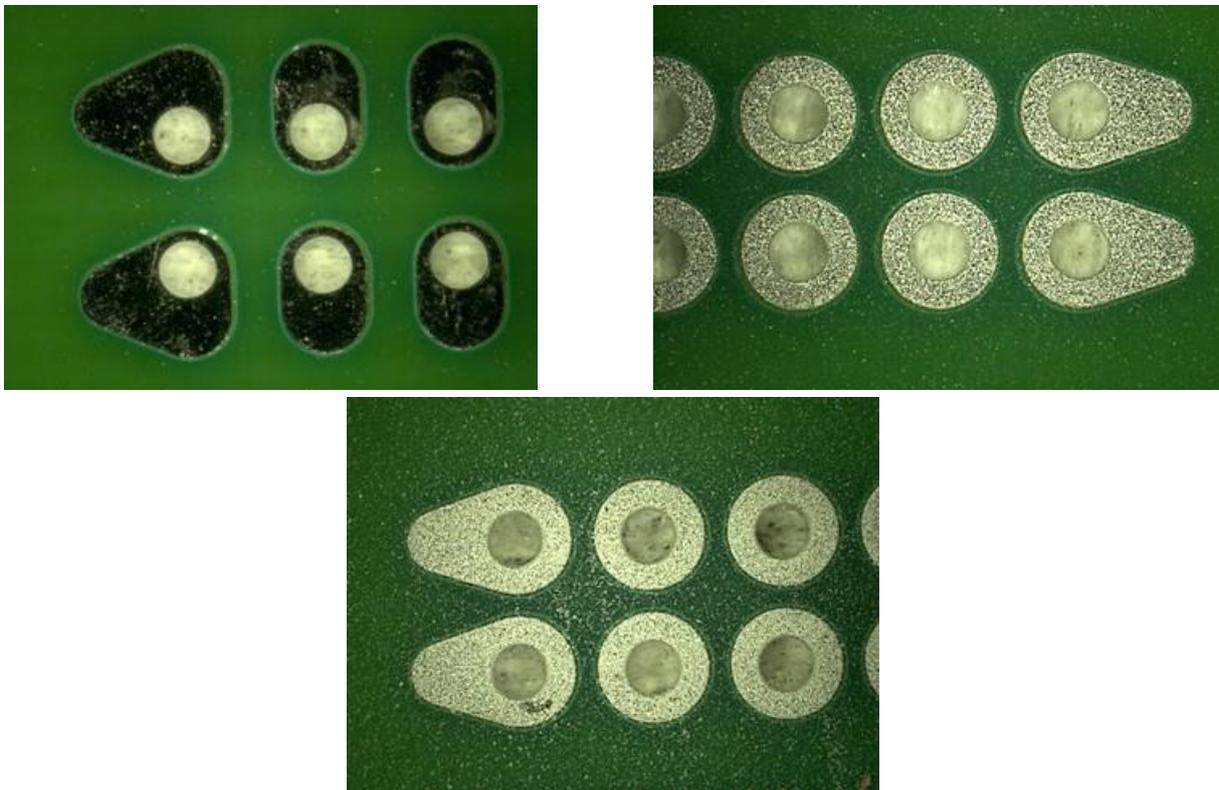
*Abb. 22: Lichtmikroskopie mit Polfilter – oben links: unbeschichtet; oben rechts: geringere Pulvermenge; unten: größere Pulvermenge*

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung eines Lichtmikroskopes mit Polfilter kein eindeutiges Erscheinungsbild liefert, um den Belegungsgrad zufriedenstellend bewerten zu können. Bei der Dunkelfeldbeleuchtung treten die Unterschiede zwischen den unbeschichteten und beschichteten Proben deutlicher hervor. Die Unterscheidung bezüglich der Pulvermenge ist allerdings auch mit dieser Methode nicht eindeutig zu bewerkstelligen.

Der Einsatz eines Makroskopes mit Polfilter brachte hingegen ein brauchbares Ergebnis (Abb. 24). Das Erscheinungsbild der unbeschichteten und beschichteten, metallisierten Oberflächen unterscheidet sich deutlich. Während die Stellen ohne Pulver eine glänzende Oberfläche zeigen, sind die beschichteten Stellen matt und grieselig. Auch die Variation der Pulvermenge ist deutlicher erkennbar. Bei einer geringeren Pulvermenge sind abwechselnd dunkle und helle Stellen vorhanden, während bei einer größeren Pulvermenge die Oberfläche durchgängig grau erscheint.



*Abb. 23: Lichtmikroskopie mit Dunkelfeldbeleuchtung– oben links: unbeschichtet; oben rechts: geringere Pulvermenge; unten: größere Pulvermenge*



*Abb. 24: Makroskopie mit Polfilter– oben links: unbeschichtet; oben rechts: geringere Pulvermenge; unten: größere Pulvermenge*

### 5.3.2. Auswahl der Inspektionsmethode für den Serienbetrieb

Bedingt durch die kompakte Bauweise der neuen Prozesseinheit (vgl. Kap. 5.4) gab es bisher keine praktikable Lösung ein Inspektionssystem direkt in die Anlage zu integrieren. Zur Kontrolle des Pulverauftrages wird deshalb zunächst auf die Methode zurückgegriffen, die auch bei dem heutigen Standardprozess üblich ist. Eine Kontrolle des Flussmittelauftrages erfolgt in der Regel nur beim Einfahren eines Prozesses bei der Fertigung eines neuen Serienproduktes in der Linie. Dazu werden Stichproben entnommen und unter Verwendung eines Makroskopes (d.h. off-line) begutachtet und bei Bedarf eine Parameteroptimierung vorgenommen. Bei der Bewertung des Pulverauftrages muss entsprechend den Ergebnissen zur optischen Inspektion (vgl. Kap. 5.3.1) allerdings mit Polfilter gearbeitet werden. Da bei den meisten Elektronikfertigern für die Lötstelleninspektion ein Makroskop vorhanden ist, entstehen hier nur geringe Kosten für die evtl. Beschaffung eines Zusatzfilters.

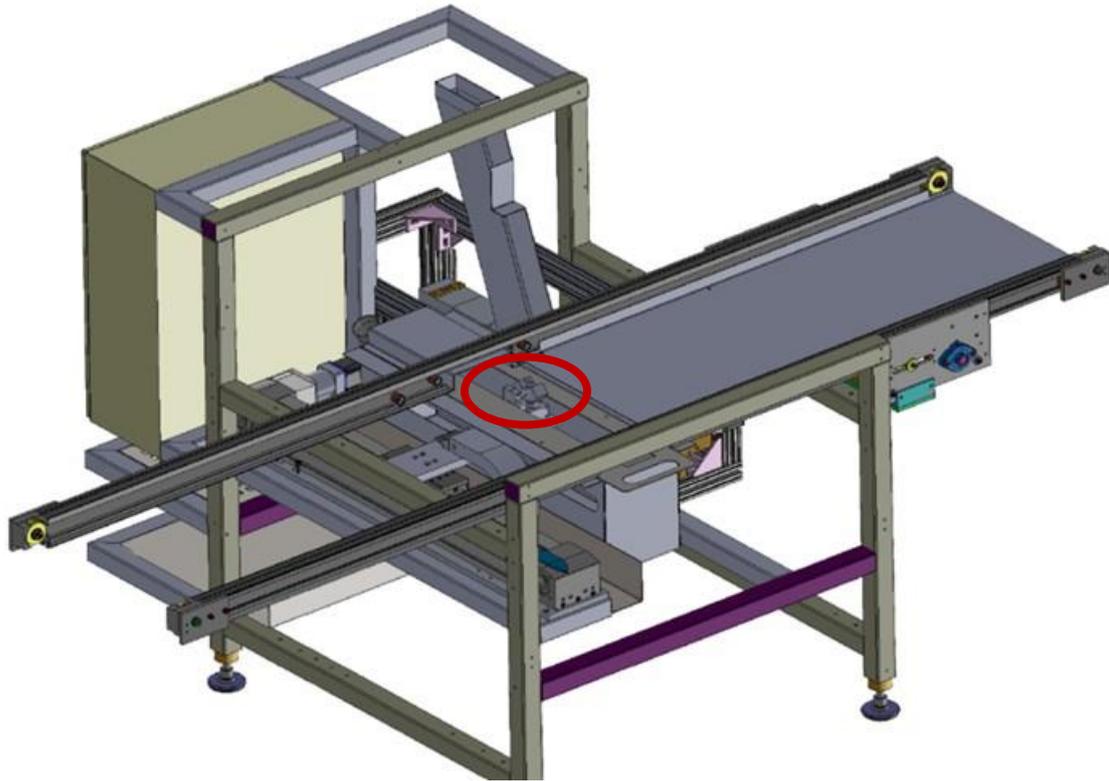
Für die weitere Optimierung ist längerfristig der Einsatz eines Kameramoduls (Abb. 25) möglich – Basis hierfür bildet das Inspektionssystem für Lötstellen, das dann um entsprechende Beleuchtung und Polfilter ergänzt wird.



*Abb. 25: Kameramodul für die Bewertung der Pulverbelegung*

### 5.4. Integration der Prozesszelle in eine Fertigungsanlage

Eine wesentliche Neuerung im Vergleich zur Prototyp-Anlage ist, dass die Prozesszelle des Select-Fluxers nicht mehr als Basis dient. Es wurde eine vollständig neue, inline-fähige Prozesseinheit konstruiert und aufgebaut (Abb. 26). Zu erkennen ist der in Kap. 5.1.2 beschriebene Einfüllstutzen, der direkt auf das Gehäuse, in dem der Bürstendispersierier enthalten ist, aufgesetzt wird. Für den Baugruppentransport wird nun ein einachsiges System benutzt, sodass die Plasmaflamme in einer Richtung über die sich bewegende Baugruppe fährt. An den Pulverförderer wird eine Absauganlage angeschlossen. Sie enthält direkt nach dem Pulveraustritt einen Zwischenfilter. Pulver, welches sich während des Prozesses dort ansammelt kann somit direkt entnommen und in den Kreislauf zurückgeführt werden.



*Abb. 26: Schematische Darstellung der neu entwickelten Prozesszelle (ohne Abdeckung) mit Plasmakopf (rot umrandet)*

Um eine zuverlässigere Pulverförderung zu gewährleisten wurden mehrere Weiterentwicklungen an der Anlage durchgeführt. Hierfür wurde maßgeblich die Pulverfördereinheit überarbeitet und deren Funktion optimiert, sowie auch mehr Bauraum für weitere Modifikationen in der Anlage geschaffen. Im Zuge der Konstruktionsänderung wurde ebenfalls eine Pulvernachfüllvorrichtung konzipiert. In Abb. 27 ist die finale Pulverfördereinheit mit Dispergierer und Pulvereinfüllvorrichtung dargestellt. Das Nachfüllen des Pulvers findet ca. einmal pro Schicht durch den Bediener statt.

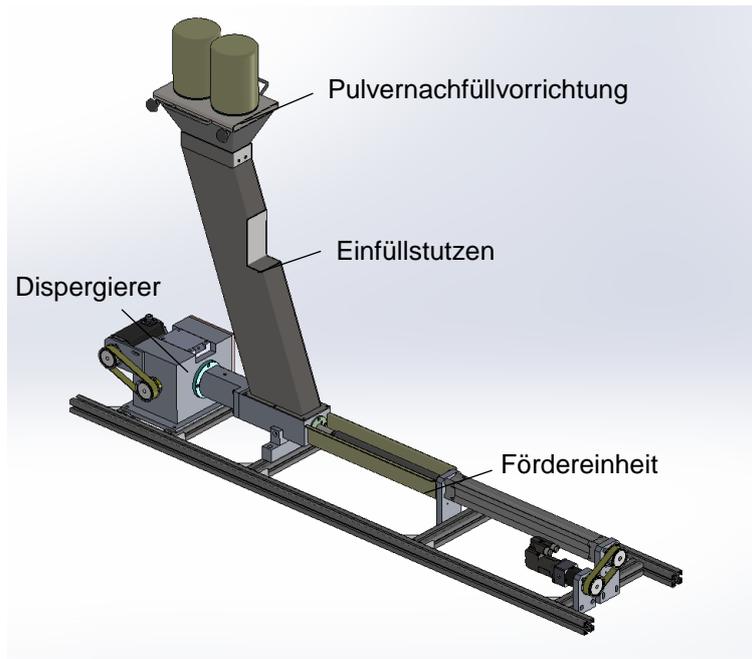


Abb. 27: CAD-Modell der Pulverförderereinheit mit Nachfüllvorrichtung



Abb. 28: Pulverförderer / Verdichter mit Dispergierer (mit abgeschraubtem Pulverbehälter)

Zur Nachfüllung wird durch zwei Drehgriffe ein Klappmechanismus ausgelöst, der das Pulver in den Einfüllstutzen fallen lässt. Durch eine Torsionsfeder wird ein automatisches Verriegeln der Klappen gewährleistet. Bei dieser konstruktiven Lösung können maximal zwei Pulverdosen gleichzeitig in der Nachfülleinrichtung eingeschraubt werden.

Durch die Änderungen an der Pulverförderereinheit, können auch Verbesserungsmaßnahmen bezüglich der Absaugung durchgeführt werden. In Abb. 29 links ist die vorherige Lösung der Absaugung dargestellt, bei der nur eine einseitige Absaugung stattfindet. Abb. 29 rechts zeigt die Anbringung der Absaugungsanschlüsse seitlich am Gehäuse entlang des gesamten Arbeitsbereiches der Brenneinheit.

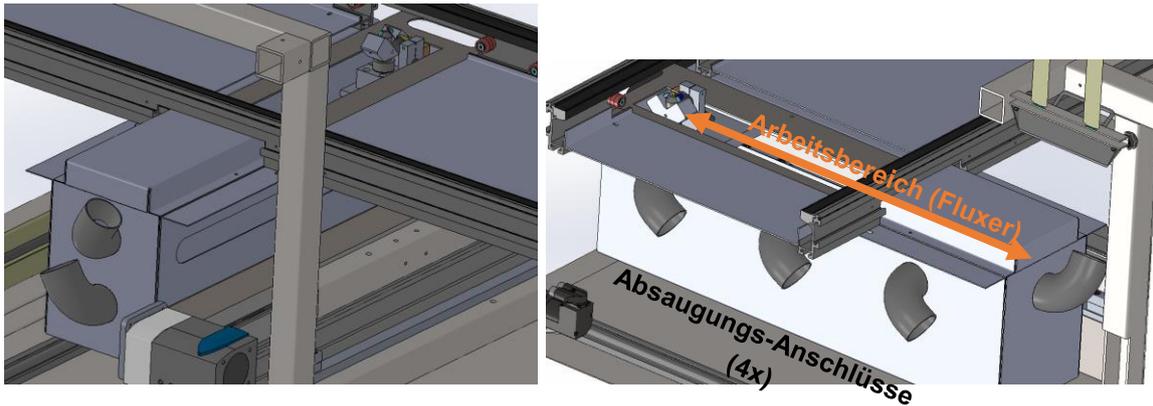


Abb. 29: links: Absaugung alter Stand; rechts: Absaugung neuer Stand

Durch die Anbringung der Absaugrohre seitlich am Absauggehäuse kann so eine effektivere Absaugung und Rückführung des Pulvers gewährleistet werden.

Abb. 30 zeigt den konstruktiven Aufbau der Brenneinheit. Der Farbsensor (vgl. Kap. 5.2.2 ist direkt auf den Punkt gerichtet, in dem auch die beiden Düsen der Pulverzufuhr zusammentreffen (ca. 1cm oberhalb der Brenner-Kante). Die gesamte Einheit ist durch ihren Aufbau solide und benötigt keine Justierarbeiten.

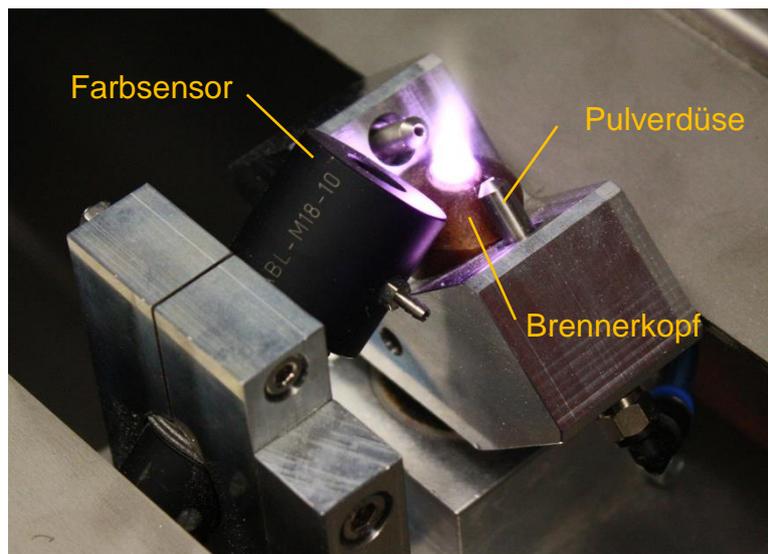


Abb. 30: Überarbeitete Brenneinheit mit Farbsensor

## 6. Begleitende Untersuchungen

### 6.1. Beschichtungsversuche und Bewertung der Ergebnisse

#### 6.1.1. Vorversuche zur Optimierung der Flussmittelmenge

Um zu garantieren, dass eine ausreichende und reproduzierbare Flussmittelmenge auf den Baugruppen ankommt müssen die Einflussfaktoren auf die Auftragsrate bekannt sein. In Vorversuchen /10/ wurde deshalb der Zusammenhang zwischen der Motordrehzahl des Vorschubs und dem Volumenstrom des Stickstoffes auf die aufgetragene Flussmittelmenge ermittelt. Verwendet wurden Polycarbonatscheiben, die vor

und nach der Beschichtung gewogen wurden, um zunächst die aufgetragene Flussmittelmenge ( $\Delta m$ ) zu bestimmen. Die eingebrachte Flussmittelmenge ( $m_{zu}$ ) konnte errechnet werden, in dem das geförderte Volumen des Flussmittelvorschubs ( $\Delta X$ ) mit der zuvor ermittelten Pulverdichte ( $\rho_{Flux}$ ) multipliziert wurde (Gl. 4.1):

$$m_{zu} = \Delta X \times \rho_{Flux} \text{ (Gl. 4.1)}$$

Anschließend konnte die Auftragsrate  $R$  errechnet werden, indem die aufgetragene Flussmittelmenge ( $\Delta m$ ) durch die eingebrachte Flussmittelmenge ( $m_{zu}$ ) dividiert wurde (Gl. 4.2):

$$R = \Delta m / m_{zu} \text{ (Gl. 4.2)}$$

Es wurden Testreihen mit einem Vorschub ( $n_{vor}$ ) von 10 U/min und 20 U/min und einem Volumenstrom ( $Q_{N_2}$ ) von 15, 20, 25 und 40 l / min durchgeführt. Die Abhängigkeit der Auftragsrate vom Vorschub und dem Volumenstrom ist in den nachfolgenden Diagrammen in Abb. 31 und Abb. 32 dargestellt.

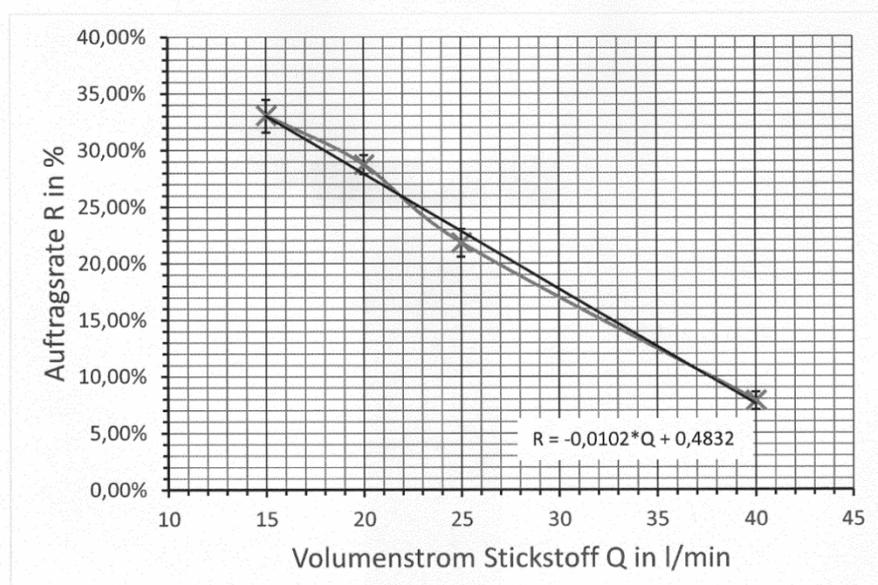


Abb. 31: Auftragsrate, abhängig vom Volumenstrom des Stickstoffs bei einer Vorschubdrehzahl von 10 U / min

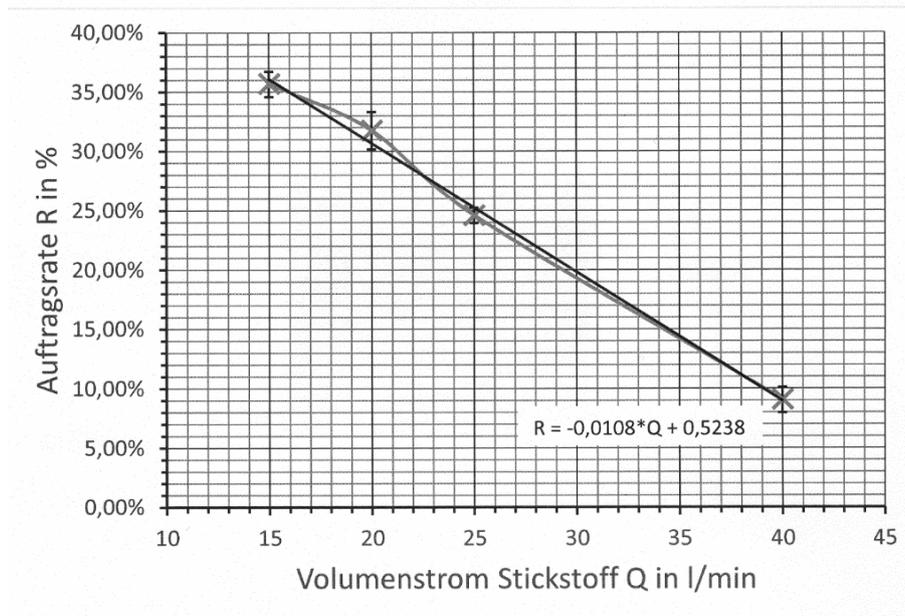


Abb. 32: Auftragsrate, abhängig vom Volumenstrom des Stickstoffs bei einer Vorschubdrehzahl von 20 U / min

Die Bewertung der Ergebnisse dieser Vorversuche ergab, dass die eingebrachte Flussmittelmenge, reguliert durch die Vorschubdrehzahl, die Auftragsrate nur wenig beeinflusst, während der Stickstoffstrom eine erhebliche Auswirkung auf die Auftragsrate zeigt. Die Spannweite der ermittelten Auftragsrate liegt zwischen 35 % mit dem geringsten Stickstoffstrom und 7,8% mit dem größten Stickstoffstrom. Dies bedeutet, dass umso mehr Flussmittelpulver auf dem zu besprühenden Objekt ankommt, je geringer der Stickstoffstrom ist. Die Ursache für diesen beobachteten Effekt lässt sich wie folgt erklären. Durch die höhere Temperatur werden eine größere Menge von Partikeln und auch größere Partikel aufgeschmolzen. Gleichzeitig wird die Zerstäubung des Pulvers reduziert, was zu einem gezielteren Auftrag und einer besseren Haftung auf der Oberfläche führt.

Ein weiterer wichtiger Parameter zur Bewertung des Flussmittelauftrages ist die Dicke der aufgesprühten Flussmittelschicht. Variiert wurde, neben der Vorschubdrehzahl und dem Stickstoffstrom, zusätzlich der Bahnabstand. Die besprühten Polycarbonatplatten wurden unter Verwendung eines Laserscanning-Mikroskopes untersucht, um die Partikelverteilung und das Höhenprofil, als Maß für die Auftragsdicke, zu bestimmen (Abb. 33 und Abb. 34).

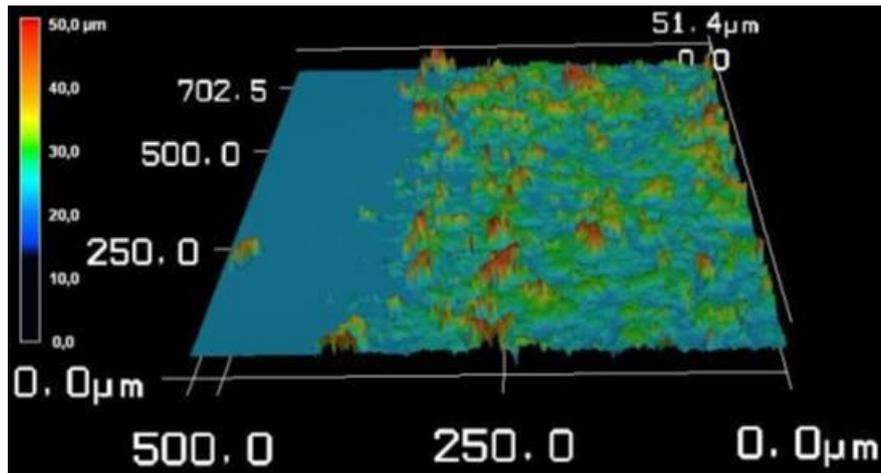


Abb. 33: 3 D – Modell einer besprühten Oberfläche, erstellt aus den Daten des Laserscanning-Mikroskopes



Abb. 34: Linienprofil des Querschnittes

In Abhängigkeit der gewählten Parameter wurde die mittlere Höhe der aufgetragenen Flussmittelschicht bestimmt und verglichen. Hier zeigt sich, dass die Auftragshöhe der Schicht mit zunehmender Vorschubdrehzahl (P) zunimmt und mit steigendem Stickstoffstrom abnimmt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Auftragshöhe in Abhängigkeit von der Vorschubdrehzahl und dem Stickstoffstrom

Konfiguration <sup>(1)</sup>	Bahnabstand in mm	Auftragshöhe Bahn in $\mu\text{m}$	Auftragshöhe Zwischenraum in $\mu\text{m}$
P10_N <sub>2</sub> 15	10	3,53±0,21	2,74±0,20
	14	4,40±0,46	2,29±0,16
	20	4,28±0,28	2,46±0,24
P10_N <sub>2</sub> 40	10	2,43±0,25	2,08±0,16
	14	2,55±0,24	1,28±0,16
	20	2,93±0,31	1,41±0,18
P20_N <sub>2</sub> 15	10	6,41±0,45	5,37±0,28
	14	6,70±0,46	3,16±0,20
	20	5,93±0,48	3,46±0,33

Die Ergebnisse dieser Vorversuche zeigen, dass für einen geeigneten und reproduzierbaren Flussmittelauftrag eine Anpassung und Optimierung zwischen den Parametern Vorschubdrehzahl und Stickstoffstrom erfolgen muss.

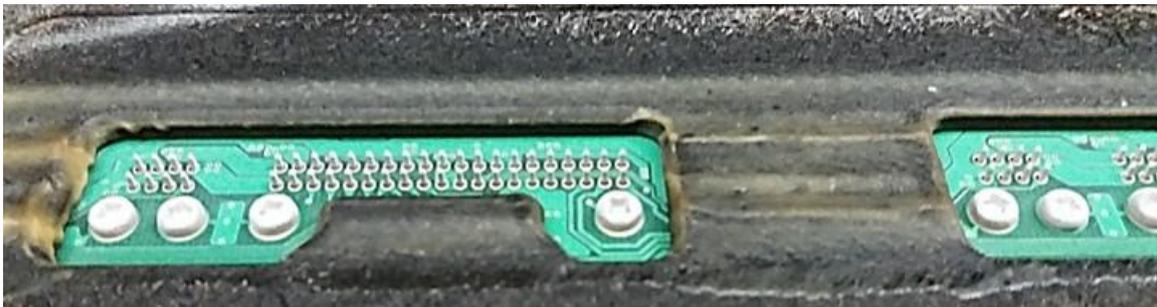
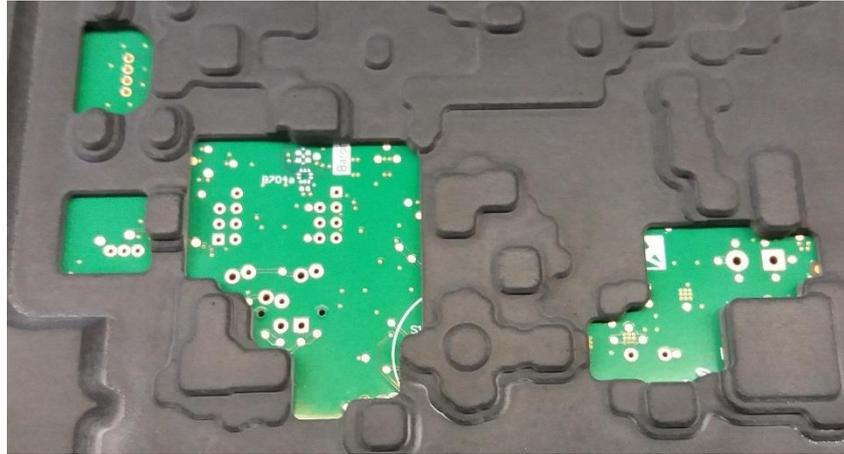
Die Betrachtung einer zweidimensionalen Aufnahme einer beschichteten Plexiglasoberfläche (Abb. 35) verdeutlicht nochmals die Vorgänge beim Plasmalöten (vgl. Kap. 5.1). Feinere Partikel schmelzen in der Plasmaflamme vollständig auf, erstarren beim Auftreffen auf der Probenoberfläche und bleiben dort haften. Größere Partikel schmelzen nur an der Oberfläche auf und behalten ihre nadelige Ausgangsform. Um eine gute Haftung des Flussmittelpulvers auf der Oberfläche zu gewährleisten ist es notwendig, dass Partikel vollständig aufschmelzen. Deshalb ist ein fein gemahlenes, homogenes Flussmittelpulver als Ausgangsmaterial und der Einsatz einer Pulvermühle erforderlich (vgl. Kap. 4.3).



*Abb. 35: Erscheinungsbild des Flussmittelpulvers nach der Beschichtung*

#### 6.1.2. Versuche an Leiterplatten und Baugruppen

Für die Prozessprüfung standen Baugruppen und Leiterplatten verschiedener Elektronikdienstleister, die ihre Fertigung mit Lötmaschinen von Seho ausgerüstet haben, zur Verfügung. Wie in Standardprozessen mit flüssigen Flussmitteln muss auch hier mit Masken gearbeitet werden (Abb. 36). Dadurch ist gewährleistet, dass das Flussmittelpulver nur gezielt in den Bereichen, wo THT-Bauteile bestückt und verlötet werden, aufgetragen wird.



*Abb. 36: Beschichtung von Leiterplatten und bestückten Baugruppen*

Die Kontrolle der Flussmittelbelegung erfolgte mit Hilfe eines Makroskopes (Vi Comp). Mit den gewählten Parametern konnte eine gleichmäßige Belegung der Baugruppen im besprühten Bereich mit dem Flussmittelpulver erreicht werden. Auch die Anschlusspins der Steckerbauteile waren gleichmäßig mit Flussmittelpulver bedeckt. Nach der Entfernung der Lötmaske ist eine scharfe Kante zwischen der durch die Maske abgedeckten Fläche und der besprühten Fläche sichtbar (Abb. 37). Im Gegensatz dazu kommt es bei der Verwendung von flüssigen Standardflussmitteln, verursacht durch die Kapillarwirkung, zu einem Kriechen des Flussmittels in den vorhandenen und nicht zu vermeidenden Spalt zwischen der Maske und der Leiterplatte. Somit kann der erwartete Effekt der Reduzierung von Flussmittelrückständen auf den Baugruppen durch den „trockenen“ Flussmittelauftrag tatsächlich erfolgreich nachgewiesen werden.



*Abb. 37: Detailaufnahme einer beschichteten Baugruppe – Belegung der Pins und Kante zwischen beschichteter und unbeschichteter Fläche*

Weiterhin war zu beobachten, dass sich nach einer größeren Anzahl von Beschichtungsabläufen (ohne Lötversuche) Flussmittelpulver auf der Oberfläche der Lötmaske abgesetzt hat (Abb. 38). Diese Pulverrückstände werden jedoch bei einem anschließenden Lötvorgang vollständig durch den Kontakt mit dem flüssigen Lot abgewaschen. Es treten auch keine Beschädigungen der Masken, die in der Regel aus Titan oder faserverstärkten Kunststoffen bestehen, durch die Plasmaflamme auf.



*Abb. 38: Ablagerung von Flussmittelpulver auf der Lötmaske nach mehreren Beschichtungsabläufen*

Um zu überprüfen, ob durch die Plasmaflamme eine Überhitzung der Leiterplatten auftreten kann, die zu Schädigungen des Leiterplattenmaterials (z.B. Delaminationen, Measling, etc.) führen oder Veränderungen des Lötstopplackes bewirken, wurde während des Beschichtungsvorganges die Temperatur in der Plasmaflamme und an der Leiterplattenoberfläche mit einem Temperatursensor gemessen. Die Temperatur der Stickstoff-Plasmaflamme mit zugesetztem Pulver liegt, abhängig vom gewählten Stickstoffstrom, im Bereich zwischen 200 und 300 °C. Trotzdem sind die ermittelten Temperaturwerte auf der Leiterplatte während des Beschichtungsvorganges lediglich bei

ca. 120 °C, da die Einwirkzeit der Plasmaflamme auf das Leiterplattenmaterial sehr kurz ist. Eine Schädigung der Leiterplatte oder auch der Bauteile ist somit auszuschließen.

Weitere Testbaugruppen wurden mit Adipinsäurepulver und einem speziellen Flussmittelpulver (ES-100 S-P), das von einem Elektronikdienstleister zur Verfügung stand, beaufschlagt (Abb. 39). Folgende Beschichtungsparameter wurden gewählt:

- Stickstoffstrom Plasma: 45 l/min
- Stickstoffstrom Pulver: 20 l/min
- Verfahrensgeschwindigkeit: 100 mm / s (high)
- Verfahrensgeschwindigkeit: 400 mm / s (low).



Abb. 39: Flussmittelpulver im Teflonrohr– links: ES-100 S-P; rechts: Adipinsäure

## 6.2. Durchführung von Lötversuchen und Bewertung der Lötergebnisse

Für die Lötversuche kam eine Volltunnel-Wellenlötanlage, die im Applikationslabor von Seho bereit steht, zum Einsatz. Der Sprühfluxer in der Lötanlage wurde für die Versuche deaktiviert. Ausgewählt wurde ein Standardprofil mit folgenden Lötparametern:

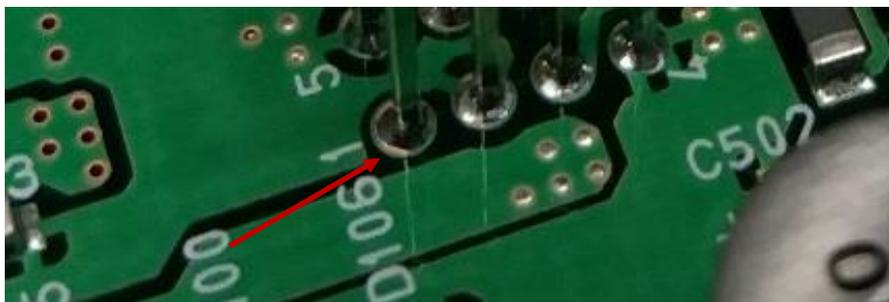
- Leiterplattentemperatur vor Eintritt in die Welle: 130 °C – 150 °C
- verwendete Wellenformer: Lochwellen, breit (7-reihig) und schmal (4-reihig)
- Kontaktzeit: ca. 5 Sekunden (Welle 1 + Welle 2), ca. 3 Sek. (1 Welle)
- verwendete Lotlegierung: Sn100C
- Lottemperatur: 280 °C
- Restsauerstoffwert: < 300 ppm.

Die Bewertung der Lötverbindungen erfolgte nach den Abnahmekriterien der IPC A 610, Revision F /11/ für Klasse 3. Auf der Lötseite zeigte sich bei allen untersuchten Baugruppen eine optimale Ausbildung der THT-Lötverbindungen, was eine vollständige Benetzung der Pads und ein gut ausgebildeter Meniskus an den Anschlusspins bedeutet (Abb. 40).



*Abb. 40: Ausbildung der Lötverbindungen auf der Lötseite*

Auf der Bauteilseite konnten geringe Unterschiede, abhängig vom gewählten Flussmittelpulver und den gewählten Beschichtungsparametern beobachtet werden. Bei Verwendung des Spezialpulvers in Kombination mit einer Verfahrensgeschwindigkeit der Plasmaflamme von 400 mm / s, was einer geringeren Pulvermenge entspricht, wird ein Lotdurchstieg von 100 % erreicht, einzelne Pads an der Lotzielseite sind jedoch nicht vollständig benetzt (Abb. 41). Diese Lötverbindungen erfüllen trotzdem vollständig die Vorgaben der IPC A 610 und sind deshalb als akzeptabel zu bewerten. In Kombination mit den Parametern mit einer Verfahrensgeschwindigkeit der Plasmaflamme von 100 mm / s, was einer größeren Pulvermenge entspricht, sind bauteilseitig alle Pads vollständig benetzt (Abb. 42). Dies gilt auch bei der Verwendung des Adipinsäurepulvers.



*Abb. 41: Ausbildung der Lötverbindungen auf der Bauteilseite  
(Pulver (ES-100 S-P, low))*

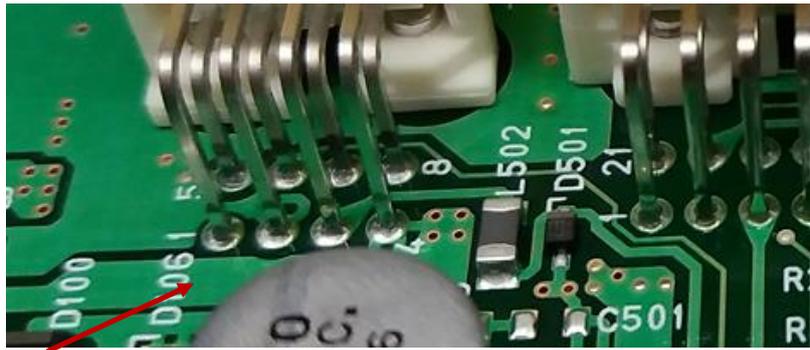


Abb. 42: Ausbildung der Lötverbindungen auf der Bauteilseite (Pulver (ES-100 S-P, high))

Zusätzlich zur optischen Inspektion wurden die verlöteten Baugruppen auch noch einer 2D-Röntgenanalyse unterzogen (Abb. 43), um Aussagen über die Lötverbindungen innerhalb der Durchkontaktierungen zu erhalten. Es können keine gravierenden Unterschiede festgestellt werden. Bei den mit Adipinsäurepulver behandelten Baugruppen sind geringfügig mehr Voids zu finden, was jedoch zu keiner Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit der Lötverbindungen führt.

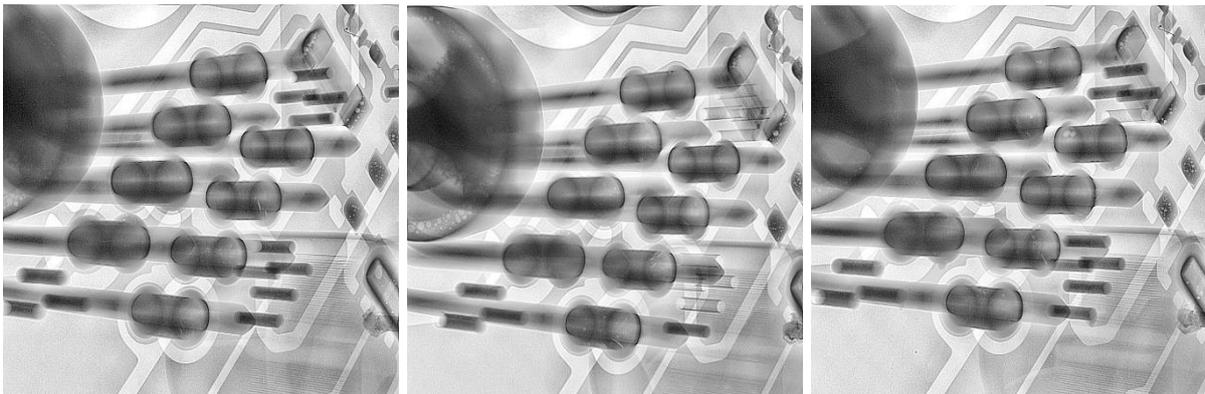


Abb. 43: 2D-Röntgenanalyse – links: ES-100 S-P, low; Mitte: ES-100 S-P, high; rechts: Adipinsäure

Die Ergebnisse der Lötversuche zeigen, dass mit dem neuen Auftragsverfahren ausreichend Flussmittelpulver in die Durchkontaktierungen gelangt und mit dem Standardprozess vergleichbare Lötergebnisse zu erreichen sind. Auf den Porenanteil in der Lötstelle hat das Verfahren keinen signifikanten Einfluss – hierfür sind Faktoren wie das Vorhandensein von Oxidschichten auf Leiterplatte und Bauteil ausschlaggebender.

### 6.3. Überprüfung der Korrosivität der Rückstände

Eine wesentliche Rolle, um das neue Verfahren etablieren zu können, spielt die Korrosivität der Rückstände. Zur Bewertung der Rückstände wird üblicherweise der Surface Insulation Resistance (SIR-) Test nach dem JEDEC-Standard J-STD-004 /12/ bzw. der IPC 9202 /15/ herangezogen. Bei diesem Test wird die Veränderung des

Oberflächenwiderstandes, verursacht durch die Flussmittelrückstände auf den Baugruppen bei Feuchteeinwirkung, bestimmt. Testbaugruppen werden dazu mit dem Flussmittelpulver beaufschlagt und einer Klimalagerung bei 40 °C und 93 % Feuchte für 168 Stunden ausgesetzt. Die Messung des Oberflächenwiderstandes erfolgt nach 24, 96 und 168 h. Ein Grenzwert von  $10^8 \Omega$  darf nicht unterschritten werden (beginnend 24h nach Einstellen des Testklimas). In Abb. 44 sind Messergebnisse für die Adipinsäure, ermittelt an mehreren Testproben, enthalten. Der zulässige Oberflächenwiderstandswert ist mit einem roten Balken gekennzeichnet. Es ist deutlich zu erkennen, dass Oberflächenwiderstandswerte erreicht werden, die über dem geforderten Grenzwert liegen. Zu beachten ist allerdings, dass der Oberflächenwiderstand abnimmt, je größer die Menge des aufgetragenen Flussmittels ist. Die Flussmittelmenge sollte deshalb so dosiert werden, dass die zu benetzenden Flächen vollständig, aber mit einer dünnen Flussmittelpulverschicht bedeckt sind (vgl. Kap. 6.1).

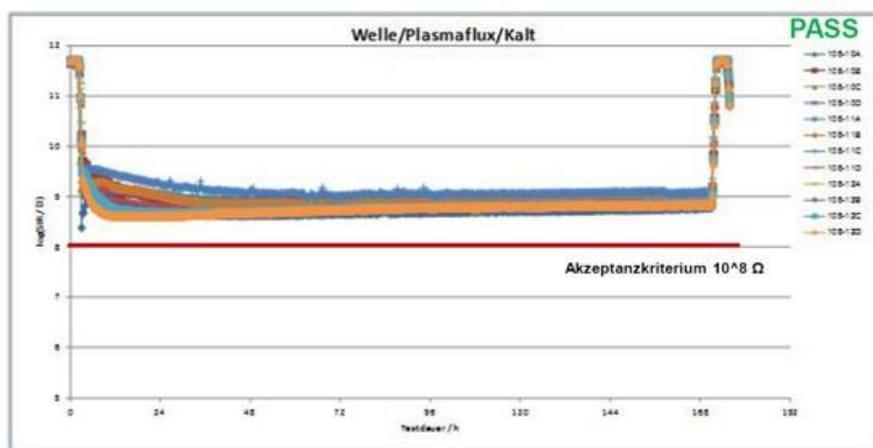


Abb. 44: Ergebnis des SIR-Tests für Adipinsäure

Vergleichbare Ergebnisse konnten auch bei anderen Pulvervarianten erzielt werden. Somit ist auch bei der Verwendung von Flussmitteln in Pulverform, im Vergleich zu Standardflussmitteln, mit keiner größeren Gefährdung bezüglich der Klimasicherheit zu rechnen, wenn die Vorgaben für die Flussmitteldosierung eingehalten werden.

## 7. Ökologische und ökonomische Bewertung des Verfahrens

Die Reduktion umweltschädlicher Emissionen ist nach wie vor eines der Hauptziele, um den Einfluss auf das Klima und die damit verbundenen Folgen einzudämmen. So konnten zwar die VOC-Emissionen im Zeitraum von 1990 bis heute in Deutschland erheblich reduziert werden /16/ (Abb. 45). Industrieprozesse haben jedoch nach wie vor durch die Verwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten einen erheblichen prozentualen Anteil an der Gesamtemission. Nach der Revision der NEC-Richtlinie /17/ in 2016 ist eine Absenkung der VOC-Emissionen (ohne Methan) um weitere 28 % als Zielsetzung bis 2030 festgelegt.

**Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan (NMVOC) nach Quellkategorien**

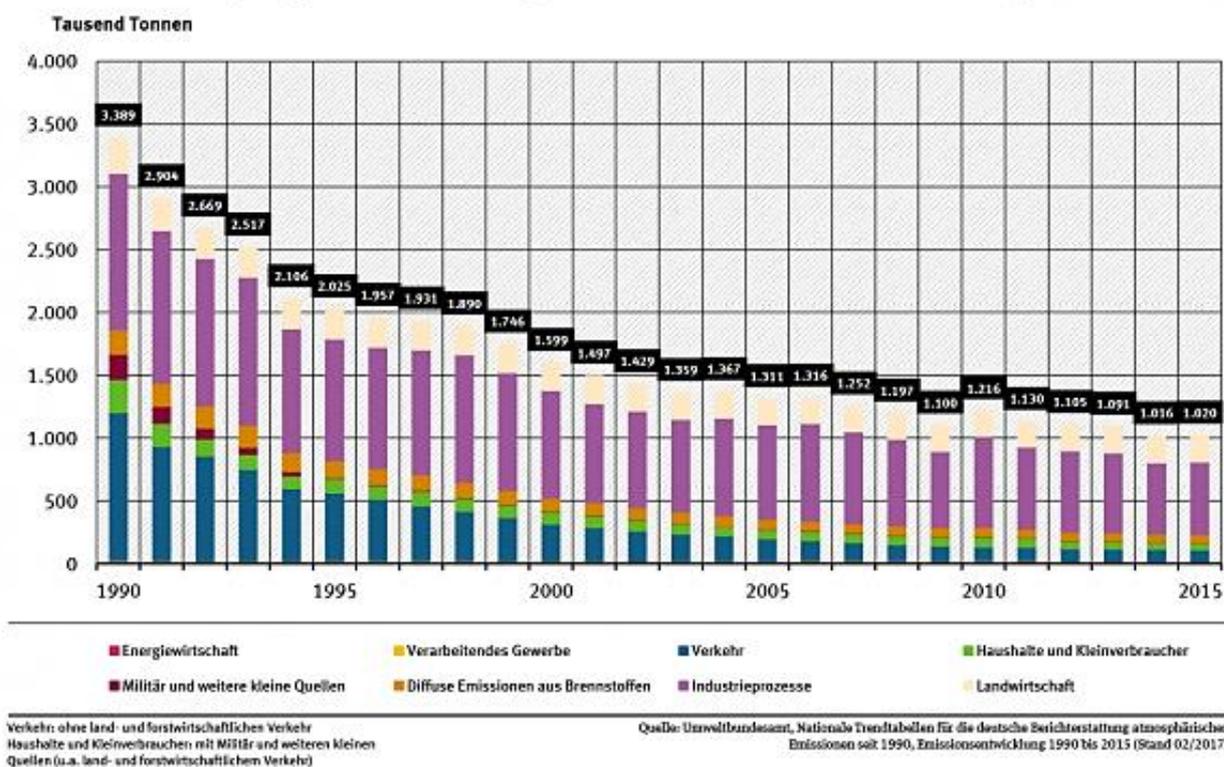


Abb. 45: Entwicklung der VOC-Emissionen in Deutschland /14/

Da in der Elektronikfertigung derzeit allein in Deutschland pro Jahr über 1000 t alkoholbasierte Flussmittel mit einem Lösemittelanteil von 90 - 95% verbraucht werden kann durch einen Umstieg auf den VOC-freien Plasmalötprozess ein erheblicher Beitrag zur Reduzierung der VOC-Emissionen geleistet werden. Ein wesentlicher Punkt für die Etablierung eines neuen Prozesses in einer Fertigung sind natürlich auch die Kosten. So ist es notwendig, dass sich der Prozess selbst, verglichen zu dem Standardprozess, nicht erheblich verteuert und sich die Investitionskosten für die neue Technik schnellstmöglich amortisieren. Die Abschätzung der Kosten zwischen beiden Verfahren erfolgte auf der Basis von Annahmen (Tabelle 3):

Tabelle 3: Kostenvergleich Standardverfahren - Plasmalöten

	Preis / Einheit	Preis / Jahr
<b>Standardfluxer</b>		
Anschaffungspreis	39.000 €	
Flussmittel (3000 l)		26.400 €
<b>Plasmafluxer</b>		
Anschaffungspreis	63.000 €	
Flussmittelpulver (225 kg)		10.125 €
Plasma (7500 kwh)		1.125 €
Ersatzteile (pauschal)		1.500 €
Stickstoff (5625 kg)		844 €

Bei Hochrechnung dieser Daten in Bezug auf die Betriebsdauer ergibt sich somit bei einem angenommenen Flussmittelverbrauch von 3000 Liter pro Jahr eine Kostenreduzierung für das Plasmaverfahren im Vergleich zum Standardverfahren nach einer Betriebsdauer von zwei Jahren, bei einem angenommenem Verbrauch von 1000 Liter Flussmittel pro Jahr kann mit einer Kostenreduzierung nach ca. fünf Jahren Betriebsdauer kalkuliert werden (Abb. 46). Die Annahmen selbst sind konservativ gerechnet, weitere Faktoren (Einsparungen bzgl. Reinigung, Preisreduktion bei Abnahme größerer Mengen Pulver) sind unberücksichtigt.

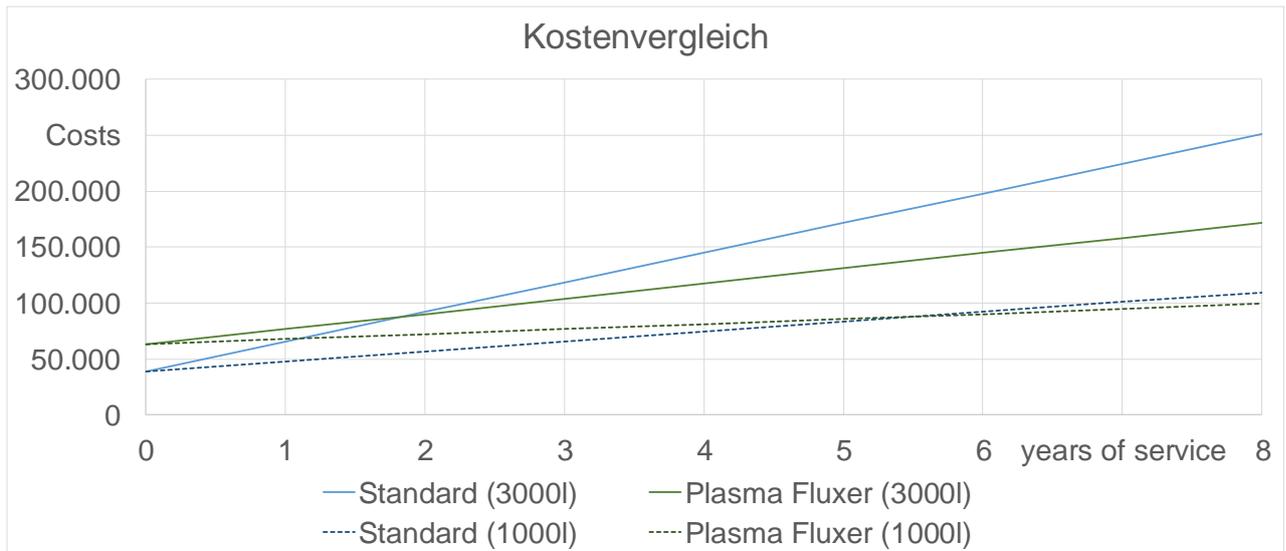


Abb. 46: Kostenvergleich der Verfahren in Abhängigkeit von den Betriebsjahren

## 8. Fazit der Untersuchungen

Im Rahmen des Projekts konnte ein serienreifer „Plasmafluxer“ entwickelt werden, der zukünftig fester Bestandteil des Anlagenportfolios der Fa. Seho sein wird und für Kundenversuche im Demonstrationszentrum zur Verfügung steht. Durch die Publikation von Zwischenergebnisse (vgl. Kap. 9) wurde ein großer Kreis an Interessenten auf das Verfahren aufmerksam, insbesondere konnte erreicht werden, dass ein großer Elektronikhersteller eine grundsätzliche Freigabe des Verfahrens für seine Werke durchgeführt hat und bei der Beschaffung von Neuanlagen der Plasmafluxer und das entsprechende lösungsmittelfreie Pulvermaterial von den Fertigungsverantwortlichen der Produktionsstandorte genutzt werden kann. Insbesondere bei hohen Auslastungen und großem Flussmittelverbrauch ist das Verfahren auch wirtschaftlich sehr interessant. Anhand der durchgeführten Untersuchungen kann sehr gut dargelegt werden, dass das Verfahren direkt als Ersatz des herkömmlichen, lösungsmittelhaltigen Prozesses eingesetzt werden kann. Die Hürden bzgl. Verifizierung und Freigabe des Verfahrens für die jeweiligen Produkte können durch die Verfügbarkeit der Anlage als Demonstrator stark gesenkt werden.

## 9. Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabenergebnisse

Die wichtigste Maßnahme zur Verbreitung ist die Bereitstellung der Prozessanlage im Applikationszentrum von Seho. Die Anlage kann von Elektronikdienstleistern und Fertigungsbetrieben genutzt werden, um das Verfahren direkt an Kundenbaugruppen zu erproben. Fachpersonal zur Unterstützung bei den Versuchen wird von Seho dazu bereitgestellt. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass im Applikationszentrum auch Wellenlötmaschinen zur Verfügung stehen die mit einem Standardfluxer, d.h. flüssigen Flussmitteln arbeiten. Hierdurch können Interessenten einen direkten Vergleich ihrer Baugruppen mit herkömmlichen Flussmittelauftrag und dem plasmabasierten Verfahren bekommen. Inzwischen haben bereits mehrere Elektronikdienstleister die Anlage (in Vorstadien der Serienreife) genutzt und die Verarbeitung von Serienbaugruppen getestet. Durch diese Versuche an realen Baugruppen konnten bereits während der Projektlaufzeit wertvolle Hinweise zur Parameteroptimierung, der Prozessstabilität und dem Wartungsaufwand gewonnen werden. Ein Elektronikfertiger hat sich bereit erklärt eine Prozessanlage in der eigenen Fertigung aufzustellen, um eine weitere Optimierung für einen reibungslosen Serienbetrieb mit voranzutreiben. Inzwischen liegen bereits Angebotsanfragen von Elektronikdienstleistern vor.

Weiterhin werden alle Möglichkeiten der Vermarktungstechnik und der Vertriebswege von Seho, die sich bei der Einführung neuer Prozesstechniken bisher gut bewährt haben genutzt, um das neue Verfahren bei zahlreichen Firmen aus der Elektronikfertigung bekanntzumachen und zu etablieren.

Die Ergebnisse des Projektes werden bei Veranstaltungen im Rahmen von Vorträgen präsentiert, in Fachzeitschriften veröffentlicht und bei Messen vorgestellt. Während des Projektes erfolgte bereits eine Darstellung der Projektergebnisse bei folgenden Veranstaltungen und Messen:

IMAPS-Herbstkonferenz	München, 2016
Elektronik-Technologie-Forum Nord (ETFN)	Hamburg, 2017
FED-Konferenz	Berlin, 2017
Contamination, Cleaning & Coating Conference	Amsterdam, 2017
Zestron Academy	Ingolstadt, 2017
Messe SMT	Nürnberg, 2017
Messe Productronica	München, 2017

## 10. Literatur

- /1/ Liedke V.: Wellenlöten ohne Flussmittel  
Feinwerktechnik & Messtechnik, Heft 7, 1993
- /2/ Liedke V.: Flussmittelfreies Löten durch Plasmareinigen  
ZVE-Technologieforum, Okt. 1994

- /3/ Buße D.: Flussmittelfreies Weichlöten mit einer Plasmavorbehandlung  
PLUS, Heft 7, 2014
- /4/ Forschungsprojekt MST-1102-004 / BAY153 / 003  
Entwicklung eines lösemittelfreien Lötverfahrens für die Baugruppenfertigung  
in der Mikrosystemtechnik  
Abschlussbericht, Sept. 2014
- /5/ Plasmadust-Technologie  
[www.relyon-plasma.com](http://www.relyon-plasma.com)
- /6/ Reinhardt A., Wege S.: Lösungsmittelfreier Flussmittelauftrag durch den Ein-  
satz von Plasma  
FED-Tagung, Sept. 2015
- /7/ Pulver fördern und dosieren  
[www.chemieundmore.com](http://www.chemieundmore.com)
- /8/ [www.sensorinstruments.de](http://www.sensorinstruments.de)
- /9/ Förster T.:  
Fluoreszenz organischer Verbindungen  
ISBN: 3-525.42312-8, 1982
- /10/ Roth F.: Optimierung des plasmabasierten Flussmittelauftrags zur Umset-  
zung lösemittelfreier Wellen- und Selektivlötprozesse  
Studienarbeit, Hochschule Aschaffenburg, 2016
- /11/ IPC A 610, Revision F  
Abnahmekriterien für elektronische Baugruppen
- /12/ J-STD-004  
Requirements for Soldering Fluxes
- /13/ DIN EN 61190-1-1  
Verbindungsmaterialien für Baugruppen der Elektronik - Teil 1-1: Anforderun-  
gen an Weichlöt-Flussmittel für hochwertige Verbindungen in der Elektronik-  
montage
- /14/ ISO-9454  
Flussmittel zum Weichlöten
- /15/ IPC-9202  
Material and Process Characterization/Qualification Test Protocol for As-  
sessing Electrochemical Performance
- /16/ [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)
- /17/ Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (NEC-Richtlinie)

Anhang I: Datenblatt Adipinsäurepulver

**FLUX POWDER**  
**Adipinsäure**

Kat.-Nr. 6601



**Adipinsäure in pudriger Qualität (ultra fein) für Plasmaanwendungen.**

Technische Daten:

Aussehen:	weiß, homogen, fein pudrig
Schmelzbereich:	145-160 °C
Halogen- / Halogenidfrei:	<0,01%

- VOC FREE
- Kein Gefahrgut beim Versand
- Gute Lötergebnisse
- Saubere Leiterplatten nach der Lötung

**EMIL OTTO**  
Flux- und Oberflächentechnik GmbH  
D-65346 Eltville – Eltviller Landstr. 22  
Tel.: +49 (0)6123 / 70 46 0 – Fax: +49 (0)6123 / 70 46 15



*Die in unseren Beschreibungen genannten Daten sind typische Werte. Sie dienen zu Ihrer Information, stellen aber keine Spezifikationen oder Zusicherungen von Eigenschaften im Sinne von Haftungs- und Gewährleistungsansprüchen dar. Gleiches gilt für die anwendungstechnischen Hinweise, diese sind unverbindlich und betreffen unsere Kunden nicht von einer eigenen Prüfung unserer Produkte auf deren Eignung für die beabsichtigten Verfahren oder Zwecke.*

07/2016

Anhang II: Datenblatt Flux Powder 50.25

**FLUX POWDER**

**50.25**

Kat.-Nr. 6602

DIN EN 61190-1-1: L0

ISO-9454: 2.2.3.B



**Spezielle Pulvermischung in pudriger Qualität (ultra fein) für Plasmaanwendungen.**  
Auf Basis von Dicarbonsäuren und synthetischem Harz, entwickelt für das VOC-freie Plasmalöten.

Technische Daten:

Aussehen:	weiß, homogen, fein pudrig
Additiv:	spezielles synthetisches Harz
Schmelzbereich:	120 -160 °C
Halogen- / Halogenidfrei:	<0,01%

- VOC FREE
- Kein Gefahrgut beim Versand
- Gute Lötergebnisse
- Saubere Leiterplatten nach der Lötung

**EMIL OTTO**  
Flux- und Oberflächentechnik GmbH  
D-65346 Eltville – Eltviller Landstr. 22  
Tel.: +49 (0)6123 / 70 46 0 – Fax: +49 (0)6123 / 70 46 15



*Die in unseren Beschreibungen genannten Daten sind typische Werte. Sie dienen zu Ihrer Information, stellen aber keine Spezifikationen oder Zusicherungen von Eigenschaften im Sinne von Haftungs- und Gewährleistungsansprüchen dar. Gleiches gilt für die anwendungstechnischen Hinweise, diese sind unverbindlich und betreffen unsere Kunden nicht von einer eigenen Prüfung unserer Produkte auf deren Eignung für die beabsichtigten Verfahren oder Zwecke.*