

AUTOMATISIERTE SELEKTIVE

PROZESSE FÜR ZUVERLÄSSIGE VERBINDUNGEN



Autor:

Manfred Fehrenbach

EUTECT GmbH
Wir schaffen Verbindungen

Filsenbergstr. 10,
72144 Dußlingen
Germany

Telefon: 07072/92890-0
E-Mail: info@eutect.de
www.eutect.de



all-electronics.de
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante Artikel und News zum Thema auf all-electronics.de!

Hier klicken & informieren!



1. Kurzbeschreibung

In der Konsumer- und Automotive-Elektronik werden höchste Anforderungen an Qualität, Zuverlässigkeit und Verarbeitung elektronischer Baugruppen gestellt. Automatisierte selektive Verbindungstechniken werden am Markt mit steigender Tendenz zu einem unersetzlichen Verfahren.

Als schwäbische Expertenfirma mit hausinterner Entwicklungsabteilung gilt EUTECT ® *Verbindungstechnik* als innovativer und zuverlässiger Partner für automatisierte selektive Verbindungstechniken mittels:

- Selektiver Miniwellenlötung und Hub-/Tauch-Lötung
- Einzellötstellen mittels LötKolben, Induktion, Laser und Thermode
- Einzelverbindungen über Zusatzdraht mit regeltem Drahtvorschub
- Laser Auftragschweißen mit regeltem Drahtvorschub
- Widerstands-Schweißverbindungen

Dieser Beitrag befasst sich mit der Verarbeitung von THT Elektronik Baugruppen aus den Bereichen Leiterplatten, Flexfolien, Stanzgitter, Hybride, Kupferlackdraht, Induktivitäten und Sondertypen. Auf der Basis umfassender Prozessenerfahrung des Autors werden folgende Themen behandelt:

- Allgemein gültige Grundprinzipien für die Verarbeitung von THT-Bauteilen mit zugehöriger systematischer Vor- Nachteile-Betrachtung der unterschiedlichen Verbindungstechniken
- Thermode-Prozesse mit Temperatur, Kraft-, Weg- und Zeiterfassung
- Regelungstechnische und reproduzierbare Prozessführung von Einzellötstellen
- Prozessfähigkeit und Prozessvisualisierung über SPC-Grenzwerte und BDE-Prozessdaten

2. Der Autor

Manfred Fehrenbach



Als gelernter Werkzeugmacher absolvierte Herr Fehrenbach (Jg. 52) über den zweiten Bildungsweg das Studium der Feinwerktechnik an der Fachhochschule Esslingen. Seit 1978 ist er in eigener Firma als Geschäftsführer tätig. Nach 18 Jahren Sondermaschinenbau spezialisierte er sich mit der Firma EUTECT seit 1996 auf die selektive Verbindungstechnik.

Manfred Fehrenbach engagiert sich mit dem Unternehmen EUTECT ® *Verbindungstechnik* als FED-Mitglied und DVS-Fachkreismitglied im FA7 und FA10. Des Weiteren ist er Referent und Arbeitskreismitglied in BFE, IZM, ZVE, MID und publiziert in Jahrbüchern und Fachzeitschriften.

3. Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzbeschreibung.....	2
2.	Der Autor	3
3.	Inhaltsverzeichnis	4
4.	Einleitung	5
5.	Selektive Verbindungsprozesse	6
5.1.	Entstehung einer Lötverbindung	6
5.2.	Geometrie-Füllgradausprägung der Lötstelle.....	9
5.3.	Prozess-Einflussfaktoren beim selektiven Löten.....	10
5.4.	Thermische Entkopplung von Lötstellen	11
5.5.	Selektive Lötprozesse	12
5.5.1.	Miniwelle-Löten (IW)	14
5.5.2.	Hub-Tauch-Löten (HT)	19
5.5.3.	Der geregelte Drahtvorschub (SWF)	21
5.5.4.	Kolbenlöten mit geregelter Drahtvorschub (SWF-KL).....	24
5.5.5.	Induktionslöten mit geregelter Drahtvorschub (SWF-IL).....	26
5.5.6.	Konzentrisches Laserlöten (SWF-KLL).....	27
5.5.7.	Laser-Abisolieren von Kupferlackdraht (LA)	31
5.5.8.	Thermodenlöten (TL)	32
5.6.	Produkt-Prozessvorbereitung	34
5.6.1.	Selektiver Flussmittelauftrag (FS)	34
5.6.2.	Injekt-Flux Systeme (FS-IN).....	35
5.6.3.	Hub-Tauch-Flux Systeme (FS-HT)	36
5.6.4.	Pinsel-Flux Systeme	36
5.7.	Vorwärmesysteme (VS).....	37
5.8.	Lötrahmen.....	39
6.	Schweißprozesse	40
6.1.	Widerstandsschweißen (WS)	41
6.2.	Luftspaltschweißen.....	43
6.3.	Auftragschweißen mit geregelter Drahtvorschub (SWF-AS).....	43
7.	Prozessautomatisierung	45
7.1.	Automatisierungskonzepte	45
7.2.	Intelligente Automatisierungssysteme (IA/LCIA)	46
7.3.	Automatisierungssoftware	48
7.4.	Produktspezifische Grafische Prozesseinrichtung (PGP).....	49
7.5.	Betriebs Daten Erfassung (BDE) zur Prozessüberwachung.....	50
8.	Zusammenfassung	51
9.	Abbildungsverzeichnis	52
10.	Quellenverzeichnis	53
11.	Danksagung.....	54

4. Einleitung

In den Bereichen der Konsumer- und Automotive-Elektronik, in denen höchste Anforderungen an Qualität und Zuverlässigkeit der Baugruppen gestellt werden, ist die automatisierte Verbindungstechnik zu einem unersetzlichen Verfahren avanciert. Dies erfordert neben der Modifizierung vorhandener Technologien auch neue Verbindungstechniken sowie Teststrategien für die Qualitätssicherung. Eine interdisziplinäre Kompetenz bezüglich Prozesstechnologien und Systemfunktion ist daher unbedingte Voraussetzung für eine fundierte Prozesssicherung, höchste Effektivität und Wertschöpfung im Verbindungsprozess.

Da Verbindungsprozesse in der Mikroverbindungstechnik alle Bereiche der stoffschlüssigen Füge-technik, sowie Bereiche der Beschichtungstechnik umfassen und die Verbindungspartner durch atomare und molekulare Kräfte zusammengehalten werden, berührt moderne Verbindungstechnik Disziplinen wie Chemie, Metallkunde, Galvanotechnik, Physik, Fertigungs-, Werkstoff- und Oberflächentechnik. Für die kunden- und produktspezifische Anwendung und Entwicklung von Füge- und Beschichtungstechniken sind so die Produktgeometrie, die Struktur der Oberfläche und die Materialbeschaffenheit von besonderer Bedeutung und schließen den Einsatz typischer Masselötverfahren wie einer Großlötwellen oder des Reflow-Verfahrens oft von vornherein aus.



Abb. 1: Verbindungstechnik für bedrahtete Baugruppen

Der folgende Beitrag betrachtet die Grundprinzipien der Verbindungstechnik für die Verarbeitung von bedrahteten Bauteilen sowie die Vor- und Nachteile und deren Einsatzgebiete. Die modularen CNC-Lötautomations-Plattformen als Standalone-, Rundtakt-, Inline- oder Roboterkonzeptionen bilden mit Prozessevaluierungs- und Qualitätsbausteinen die Integrationsgrundlage für eine kundenspezifische Gesamtlösung.

5. Selektive Verbindungsprozesse

Die sichere Verbindung und Kontaktierung von leitenden Partnern kann mittels verschiedener Verbindungsverfahren erfolgen. Bedingt lösbare elektrische Verbindungen werden durch Lötprozesse, unlösbare Verbindungen in Schweißprozesse gegliedert. Die Wahl des Verbindungsprozesses ist produktspezifisch sowie anwendungsabhängig und muss unter Beachtung geometrischer Gegebenheiten, der Zuverlässigkeit in Abhängigkeit von Umgebungsfaktoren, Herstellungskosten, der Lösbarkeit, Temperaturbeständigkeit und anderen Faktoren erfolgen.

5.1. Entstehung einer Lötverbindung

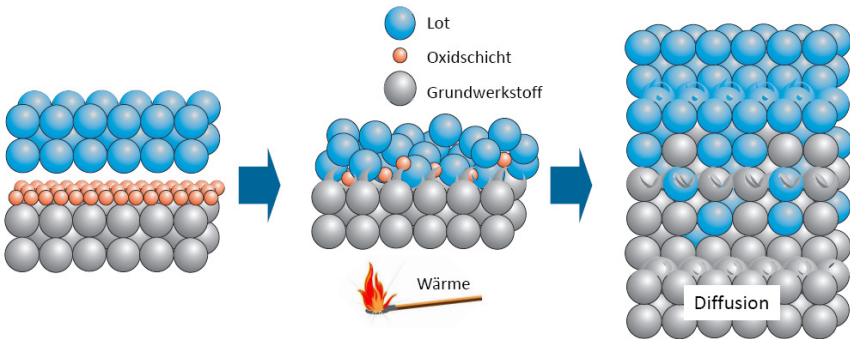
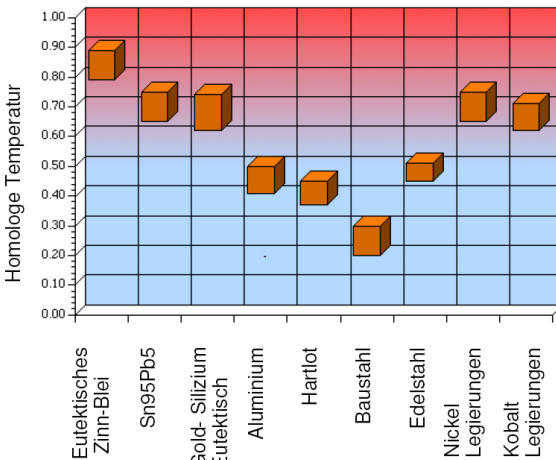


Abb. 2: Entstehung einer Lötverbindung, Quelle: TU-Chemnitz



$$T_H = \frac{T_{\text{Gebrauch}} [\text{K}]}{T_{\text{Liquidus}} [\text{K}]}$$

Abb. 3: Homologe Temperatur (Quelle: Grossmann)

Nach DIN ISO 857-2

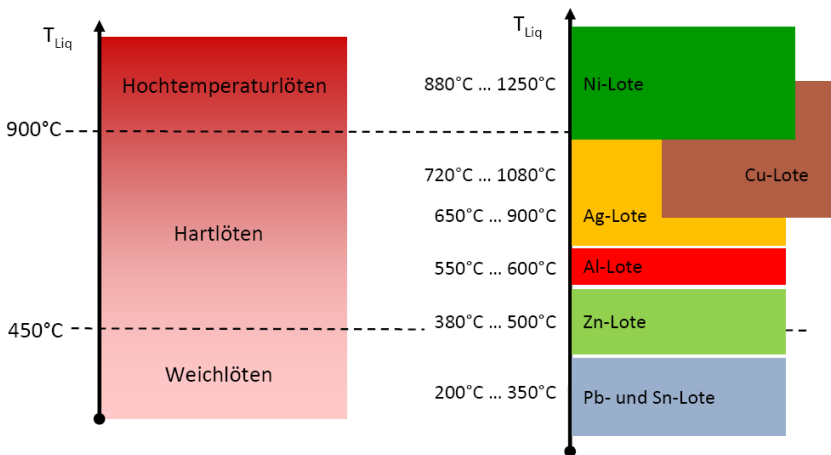


Abb. 4: Einteilung der Lötverfahren, Quelle: TU-Chemnitz

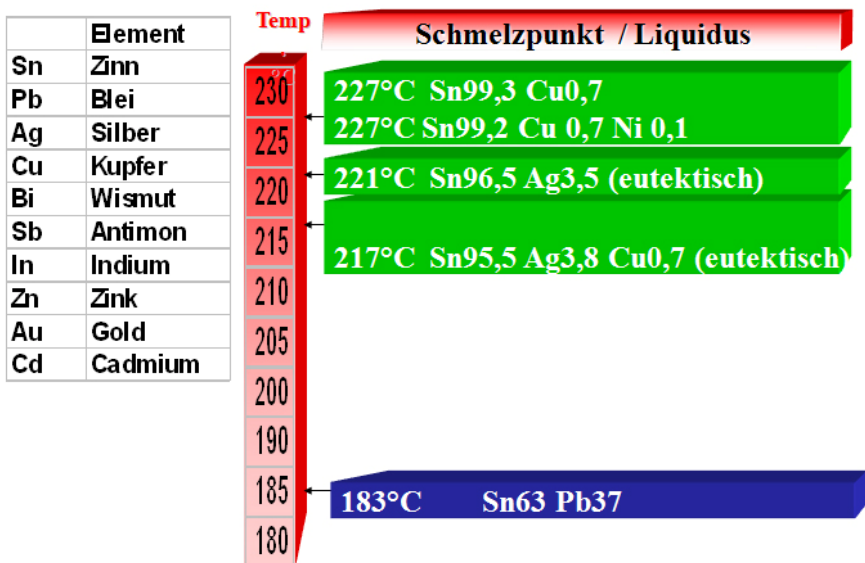
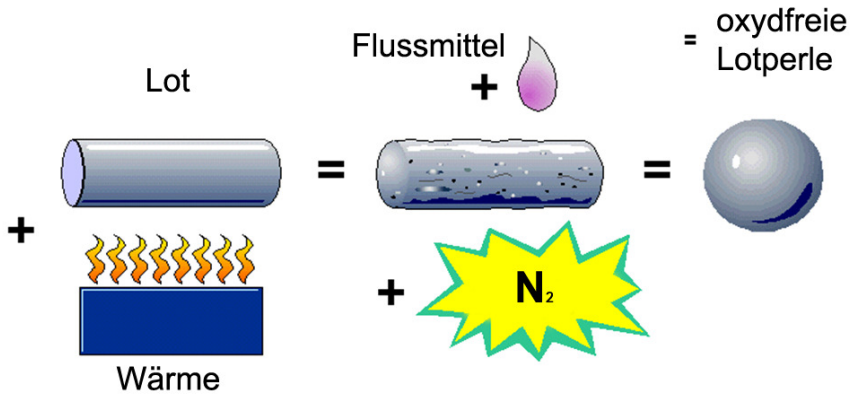


Abb. 5: Schmelztemperaturen beim Weichlöten



Lotdraht + Wärme = Lotschmelze in Oxydhaut
 + Flussmittel und N₂ = oxydfreie geschmolzene Lotperle

Abb. 6: Wirkung von Flussmittel auf geschmolzenes Lot

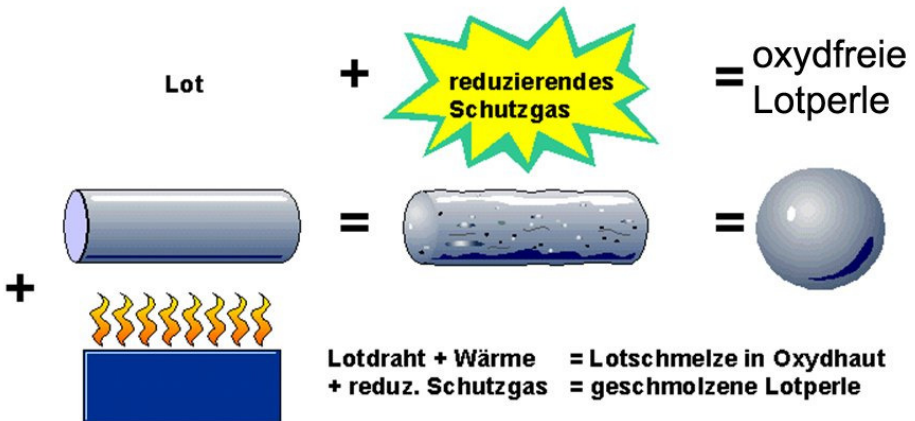


Abb. 7: Wirkung von reduziertem Schutzgas auf geschmolzenes Lot

5.2. Geometrie-Füllgradausprägung der Lötstelle

Die sichere Ausbildung von Meniskus und Gegenmeniskus hängt weitgehend von der Spaltbreite zwischen zu lötendem Pin und zugehöriger Bohrung ab, wobei ein zu enger Spalt die Benetzung mit Flussmittel behindert, ein zu breiter Spalt die Kapillarkraft so weit herabsetzt, dass keine Prozesssicherheit mehr gegeben ist.

Die Lotmenge stellt sich über die kapillare Füllkraft- und Füllgradausprägung über die Lötstellen-Eigensättigung physikalisch selbständig ein. Dabei spült die fließende Lötwellen überschüssige Flussmittelreste ab.

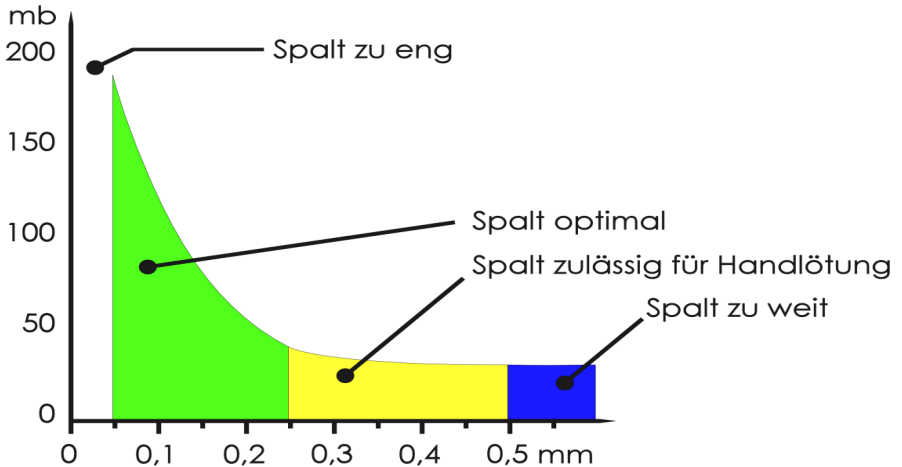


Abb. 8: Kapillarer Fülldruck als Funktion der Spaltbreite

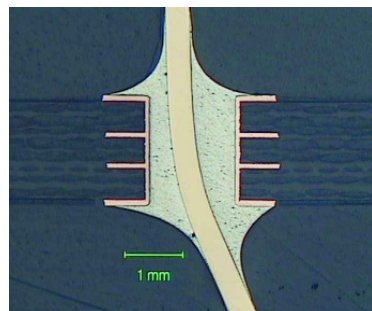
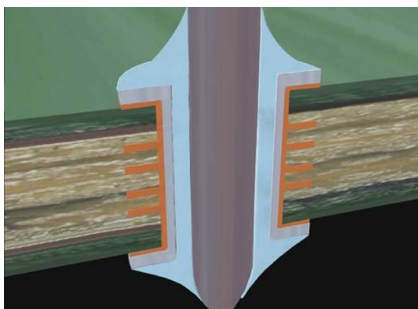


Abb. 9: Bewertung des Lotdurchstieges (Quelle: IPC A-610 DE)

5.3. Prozess-Einflussfaktoren beim selektiven Löten

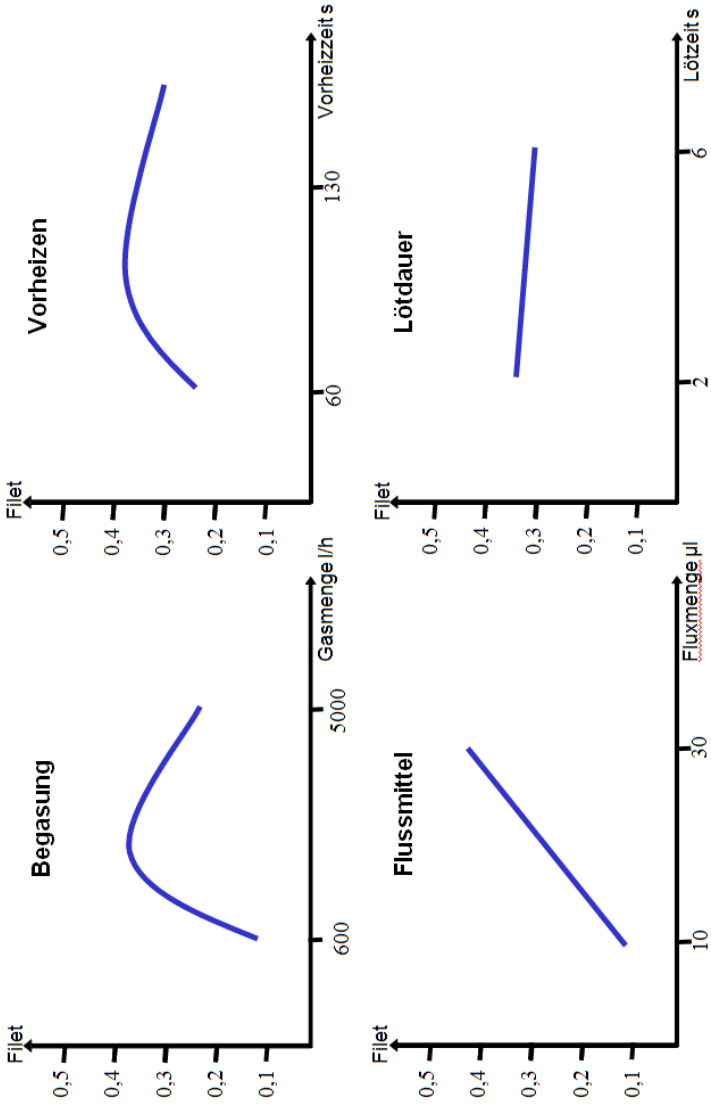


Abb. 10: Einflussfaktoren beim selektiven Löten

Die Füllgradausprägung der Lötstelle wird signifikant durch die quantitative Wechselwirkung von Begasung, Flussmittel, Vorwärmung und den abschließenden Verbindungsprozess bestimmt. Zu den Standardwerkzeugen der ganzheitlichen Prozessanalyse gehört neben der SPC (Statistical Process Control) auch die DoE (Design of Experiments) zur systematischen Findung der produktspezifisch optimalen Lötprozessqualität. Dabei werden die Einflussfaktoren auf den Lötprozess identifiziert, quantitativ und qualitativ nachhaltig und verfügbar gemacht.

5.4. Thermische Entkopplung von Lötstellen

Für eine qualitativ gute Durchstiegs-Ausprägung der Lötstelle muss eine thermisch entkoppelte Layoutumgebung mit mindestens zwei bis vier Anbindungen als Wärmefallen geschaffen werden. Dabei sind die Anbindungen von 0,3 bis 1mm breit vorzusehen.

Die konstant und adaptiv geregelte Temperatur des Lotes und die reproduzierbare Prozesszeit verhindern überhitzte Lötstellen.

thermische Entkopplung von Lötunkten

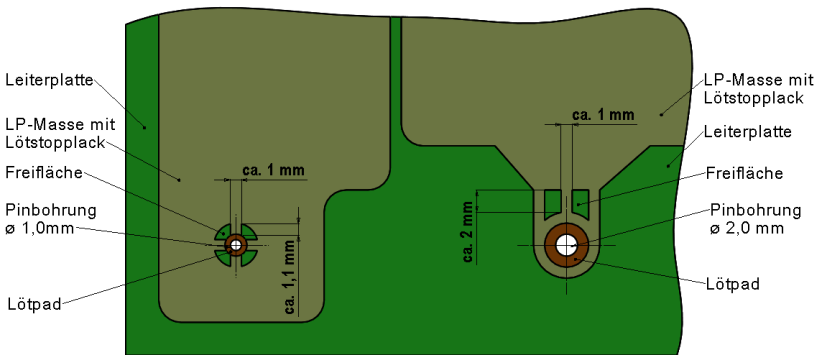


Abb. 11: Thermische Masseanbindung als Wärmefallen

5.5. Selektive Lötprozesse

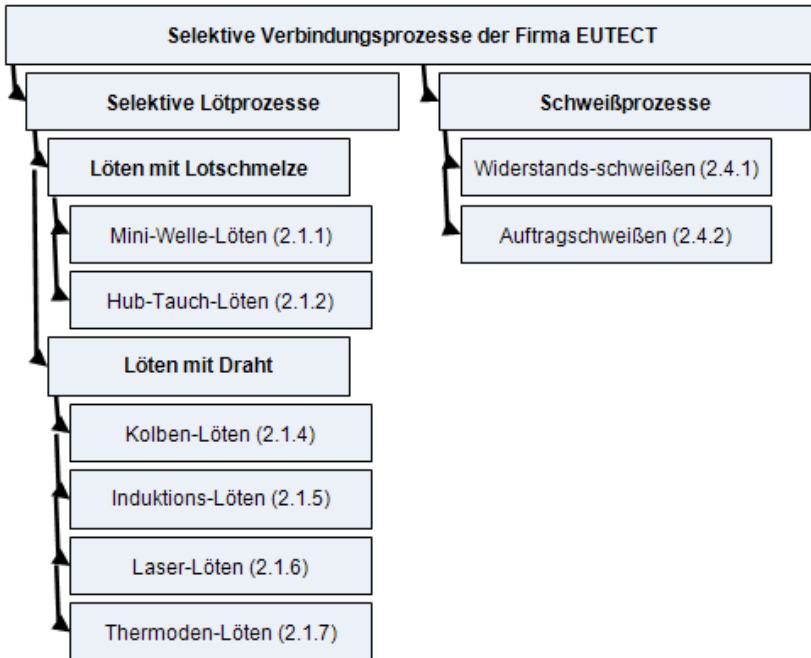


Abb. 12: Übersicht der selektiven Verbindungsverfahren

Das Selektivlöten bietet die Möglichkeit, jede Lötstelle einzeln zu bearbeiten und die Lötparameter individuell darauf abzustimmen. Die thermische Belastung der gesamten Baugruppe reduziert sich auf diese Weise enorm, was sich wiederum positiv auf die Lebensdauer der elektronischen Bauelemente auswirkt. Zusätzlich werden dadurch ein Aufschmelzen bereits bestehender Lötverbindungen sowie die Prozess-Stresseinwirkung auf die Baugruppe signifikant reduziert oder ausgeschlossen. Das selektive Löten reduziert zudem den Verbrauch von Stickstoff, Flussmittel und Energie und erhöht somit die Ökobilanz und die Wirtschaftlichkeit der gesamten Wertschöpfung sowie deren Umweltverträglichkeit.

Für mit Lotschmelze geführte Lötprozesse stehen aktive selektive Mini-Lötwellen sowie statische und dynamische Hub-Tauch-Lötstempel zur Verfügung. Ergänzend dazu sind für die mit Draht geführten Lötprozesse über LötKolben, Induktion, Thermode und Laser mit geregelter Drahtvorschub gesicherte weiterführende Verbindungsprozesse verfügbar.

Abb. 13: Übersicht der selektiven Lötverfahren

Verfahren	Selektive Welle	Hub-Tauch-Aktive/Passive Lötstempel	LötKolben	Laserlöten	Bügellöten	Induktionslöten
						
Arbeitsrichtung	von unten	von unten	alle Richtungen	alle Richtungen	alle Richtungen	alle Richtungen
Kontaktkraft	Lotschmelze	Lotschmelze	berührend	berührungslos	berührend	berührungslos
Wärmeeintrag pro Zeit	hoch	hoch	gering	hoch	mittel	hoch
Reproduzierbare Lötung	sehr gut	gut	befriedigend	gut	befriedigend	gut

5.5.1. Miniwelle-Löten (IW)

Bei der Miniatur-Lotwelle entsteht die frei fließende Lotwelle durch das Hochpumpen der Lotschmelze aus einem beheizten Vorratstank. Nicht benötigte Lotschmelze fließt wieder in den Tank zurück, so dass ein geschlossener Lotkreislauf entsteht. Das auf dem elektromagnetischen Antriebsprinzip basierende Induktions-Lotpump-System arbeitet ohne bewegte Teile im Lot. Der pulsfreie Lotfluss mit eng anliegender Schutzgasatmosphäre ist mit dem homogenen Wärmeübergang Grundlage für beste Lötqualität, die frei von Rückständen und Oxiden den IPC-Anforderungen des intermetallischen Phasenaufbaus entspricht. Durch den über den Lottank und die Lötdüse vorgewärmten Stickstoff wird das vorab aufgebrauchte Flussmittel an der Lötstelle aktiviert und die Lötstelle erwärmt.

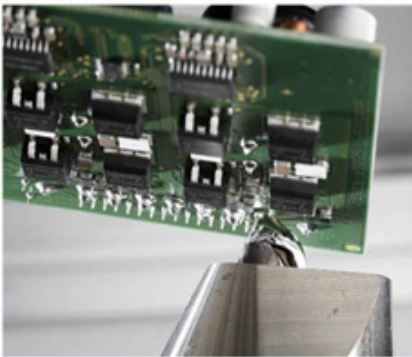
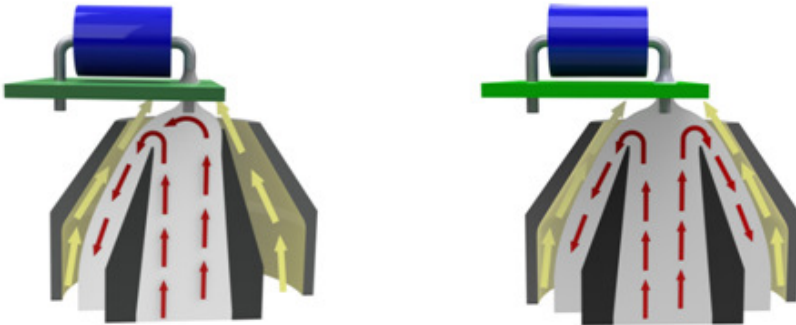


Abb. 14: Mini-Lötwellen, seitlich und rundum-abfließend

Auswechselbare, je nach Anwendung in Punkt-, Linien-, Ring - oder Matrixform ausgebildete Lötdüsen konzentrieren den Lotfluss auf die eigentliche Lötstelle und minimieren daher die Wärmebelastung benachbarter Komponenten.

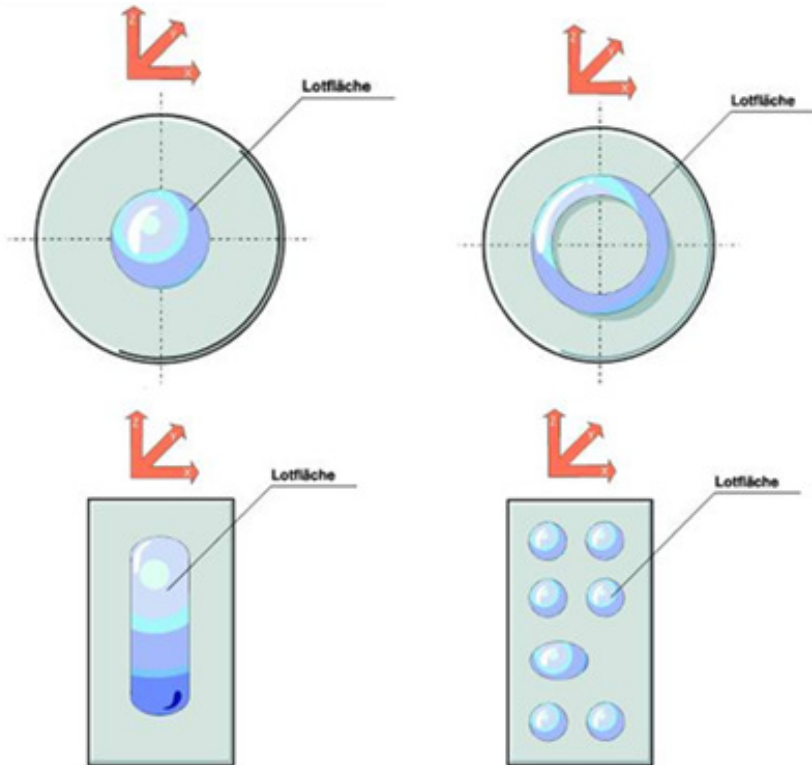


Abb. 15: Miniwellen Lötdüsenformen als Punkt, Ring, Linie oder Matrix

Die homogene Stickstoffumspülung schützt Lötwellen und Lötstellen vor Oxidation. Über die kontinuierlich fließende Lotschmelze wird der Wärmeübergang homogen und umlaufend von der Lötstelle entsprechend der Lötgeometrie aufgenommen.

Matrix-Lötdüsen oder dynamische Hub-Tauch-Löstempel mit mehreren Auslassöffnungen ermöglichen simultane, taktzeitoptimierte und damit wirtschaftliche Lösungskonzepte.



Abb. 16: Die Doppellötdüse halbiert die Taktzeit der Lötautomation

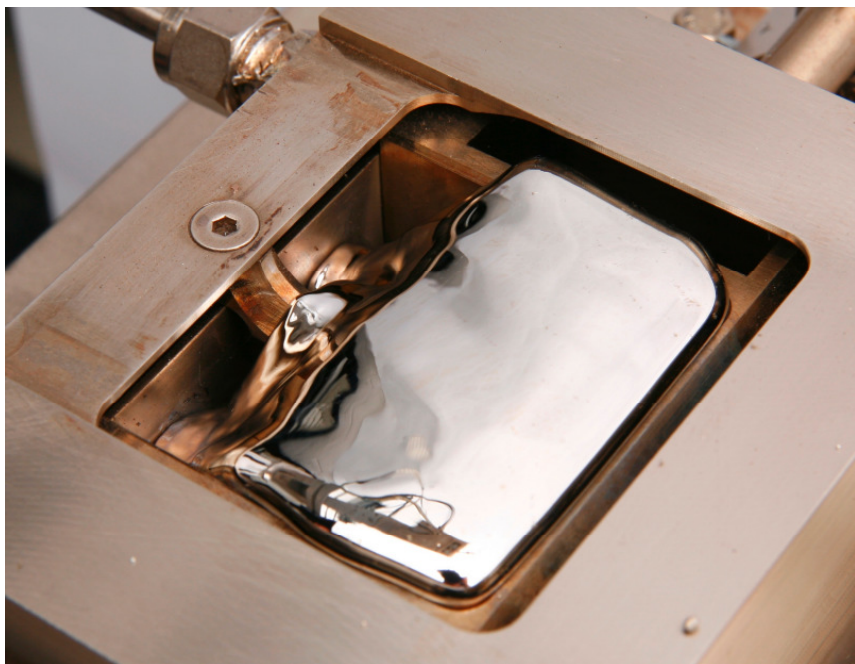


Abb. 17: Lötwellen für großflächigen Prozesseinsatz



Abb. 18: Lötelle für längsförmigen Prozesseinsatz

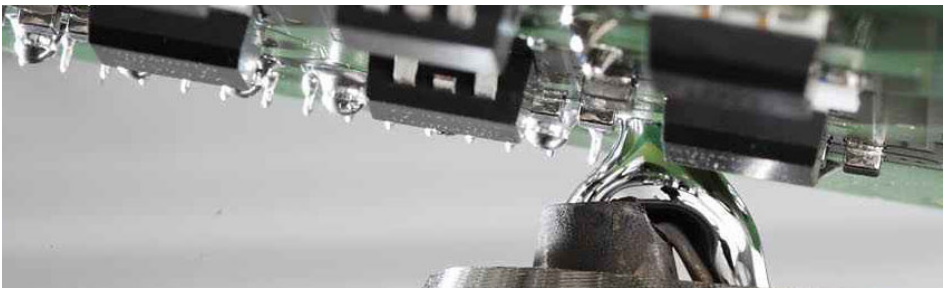


Abb. 19: Lötelle unter definiertem Abrisswinkel

Prozessregelung und Prozesskontrolle hinsichtlich Löttemperatur, Lötzeit und flexiblem Ein-Austausch-Lötabrisswinkel eröffnen beim Einsatz der Miniatur-Lötelle einen breiten Verarbeitungshorizont. Die Betriebsdatenüberwachung (BDE) stellt dabei optional ein zusätzliches Werkzeug zur Prozesskontrolle zur Verfügung.

Der Prozess ist hinsichtlich der Lötstellenqualität durch den kapillaren Toleranzausgleich des fließenden Lotes gegenüber folgenden geometrischen Einflussgrößen unempfindlich: Padform, Pinlänge, Pinlage, dekonzentrische Pin-/Lochlage, thermische unterschiedliche Massenverteilung, Mehrlagenaufbau und Lötstellenwärmebilanz.

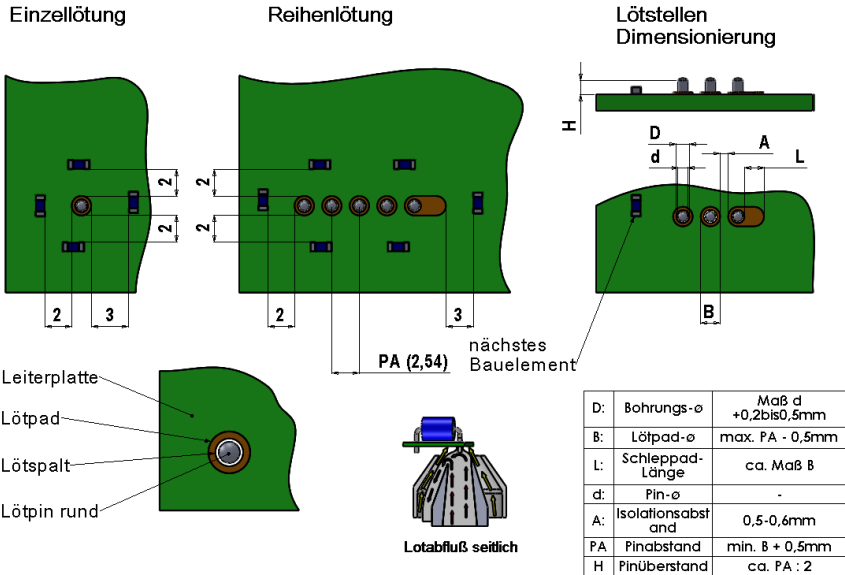


Abb. 20: Layoutvorschlag für Mini-Lötwellen

Die Lötstelle selbst wird durch die kapillare Füllgrad-Lotsättigung physikalisch selbsteinstellend ausgeprägt. Dabei wird die Lotgeometrie auf die Pad-Pinform, Pin-/Lochlage und thermische Massenverteilungen im Leiterplattenaufbau prozesssicher ausgeprägt. Lotdurchstiege, Menisken- und intermetallische Phasenausprägungen runden die Gesamtleistung reproduzierbar und prozesssicher ab.

Insgesamt bietet die Miniwelle eine hervorragende Kontrolle über die wesentlichen Parameter wie Temperatur der Lotschmelze, Wellenhöhe, Wellenposition und über die Lot-Einwirk-Benetzungszeit bezüglich der kompletten Prozessumgebung. Darin ist beim selektiven Wellenlöten mit Miniwelle letztendlich die hohe Qualität der Lötverbindungen und die Sicherheit des gesamten Lötprozesses begründet. Die Miniwelle ist das Verfahren der Wahl, wenn qualitativ hochwertige selektive Lötverbindungen und robuste Prozesse gefordert werden. Von der Leiterplatten- bis zur Kupferlackdraht-Verarbeitung bewegen sich die Löttemperaturen bei der Miniwelle zwischen 250 und 550 °C. Werden sämtliche Parameter im Lötverfahren, bei der Produkt-Entwicklung und der Layouterstellung beachtet und beherrscht, lassen sich mit der Miniwelle ppm- Ergebnisse zwischen 50 und 500 auf die Anzahl der Lötstellen erreichen.

5.5.2.Hub-Tauch-Löten (HT)

Der wesentliche Unterschied dieses Verfahrens zum Mini-Wellenlöten besteht darin, dass eine größere Zahl von bedrahteten Bauelementen gleichzeitig gelötet oder verzinkt werden. Dazu ist das Hub-Tauch-Lötssystem mit unterschiedlichen punkt-, linien-, matrix- oder ringförmigen Lötstempeln ausgestattet. Das Produkt wird über ein Handling oder die aktiven, d.h. fließenden Lötstempel je nach Prozessstrategie zugestellt.

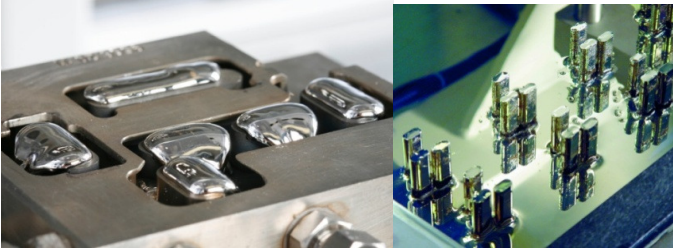


Abb. 21: Dynamische- und statische Hub-Tauch-Lötstempel

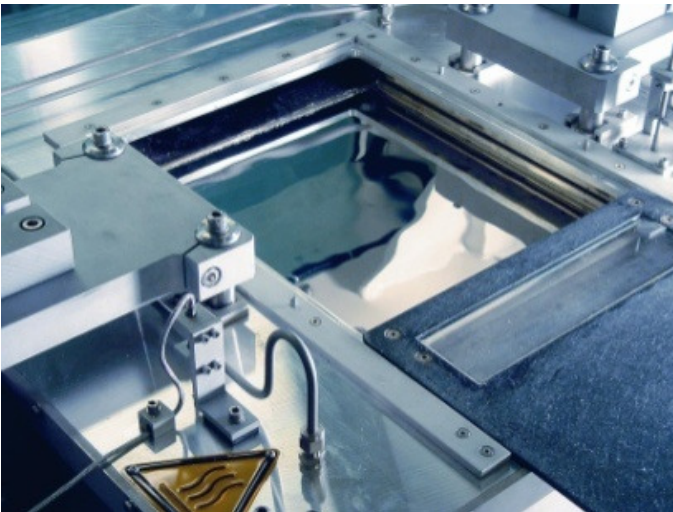


Abb. 22: Verzinnbad mit dynamischer Rake zur Oxidbeseitigung

Sowohl die Lötstempel als auch die Lotbadoberfläche sind von einer Schutzgasatmosphäre gegen Oxidation geschützt. Eine Überhitzung der Lötstelle wird durch die Steuerung der Lötzeit und Regelung der Löttemperatur im Prozess verhindert. Flexible Ein – Austausch – Lötabrisswinkel

(kombinierter Z-Hub mit Abrisswinkelmechanik) eröffnen beim Einsatz der Hub – Tauch – Systeme einen weiten Verarbeitungshorizont.

Hauptvorteil des Hub-Tauch-Matrix-Lötens ist seine sehr hohe Produktivität, bedingt durch die simultane Bearbeitung zahlreicher bedrahteter Bauelemente. So lassen sich n Lötstellen gleichzeitig verlöten. Bei diesem Verfahren wird zwischen benetzbaren und nicht benetzbaren Lötstempeln unterschieden. Bei benetzbaren Lötstempeln können die Lötstellen sehr eng nebeneinander angeordnet sein, da die einzelnen Stempel für den seitlichen und benetzbaren Lotüberlauf weniger Platz benötigen als einseitig abfließende Stempel oder Miniwellen.

Alle Lötstempel können von einer zentralen Lotpumpe kontinuierlich mit Lot versorgt werden.

Über den automatisierten Prozessablauf übertragen diese aktiven „fließenden“ Lötstempel oder statisch gefüllten Lötstempel an alle Lötstellen die gleiche Lötzeit und Löttemperatur auf die Prozessstelle.

Des Weiteren lassen sich im stehenden Verzinnbad Bauteile zur weiteren Verarbeitung verzinnen. Das Handling und damit die Bauteilbewegung zur Prozessstelle erfolgt dabei von der Bauteilseite.

Dimensionierung Hub-Tauch Lötstellen

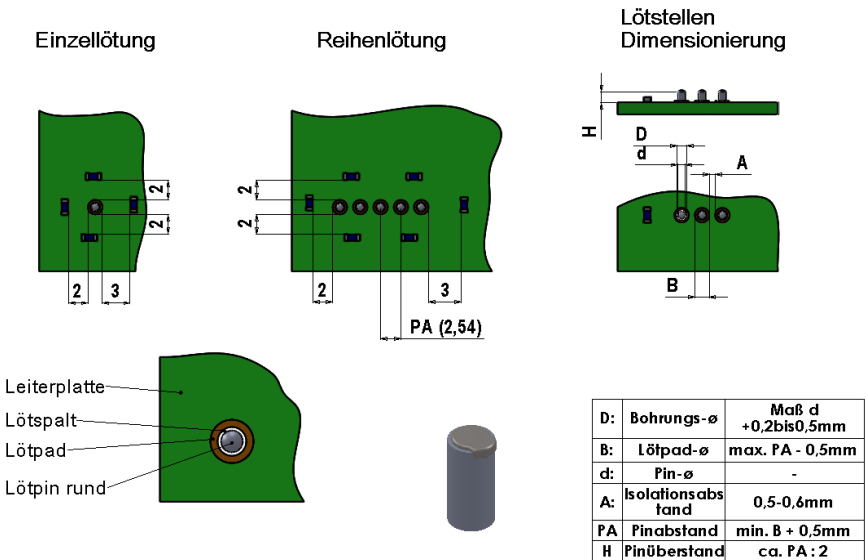


Abb. 23: Leiterplatten Layoutvorschlag Hub-Tauch-Löten

5.5.3. Der geregelte Drahtvorschub (SWF)

Der von EUTECH patentierte geregelte Drahtvorschub (SWF-Sensitive-Wire-Feed) ist für das Kolbenlöten, Induktionslöten sowie für das Laserlöten eine entscheidende Schlüsseltechnologie Voraussetzung, um den gesamten Lötprozess sicher und reproduzierbar zu gestalten. Durch eine exakte adaptive Regelung ist es erstmals möglich, jede dieser drei möglichen Wärmequellen so zu regeln, dass der Lötstelle und der damit verbundenen thermischen Masse nur die prozessspezifische Wärmemenge zugeführt wird, die für den Lötprozess erforderlich ist. Die exakte Zuführung des Lotdrahtes war zuvor immer ein Schwachpunkt dieses Verfahrens. Mit dem geregelten Drahtvorschub wird erstmalig die Wärmequelle über den physikalisch definierten Schmelzpunkt des verwendeten Lotdrahtes eingeregelt. Aufwändige und oft ungenaue pyrometrische Kontrollsysteme können eingespart werden. Die Aufsetzkraft des Lotdrahtes reagiert über den Wärmeeintrag bei Erreichen des physikalischen Schmelzpunktes mit Null-Rückstellkraft. Damit hat die angeschmolzene Drahtspitze über die Prozessumgebung die beste Voraussetzung für eine „warme“ Lötstelle. Durch die gemessene Rückzugskraft beim Einziehen des Lotdrahtes können auch Antennenlötungen, bei denen der Draht an der Baugruppe hängen bleibt, vermieden werden. Die eingebrachte Lot- und Wärmemenge in beide Partner (Prozessfläche an Draht) ist maßgeblich für eine hochwertige Verbindung und unerlässlich für ein gutes Lötergebnis verantwortlich.

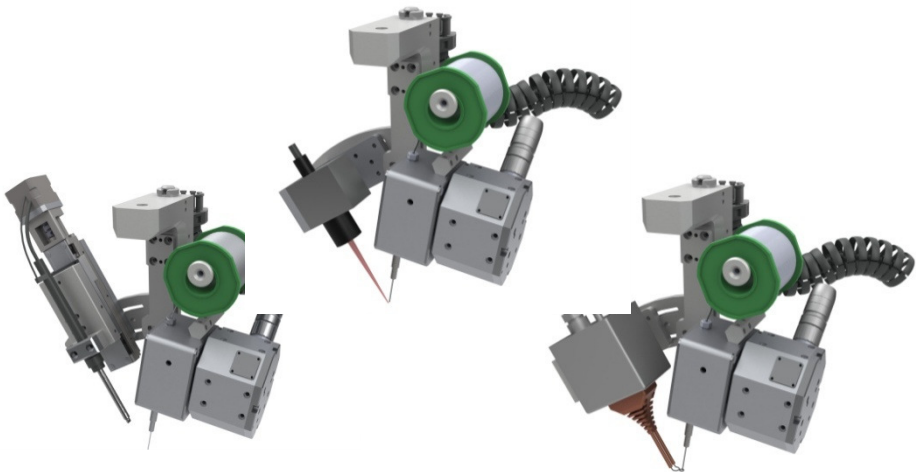


Abb. 24: Sensitive-Wire-Feed, Anwendungsbeispiele

Durch die elektromechanische Sensorik ermöglicht der SWF eine optimal regelbare, reproduzierbare und knickfreie Zuführung des Drahtes und damit der Lotmenge und setzt so in der Prozesssicherheit neue Maßstäbe.

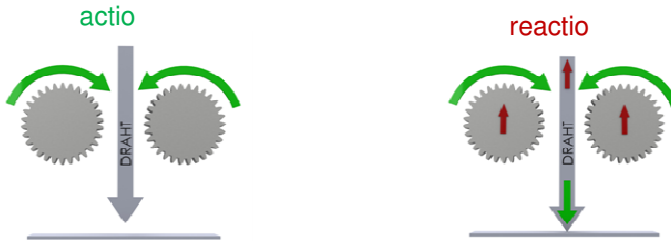


Abb. 25: Wirkprinzip des SWF

Das System erkennt anhand der Veränderung der Drahtanpresskraft den Zeitpunkt, an dem der Lotdraht zu schmelzen beginnt, reagiert auf Fehler wie einen falsch positionierten oder ausgewichenen Draht und überbrückt auch Toleranzen in der Arbeitshöhe. Während sich beim Löten mit Miniwelle und beim Hub-Tauch-Löten die korrekte Lotmenge bedingt durch das Prinzip von selbst einstellt, gelingt dies jetzt mit dem SWF auch bei den genannten selektiven Lötverfahren mit Zusatzdraht durch Definition eines optimalen produktspezifischen Referenzpunktes. Eine vollständige BDE Prozessdaten-Erfassung ist damit bei sicherheitsrelevanten Baugruppen für jede selektive Lötstelle möglich. Damit steht ein weiterer Modulbaustein für die geregelte Drahtzuführung für Verbindungsprozesse mit Zusatzdraht und zugehöriger geregelter Taktzeitoptimierung zur Verfügung. Der SWF kann über fünf mechanische Anbindungen frei in jegliche Applikationen integriert oder über einen Systemadapter mit den übrigen Prozessmodulen kombiniert werden.



Abb. 26: Sensitive-Wire-Feed mit Steuermodulen.

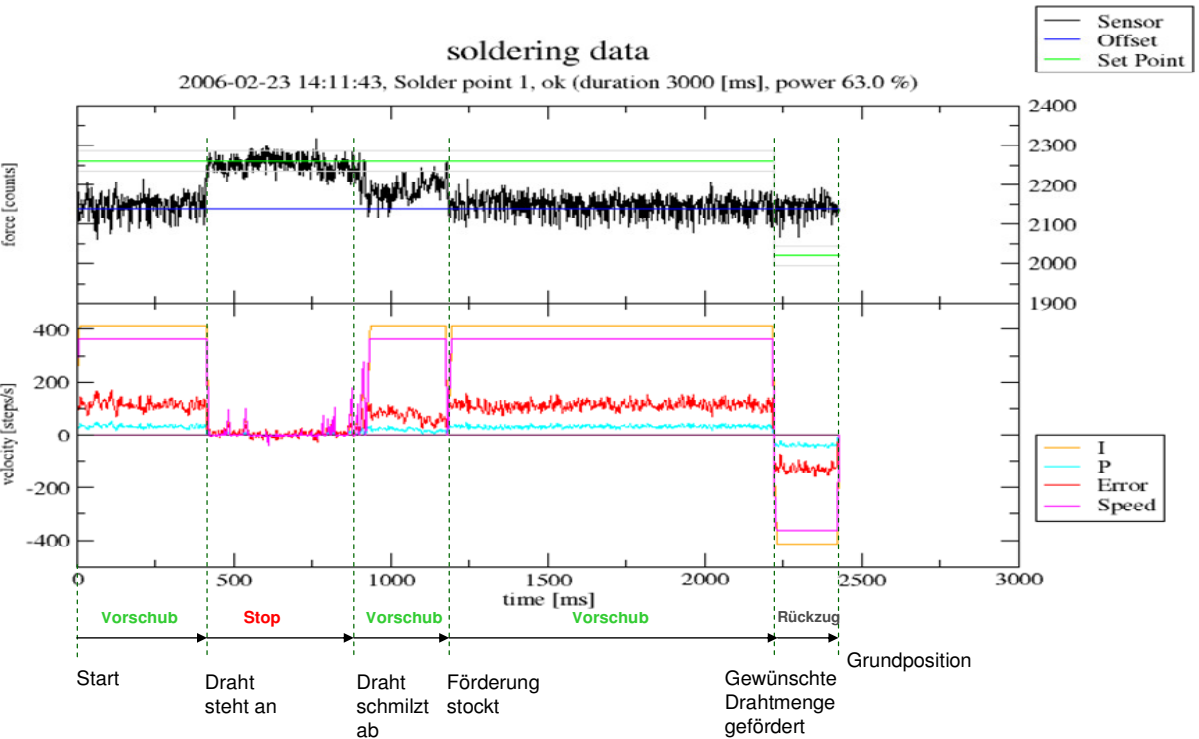


Abb. 27: Regelungsablauf des geregelten Drahtvorschubs

Obere Kurve: Andrückkraft des Drahtes,
untere Kurve: Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Andrückkraft.

5.5.4. Kolbenlöten mit geregelterm Drahtvorschub (SWF-KL)

Das automatisierte Kolbenlöten ist ein Verfahren, bei dem der Wärmeübergang direkt über eine definierbar gefederte Lötspitze auf das Bauteil übertragen wird. Somit ist immer ein optimaler Wärmeübergang zwischen Lötspitze und zu lötendem Bauteil vorhanden. Weiterhin werden Lagetoleranzen der zu lötenden Bauelemente dadurch ausgeglichen. Die Lötspitzentemperatur wird geregelt. Geringe Anschaffungskosten machen das automatisierte Löten mittels LötKolben besonders attraktiv.

Diese zunächst sehr einfache Technik stellt über die Bauteil-, Pad-, Lötspitzen- und Toleranzgeometrien in der Vollautomation eine komplexe Herausforderung dar. Die technische Prozessverfügbarkeit und die damit verbundene Qualitätsausbringung liegen jedoch nur im akzeptablen Bereich. Die Schlechteilrate liegt in der Regel im Prozentbereich.

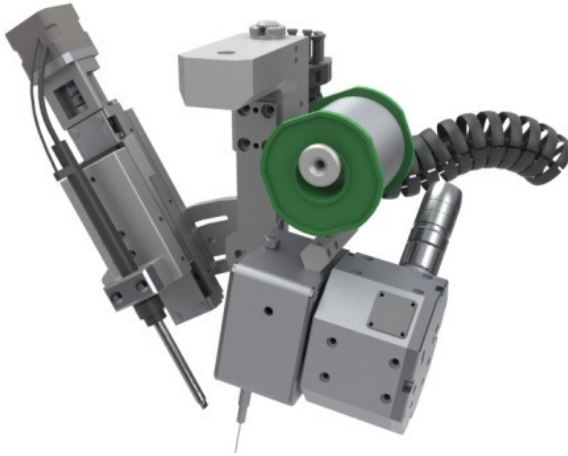


Abb. 28: LötKolbenlötung mit motorischer Lötspitzenzuführung und SWF

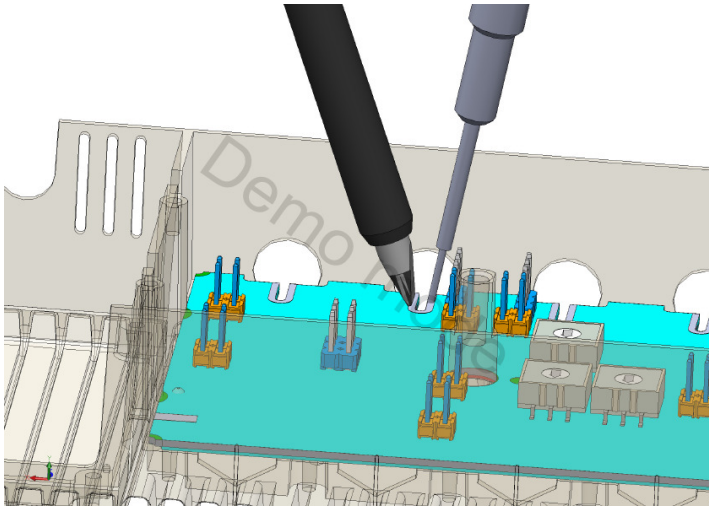


Abb. 29: Lötcolben Pad-Pin-Layoutvorschlag

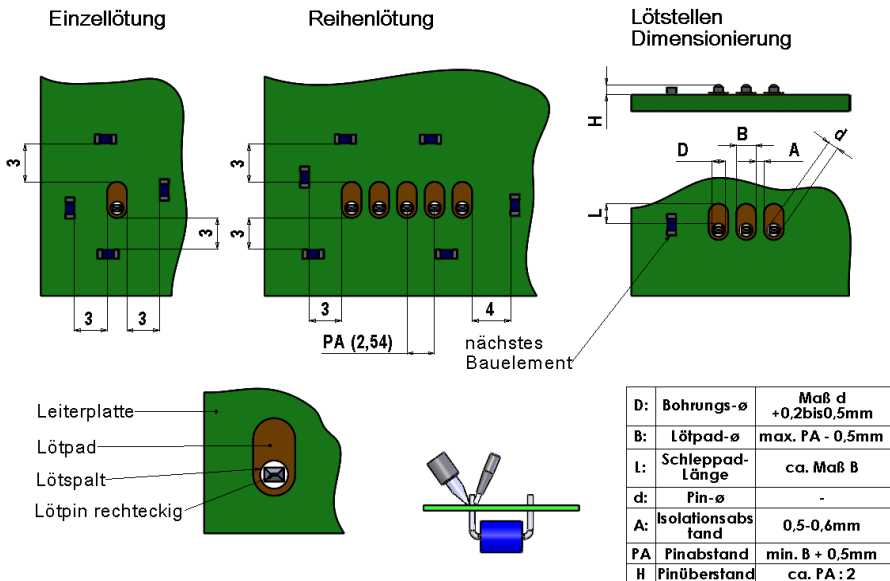


Abb. 30: Leiterplattenlayoutempfehlung für Kolbenlötung

5.5.5. Induktionslötten mit geregeltm Drahtvorschub (SWF-IL)

Bei diesem berührungslosen Verfahren erfolgt die Erwärmung der Lötstelle durch elektromagnetische Induktion. Je nach Frequenz der Erregerschleife wird die Lötstelle eher außen oder innen erwärmt. Hierbei lässt sich die eingebrachte Wärmeleistung sehr genau regeln. Ein signifikanter Vorteil ist die schnelle gleichmäßige Erwärmung der Lötstelle. Nicht zu vernachlässigen sind Abstandstoleranzen zwischen Induktor und Prozessoberfläche, da der Energieeintrag im Abstandsquadrat eingeht. Inzwischen gibt es Geräte, mit denen es möglich ist, die wärmeerzeugenden Wirbelströme in der Lötstelle zu fokussieren. Wie ein Brennglas Licht bündelt, werden über den Feldlinienkonzentrator die Feldlinien gezielt verdichtet und damit die Induktionswärme direkt und gezielt in die Lötstelle eintragen. Die wesentlichen Vorteile sind eine beschleunigte und fokussierte Erwärmung bei einer geringeren thermischen Belastung der Umgebung.

Auf Grund der physikalischen Wirkmechanismen erwärmen die Induktionswirbelströme nur elektrisch leitende Metalle. Beim Induktionslötten werden deshalb Einhausungen, Halterungen und andere Bauteile aus Kunststoff in der Nähe der Lötstelle keiner thermischen Belastung ausgesetzt.

Im Zusammenhang mit dem geregelten Drahtvorschub hat sich das Induktionslötten im Bereich passiver Bauelemente zu einer attraktiven Verbindungstechnik entwickelt, insbesondere bei Produkten mit hohen Stückzahlen und ppm-Anforderungen sowie der Forderung nach einem schnellen gezielten Wärmeeintrag.

Die Löttemperaturen decken den Bereich zwischen 250 und 1.000 °C ab und umfassen damit sowohl Aufgaben für das Weich- als auch das Hartlötten.

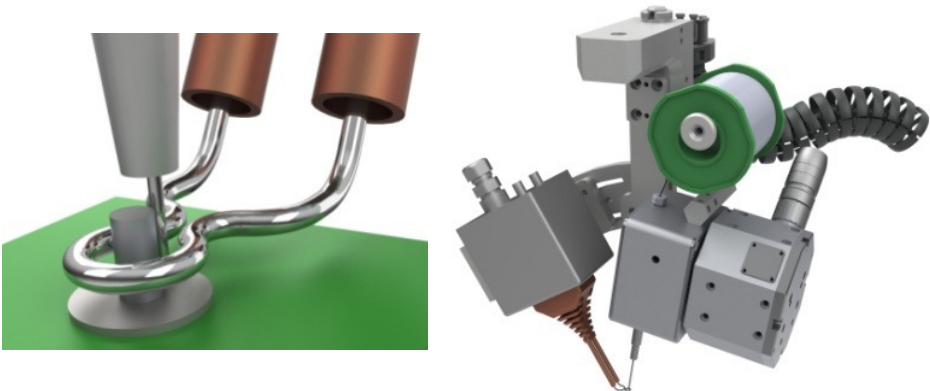


Abb. 31: Induktionslötung mit SWF

5.5.6. Konzentrisches Laserlöten (SWF-KLL)

Das konzentrische Diodenlaser-Löten mit dem geregelten Drahtvorschub gewinnt durch die zunehmende Miniaturisierung und den Einsatz verschiedenster elektronischer Bauteile in einzelnen Baugruppen immer mehr an Bedeutung. Das Laserlöten wird in der Automobil- und Konsumerlektronik eingesetzt, typischerweise bei Produkten mit feinsten Strukturen. Es eignet sich ebenso bei Steckerlötungen, Kabelkonfektionierungen sowie für das selektive, bleifreie Löten empfindlicher Bauteile. Durch die konzentrische Anordnung der Strahlquellen kann in einem Winkel von 360° um den Draht ein in Leistung und Geometrie beliebiger Fokus gewählt werden.

Der Lötprozess wird über den physikalischen Schmelzpunkt des Lotdrahtes eingeregelt. Der schnelle Temperatureintrag in die Lötstelle ermöglicht den Laserlötprozess innerhalb kürzester Zeit abzubilden. Mit der Kombination aus geregelter Drahtzufuhr und konzentrischer Strahlquellenanordnung entsteht erstmalig ein über den Schmelzpunkt des Lotdrahtes geregelter Laserlötprozess. Durch die geregelte Drahtzuführung kann die Laserleistung bei schnellen Änderungen des Absorptions- und Emmisionsgrades während des Lötprozesses – beispielsweise bedingt durch Spiegelungen des aufgeschmolzenen Lotes sowie des eingebrachten Flussmittels – angepasst werden. Damit kann produktspezifisch teilweise auch auf die bei Laserlöten oft schwer definierbare Pyrometrie verzichtet werden. Bei Bedarf können Strahlquellen, die bei empfindlichen Bauteilgeometrien im Prozessumfeld liegen, über die Steuerung in ihrer Leistung angepasst oder ausgeschaltet werden, um damit die Bauteile thermisch zu schonen. Die Möglichkeit, den Fokus exakt zu positionieren, erlaubt das Löten von sehr kleinen, miniaturisierten Lötstellen.

Durch das berührungslose Verfahren ist der Aufwand für Service und Wartung sehr gering und erhöht damit zusätzlich die schon hohe Standzeit der Diodenlasertechnik.

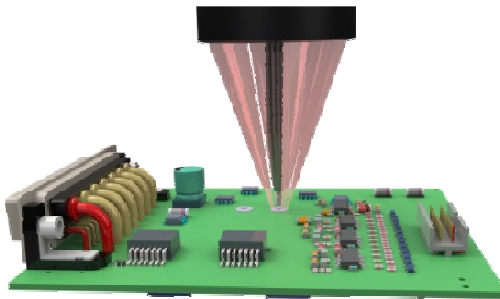


Abb. 32: Konzentrisches-Laserlöten

Das schmelzpunktgeregelte konzentrische Laserlöten:

- konzentrische Laserstrahlen mit bis zu acht Laserdioden, bei Bedarf auch einzeln steuerbar
- Fokusminimum beträgt 0,5 mm
- Schmelzpunktgeregelter Lötprozess
- geregelte Drahtzuführung
- variabler Fokus um den zentrisch geführten Lotdraht
- Laserleistung von 20 bis 200W
- regelbare Leistungsdichte von 0 bis 100%
- keine überhitzten Lötstellen durch schmelzpunktgeregelte Energieeinkopplung
- geregelte Drahtzuführung und Laserleistung in Abhängigkeit der Fügestellen-Wärmekapazität
- hohe Lebensdauer der Dioden ca. 30.000h
- hoher Wirkungsgrad bis über 45%
- Leistungsrückkopplung
- Prozessüberwachung
- kompakte Bauweise
- hohe Flexibilität mit Roboterkinematik

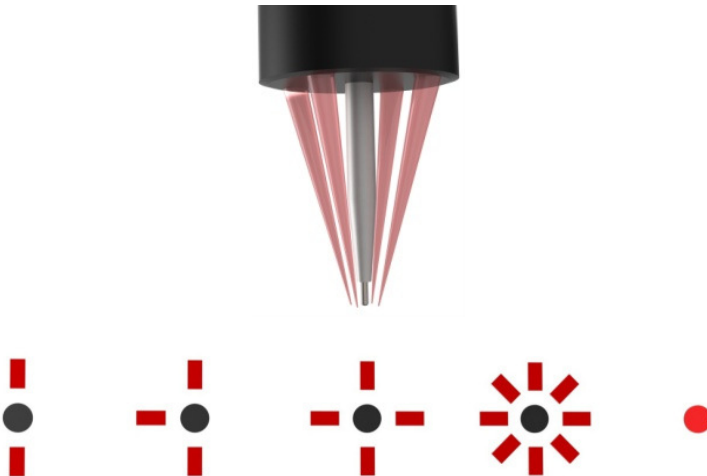


Abb. 33: Variable Fokusgeometrien des konzentrischen-Lasers

Rot= Laserfokus / schwarzer Kreis = zentrisch geregelte Drahtzuführung

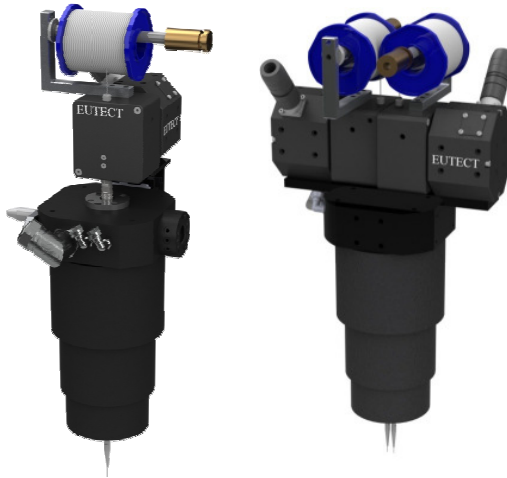


Abb. 34: Konzentrischer-Laser mit SWF Einzel- bzw. Doppelmodul

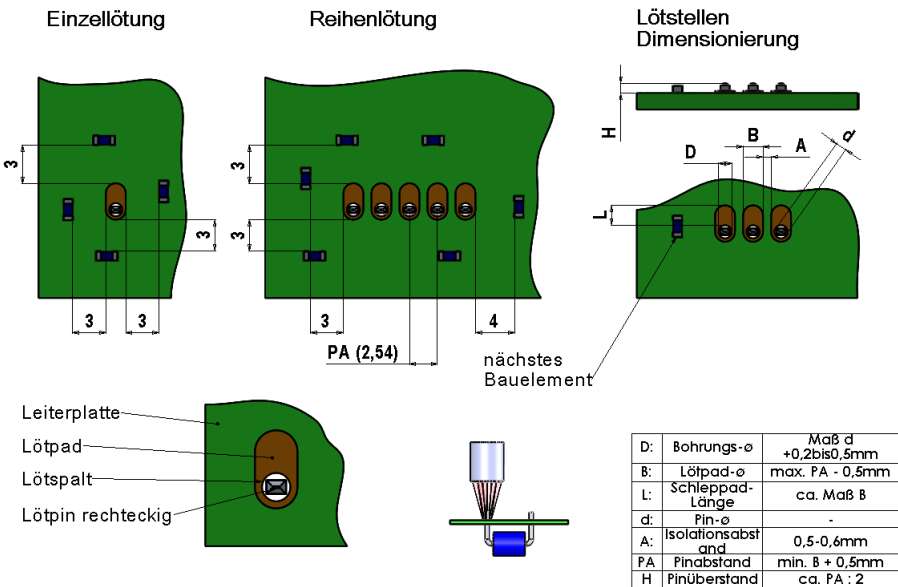


Abb. 35: Leiterplatten Layoutempfehlung für Laserlötprozesse



Abb. 36: Konzentrischer-Laser mit Doppelmodul

Anmerkung:

Nachteile der herkömmlichen, zentrischen Laserlötung liegen in der hohen Reflektion und den daraus resultierenden Verbrennungen von Lötstoplack und Kunststoffteilen, sowie in unregelmäßigen Lötstellen.

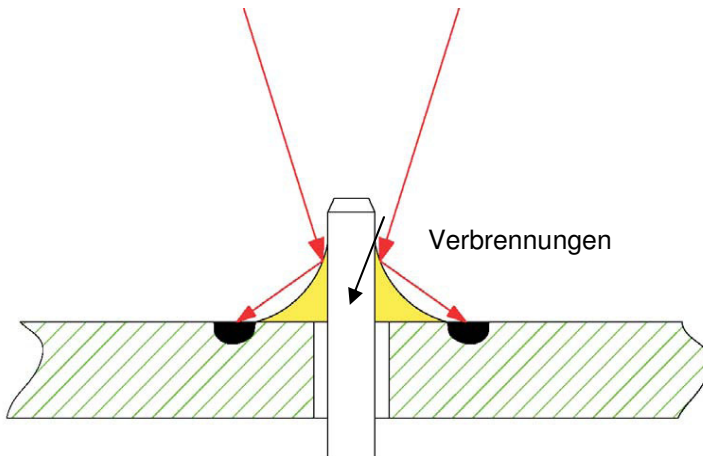


Abb. 37: Verbrennungen durch Reflektionen

5.5.7. Laser-Abisolieren von Kupferlackdraht (LA)

Das Laser-Abisolieren von Kupferlackdraht ermöglicht eine schnelle und verschleißarme Vorbereitung beschichteter Leiter für weitere Prozessschritte. Der in Fokus, Bearbeitungsfenster und damit Leistungsdichte parametrierbare Laser entfernt dabei isolierende Lackschichten vollständig mit einer einstellbaren Abtragate.

Durch exakte Justage der Prozessparameter lassen sich reproduzierbare Ergebnisse erzielen. Somit sind für die weitere Bearbeitung – Verzinnungen, Schweißungen, etc. - optimale Voraussetzungen geschaffen.

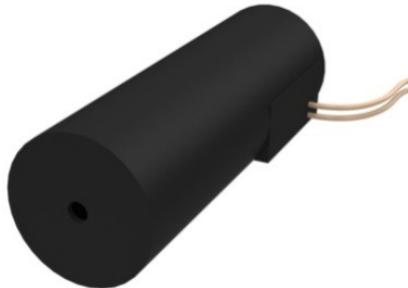


Abb. 38: Laser zum Abisolieren von Kupferlackdraht

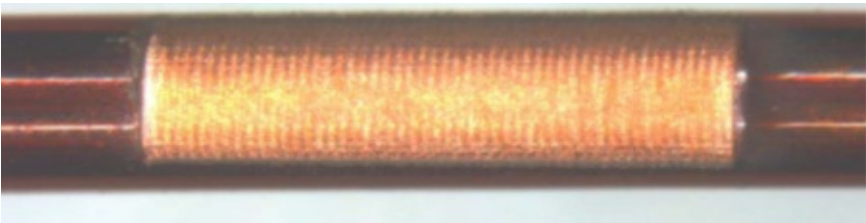


Abb. 39: Laser-abisolierter Kupferlackdraht

5.5.8. Thermodenlöten (TL)

Thermoden- oder Bügellöten ähnelt sehr dem Kolbenlöten. Bei beiden Verfahren wird die Wärme über Kontakt auf das Bauteil übertragen. Im Unterschied zum Kolbenlöten wird die Thermode relativ kalt auf das Bauteil aufgesetzt und erst bei erreichter Anpresskraft auf Löttemperatur gebracht. Die Hitze wird durch elektrischen Strom, der durch die Thermode fließt, in sehr kurzer Zeit erzeugt. Die Temperatur wird nach dem Aufheizen kontinuierlich geregelt.

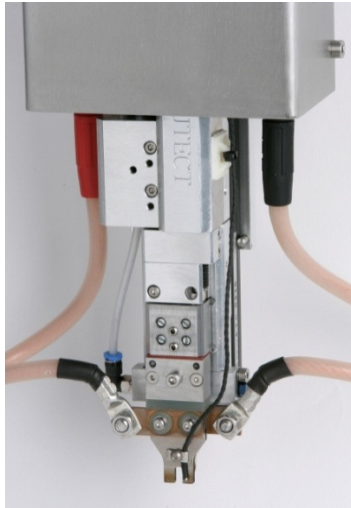


Abb. 40: Thermodenstrang mit Kraft-Weg-Tempersensor

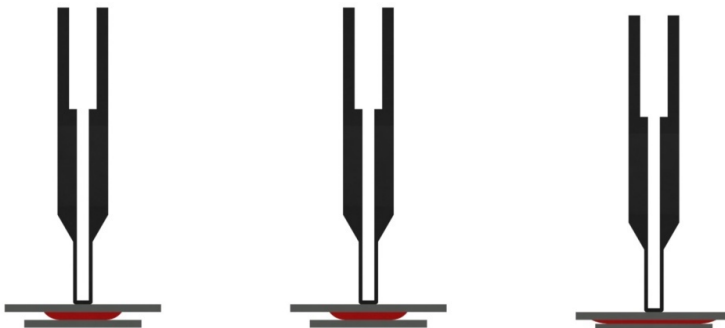


Abb. 41: Prozessablauf des Thermoden-Lötprozesses

Da die Thermode nach dem Lötén relativ schnell wieder abkühlt, kann sie als Niederhalter verwendet werden, so dass beim Abheben der Thermode die Lötverbindung bereits erstarrt ist.

Um das Abkühlen zu beschleunigen, wird die Thermode gezielt mit Druckluft gekühlt. Anwendung findet das Verfahren beispielsweise bei Flexfolien mit Lotdepot sowie bei Flachband- oder Litzenlötungen.

Der Prozess lässt sich sehr gut mit einem sensitiven Drahtvorschub kombinieren. Durch entsprechende Sensorik werden alle für einen sicheren Lötprozess wichtigen Faktoren erfasst. So wird mit der Kraftmessung ein sicheres Anpressen gewährleistet und über den Einsinkweg das erfolgreiche Aufschmelzen des Lotes sichergestellt. Das System ist durch seine Modularität in jede Anlage integrierbar oder kann als Stand-Alone-Maschine betrieben werden.

Anhand nachfolgender Grafik lässt sich die Funktionsweise der Thermodensteuerung erklären. Während der Anfahrt an das Produkt wird die Temperatur auf ein erstes Niveau angehoben (rot, 0-1,8s). Durch den Kraft- und Wegsensor wird die exakte Position der Thermode am Bauteil erkannt. Beim Auftreffen wird die Temperatur der Thermode auf Lötiveau gebracht und bis zum Erreichen des gewünschten Einsinkweges gehalten (1,8-7,5s). Nach einer eingestellten Nachheizzeit wird die Thermode aktiv abgekühlt und ab einer definierten Temperatur wieder abgehoben.

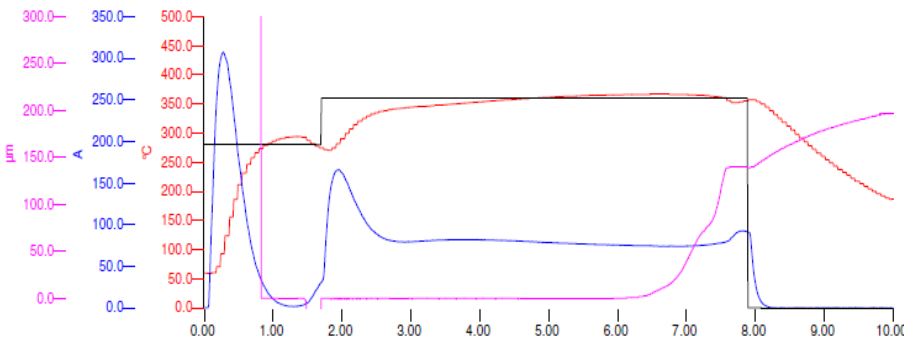


Abb. 42: Thermoden-Lötprozess

pink: Einsinkweg, blau: Thermodenstrom, rot: Temperatur, x-Achse: Zeit in s

5.6. Produkt-Prozessvorbereitung

5.6.1. Selektiver Flussmittelauftrag (FS)

Verfahren	Injektfluxen	Sprühfluxen	Pinsel selektiv	Hub-Tauch-Fluxen
				
Auftragsart	punktuell	flächig	punktuell	flächig
Arbeitsrichtung	von oben von unten	von oben von unten	von unten	von unten
Kontaktkraft	berührungslos	berührungslos	mittel	gering
Präzision	sehr gut	befriedigend	gut	gut
Taktzeit	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut
Kontinuierliches Fluxen	ja	ja	nein	nein
Verschmutzung, Drift im Prozess	nein	nein	ja	ja
Überwachungsparameter	Durchfluss und Lichtschranke	Durchfluss	Durchfluss	Abstand

Abb. 43: Möglichkeiten des selektiven Flussmittelauftrags

Viele selektive Verbindungsprozesse fordern als Voraussetzung für einen sicheren und reproduzierbaren Lötprozess ein selektives Auftragen des Flussmittels.

Die Auswahl des Flussmittelauftragsverfahren richtet sich nach Faktoren wie: Maximale Kontaktkraft, Position benachbarter Bauteile, Arbeitsrichtung des Fluxvorgangs, Präzision, Taktzeit, kontinuierliches Fluxen, Prozesseinflüsse, Überwachungsparameter und Selektivität.

Diese Faktoren lassen die Optionen Pinselfluxen, Hub-Tauch-Matrixfluxen, Hub-Tauch-Selektivfluxen, Injektfluxen und Sprühfluxen zu. Als prozesssicheres und schnelles Verfahren hat sich das Injektfluxen mit der kürzesten Taktzeit und bester Präzision in Standardapplikationen durchgesetzt.

5.6.2. Injekt-Flux Systeme (FS-IN)

Der berührungslose, taktzeitoptimierte Flussmittelauftrag mittels Injektfluxkopf kann von allen Richtungen aus erfolgen und ist unabhängig von der Lage.

Die Fluxpunkte können über eine geeignete Visualisierung in Menge und Position parametrisiert werden. Das nachträgliche Einfügen neuer Punkte ist so ohne großen Aufwand möglich.

Die Prozesssicherheit beim Injektfluxen wird über optische Sensorik auf Fluxposition und Flussmittelmenge kontrolliert. Dies ergibt einen reproduzierbaren Flussmittelauftrag, der sich punktuell oder flächendeckend variieren und mittels BDE erfassen lässt.

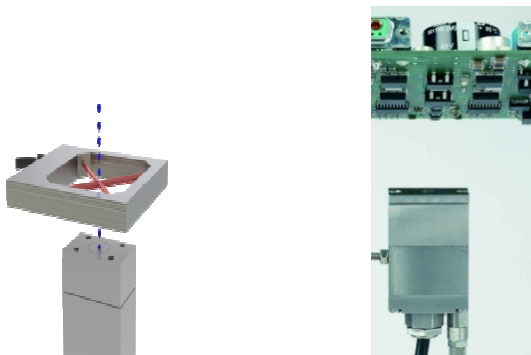


Abb. 44: Injektfluxkopf zum selektiven Fluxauftrag

5.6.3. Hub-Tauch-Flux Systeme (FS-HT)

Ein für alle Flussmitteltypen geeignetes Auftragsverfahren bietet das Hub-Tauch-Matrix-Fluxen. Eine reproduzierbare Benetzungshöhe lässt sich dabei auch mit Flussmitteln mit hohem Feststoffanteil erreichen: Durch eine Hubeinheit werden die Schöpfer an das Produkt auf eine definierte Höhe angefahren. Der Überlauf der Schöpfer definiert die Höhe des Flussmittels. Das Flussmittel wird durch einen Kreislauf gepumpt, ein eventueller Anstieg des Feststoffanteils über Dichtemessungen erkannt und dem Bediener signalisiert. Während der Standzeiten wird das Flussmittel automatisch abgedeckt, um ein schnelles Verflüchtigen des Flussmittels und damit ein Austrocknen der Schöpfer zu verhindern.

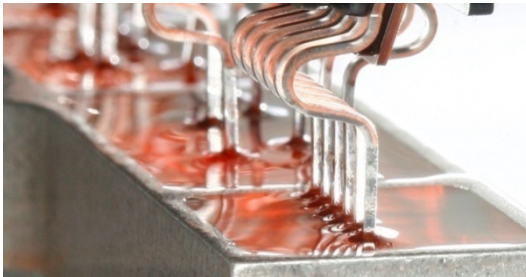


Abb. 45: Hub-Tauch-Matrix im Fluxprozess

5.6.4. Pinsel-Flux Systeme

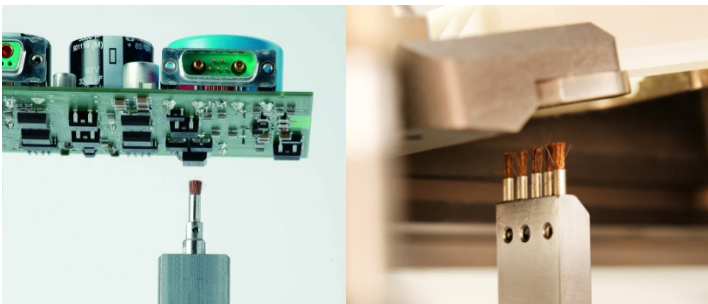


Abb. 46: Flussmittelauftrag durch Pinselfluxen

Das Pinselfluxen ermöglicht eine sehr präzise Vorbereitung der Prozessstelle mit flächendeckendem Auftrag. Spritzfrei können mehrere Fluxpunkte mittels mehrerer Pinsel parallel, reproduzierbar und taktzeitoptimiert benetzt werden.

Dieses Verfahren kommt ab Fluxpunkt-Durchmessern von 1,5 mm zum Einsatz. Dabei lassen sich durch das berührende Verfahren hohe Feststoffanteile auftragen.



Mittels Schwammfluxen lassen sich außerdem größere Flächen benetzen. Nach dem Fluxvorgang wird ein Austrocknen des Schwammes durch wiederholtes Eintauchen in die Flussmittelwanne verhindert. Durch die Online-Dichtemessung des Flussmittels ist die Prozesssicherheit garantiert.

Abb. 47: Flussmittelauftrag durch Schwammfluxen

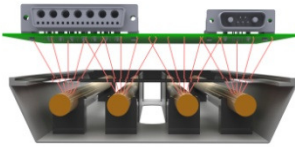


5.7. Vorwärmssysteme (VS)

Durch das Vorwärmen von Baugruppen wird die reine Lötzeit und die Gefahr von Perlenbildung und Temperaturschocks reduziert. Es wird so direkt Einfluss auf die Durchkontaktierung und den Gegenminiskus der Lötstelle genommen und damit die Lötqualität und die Taktzeit günstig beeinflusst. Dabei unterscheiden sich die Vorwärmssysteme grundsätzlich nach der Art ihrer Einwirkung: Konvektionssysteme (Gebläse), Strahlungssysteme (kurz- und langwellig) und induktive Systeme mit jeweils unterschiedlichen Vorteilen. Die Entscheidung für ein System sollte daher produktspezifisch getroffen werden.

Alle Vorheizsysteme werden über Temperatursensoren abgefragt, um den Wärmeeintrag zu regeln und damit über die Prozessdatenerfassung Prozesssicherheit gewährleisten zu können.

Der Gradient der Aufheizphase ist bei einer erreichbaren Vorheiztemperatur von 80°C bis max. 160°C anpassbar. Ein selektives Vorheizen ist durch Maskierung der Wärmequelle zur Reduktion des thermischen Gesamtstresses der Baugruppen möglich. Glasplattenabdeckungen führen dabei zu einem wartungsarmen Maschinenmodul.

Abb. 48: Abgrenzung der Vorwärmverfahren

Verfahren	Strahlung	Konvektion	Induktiv
			
Arbeitsrichtung	von unten	von unten	beliebig
Wärmeeintrag	berührungslos	berührungslos	berührungslos
Selektive Erwärmung	Maskierung	Maskierung	ja
Homogene Erwärmung	möglich	möglich	möglich
Erwärmung ohne Flussmittelaubereitung	ja	nein	ja
Pyrometerparameter	ja	ja	ja

5.8. Lötrahmen

Zur präzisen Positionierung der zu lötenden Bauteile werden bauteilspezifische Lötrahmen benötigt. Die Bauteilaufnahme eines oder mehrerer Bauteile reduziert durch die Selektivität den Temperaturstress benachbarter Bauteile der Prozessstelle. Desweiteren wird durch die Lötrahmen der Rüst- und damit auch der Kostenaufwand bei einer neuen Produkteinrichtung drastisch reduziert.



Abb. 49: Lötrahmen mit Niederhalter für Hallensoren

Je nach Produktgeometrie ist es erforderlich, die Bauteile frei im Raum in Prozesslage zu positionieren. Dazu sind 3D-drehbare Lötrahmen verfügbar, welche sowohl Drehungen der einzelnen Bauteile als auch der kompletten Lötrahmen vollständig und frei programmierbar zulassen.

6. Schweißprozesse

Zur hochtemperaturfesten Verbindung von Bauteilen werden immer häufiger Widerstandsschweiß-Prozesse eingesetzt. Dabei werden die Fügeteile ohne weiteren Zusatzwerkstoff hochfest und sicher über die Schmelze der Grundmaterialien miteinander verbunden.

Das Auftragschweißen zählt dagegen zu den Beschichtungsverfahren und lässt ein exaktes und selektives Aufbringen von Zusatzwerkstoff auf komplexe Produktgeometrien zu.

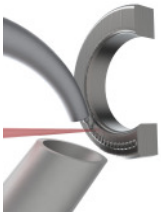
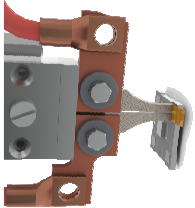

Auftrag		von oben	berührungslos	ja	ja
Luftspalt		von oben	berührend	ja	ja
Widerstand		beliebig	berührend	ja	ja
Schweißverfahren		Arbeitsrichtung	Wärmeeintrag	Selektive Erwärmung	Parametrierbar

Abb. 50: Übersicht Schweißverfahren

6.1. Widerstandsschweißen (WS)

Als Alternative zum Lötprozess bietet sich für temperaturbeständige und stabile Verbindungen der Mikrowiderstandsschweißprozess an. Die Schweißzangen werden entweder als Modul in vorhandene Anlagen integriert oder als Komplettlösung realisiert.

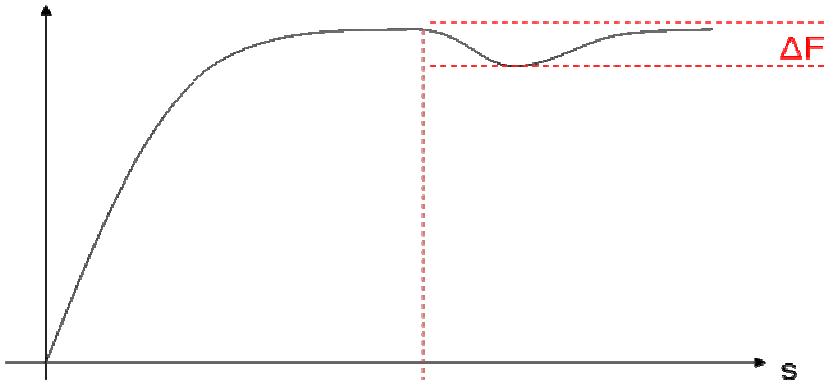


Abb. 51: Kraftdiagramm, Nachsetzung bestimmt die Schweißqualität

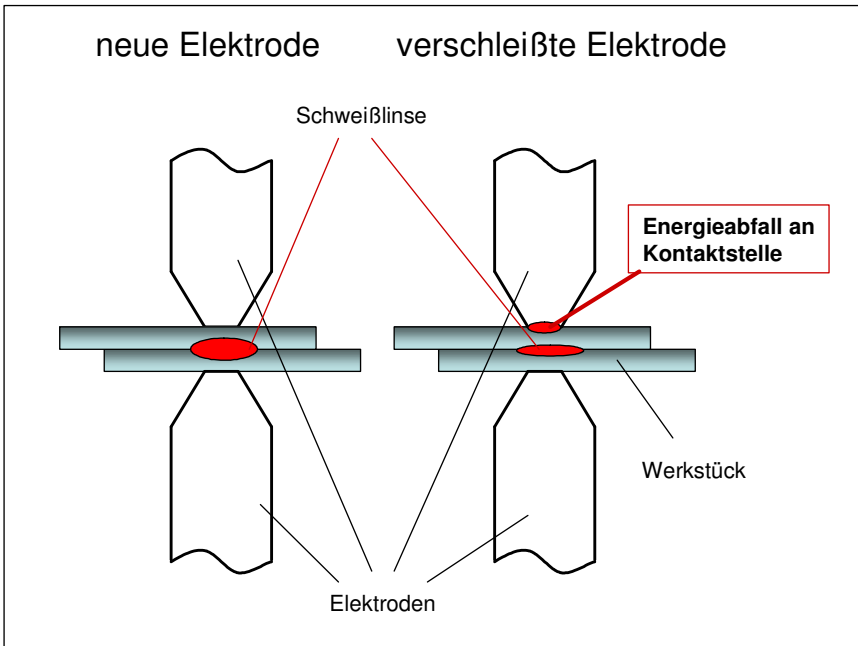


Abb. 52: Schemazeichnung Schweißvorgang

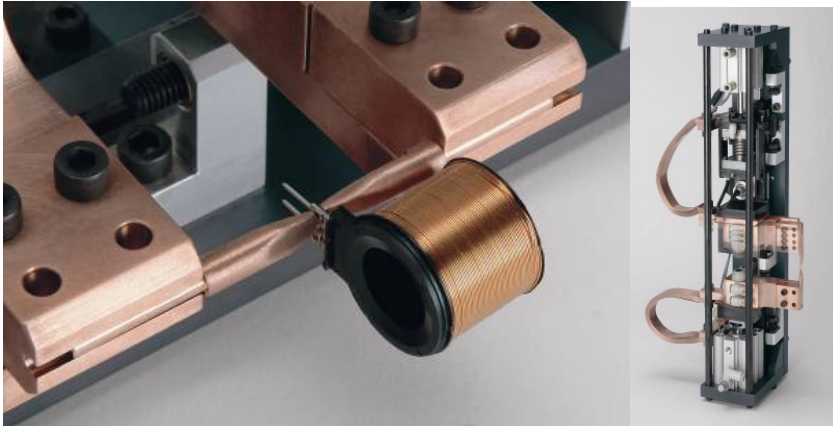


Abb. 53: Schweißzange (SZ)

Widerstandschweißtechnik:

- Horizontaler, vertikaler oder schwimmender Zangenaufbau
- Parallel oder separat schließende Elektroden
- Pneumatische Zustellung der Elektroden
- Nachsetzen mit def. Kraft über pneumatisch betätigten Faltenbalg
- Elektromechanisches Nachsetzen für heikle Schweißprozesse
- Verfahren zur Erfassung aller relevanten Prozessdaten während des Schweißprozesses hinsichtlich Elektrodenkraft / Einsinkweg, Schweiß-Strom / -Spannung, Temperatur an der Elektrode
- Auswertung der Sensordaten über Hüllkurven
- Trendverfolgung über SPC
- Visualisierung und Dokumentation der Prozessdaten
- Parameterdriftverfolgung zur frühzeitiger Erkennung des Elektrodenverschleißes über Elektrodentemperatur-Erfassung

Durch den starken, gezielten und definierten Wärme- und Kräfteintrag an den Kontaktstellen entfällt oft das Abisolieren der Fügepartner als separater Arbeitsschritt. So lassen sich Zeitaufwand und die Schwierigkeit einer Eingrenzung auf eine definierte Kontaktfläche reduzieren.

In den folgenden Arbeitsschritten werden die Werkstücke zwischen den entsprechend geformten Elektroden mit einer definierbaren Kraft zusammengepresst. Anschließend wird über die Elektroden ein Schweißstromimpuls mit wählbarer Dauer und Amplitude zugeführt. Bei Erreichen der Fügetemperatur verbinden sich die Werkstücke so an ihrer Berührungsstelle.

6.2. Luftspaltschweißen

Das Verfahren der Luftspaltschweißtechnik findet Anwendung bei Applikationen, bei denen auf isolierten Untergründen elektrisch leitende Verbindungen hergestellt werden müssen. Im Gegensatz zu üblichen Punktschweißverbindungen werden bei diesem Verfahren die Elektroden parallel zueinander angeordnet.

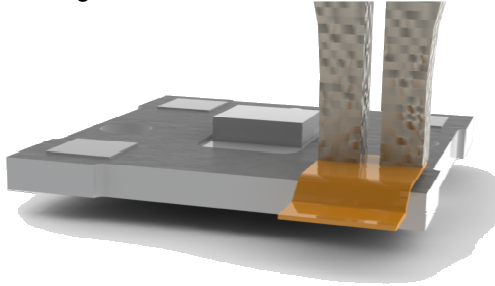


Abb. 54: Luftspaltschweißprozess

Die nachfolgenden Parameter prägen die Luftspaltschweißung: Anpresskraft der Elektroden, Luftspalt, Schweißpad, Stromquelle, Elektroden, Prozesszeit, Strom/Spannung, Querschnitte.

6.3. Auftragschweißen mit geregeltm Drahtvorschub (SWF-AS)

Das eng mit der Löt- und Schweißtechnik verknüpfte Auftragschweißen gehört zwar als Beschichtungstechnik nicht zu den Mikroverbindungstechniken, vereint jedoch Know-How in stoffschlüssigen Füge-techniken und Galvanotechnik und berührt so auch sämtliche Fachbereiche der Mikroverbindungstechnik.

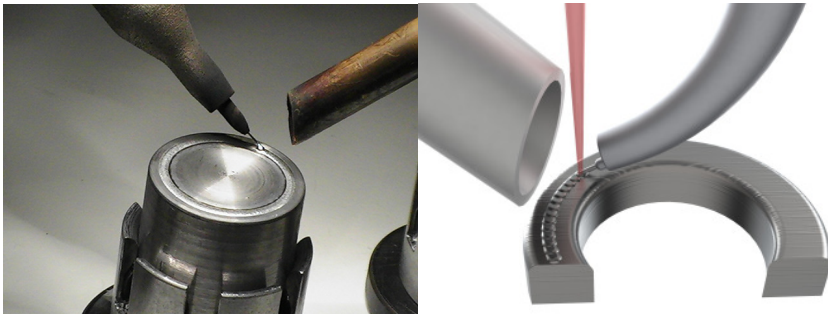


Abb. 55: Auftragschweißprozess mit EUTECT-SWF

Als Verfahren zum Auftragschweißen bieten sich Applikationen mit automatisch geführtem und geregelttem Drahtvorschub an. Als Wärmequelle kommt bei diesem Prozess ein hochenergetischer Laser zum Einsatz. Durch eine übersichtlich und intuitiv gestaltete Visualisierung und Dokumentation der Prozessdaten in der Anlagensteuerung (Panel-PC mit großem Touch-Display) wird die Prozessüberwachung und die Prozesseinrichtung enorm vereinfacht.

Der automatisierte Auftrag-Schweißprozess zeichnet sich durch eine wesentlich höhere Reproduzierbarkeit gegenüber dem manuellen Auftragschweißen aus, da das manuelle Auftragschweißen mit dem Einflussfaktor Mensch behaftet ist.

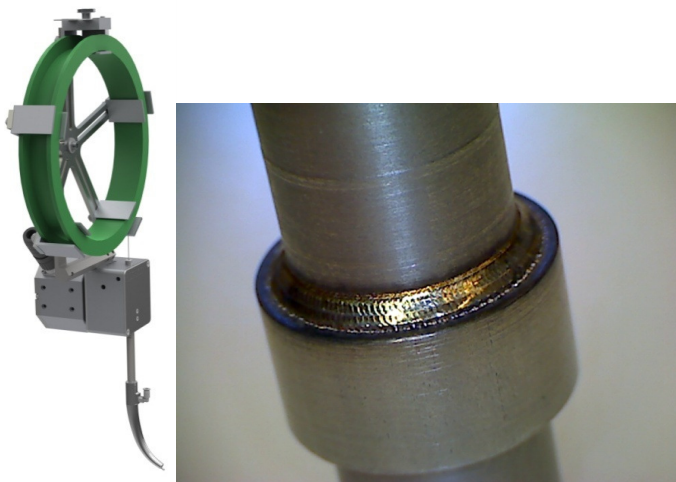


Abb. 56: Gesamtaufbau für die Drahtzufuhr bei Auftragschweißprozessen

7. Prozessautomatisierung

Ist die Evaluierungsphase abgeschlossen und das geeignete Lötverfahren für die spezifische Applikation gefunden, wird die Entwicklung eines zum Verfahren passenden Maschinenkonzepts umgesetzt. Für mit Lotschmelze geführte Lötprozesse stehen selektive Minilötwellen sowie passive und aktive Hub-Tauch-Lötstempel zur Verfügung. Ergänzend dazu sind für die mit Lotdraht geführten Lötprozesse über LötKolben, Induktion und Laser mit dem geregelten Drahtvorschub gesicherte weiterführende Prozesse verfügbar.

7.1. Automatisierungskonzepte

Die Anforderungen an die Gesamtanlage, der Automatisierungsgrad des Verbindungsprozesses sowie die Losgrößen definieren die Auswahl der folgenden Automatisierungskonzepte und deren Modulzusammenstellung. Als Automatisierungskonzepte bieten sich Standalone-, Rundtakt-, Inline-, Roboter und LCIA- Prozessautomatationen an. Welche sich im Aufbau und letztendlich in der Taktzeit maßgeblich unterscheiden.

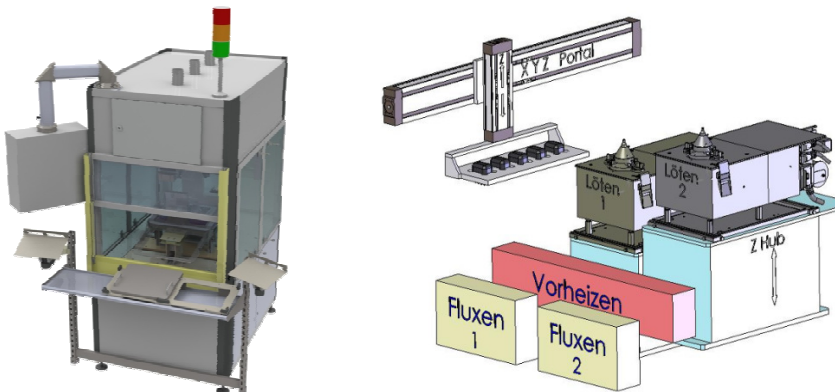


Abb. 57: Standalone-Achssystem

Systemmerkmale:

- 3-Achsen-Lötautomatisierung für hochflexibles Löten von bedrahteten Bauteilen ab Losgröße 1
- Ein zuschaltbares zweites Flux-Lötsystem halbiert die Taktzeit. Eine zweite Löt Düsenvariante steht optional programmgesteuert zur Verfügung
- Die Taktzeit pro Lötstelle liegt je nach Applikation bei ca. 1 bis 5 sec

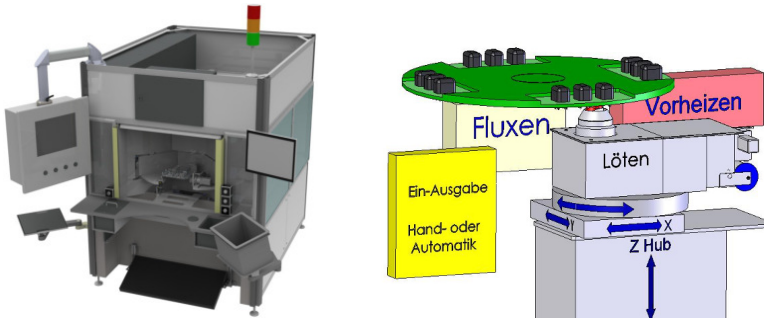


Abb. 58: Standalone Rundtakt

Systemmerkmale für Rundtakt- und Inline-Systeme:

- 4-Stationen Rundtakt-Flux-Lötautomation mit optionaler AOI-Einbindung
- Flux-, Vorwärm- und Lötmodul auf 3-Achs-Plattformen angeordnet
- Durch parallele Flux-, Vorwärm-, AOI- und Lötprozesse ist optimale Stückzahl-ausbringung gewährleistet
- Die Taktzeit pro Lötstelle liegt bei 1 bis 1,5 sec
- Dreischichtbetrieb, Verfügbarkeit 95%

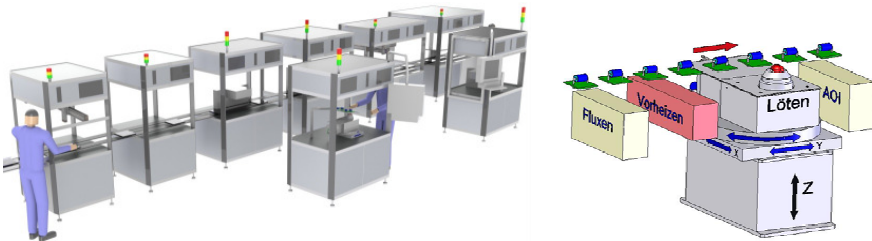


Abb. 59: Inline- und Roboter-Lötautomation

7.2. Intelligente Automatisierungssysteme (IA/LCIA)

Um die Kernpunkte Kostenreduzierung, Flexibilität und Qualität wettbewerbsfähig und damit ökonomisch und ökologisch nachhaltig zu sichern, stehen alle im von der EUTECH Verbindungstechnik entwickelten Modulbaukasten enthaltenen Module für intelligente Automatisierungssysteme (LCIA) zur Verfügung. Die Synchronisierung aller Prozesse ist dabei Grundvoraussetzung und wird von übergeordneten Steuerungselementen übernommen. Insgesamt werden Prozesse dabei erst dann automatisiert, wenn alle manuellen Verbesserungsmöglichkeiten ausgereizt sind. Dadurch

reduzieren sich Kosten im Vergleich mit konventionellen Automations-technologien. Die Intelligenz einzelner Module ermöglicht ein direktes Feedback an den Benutzer, um den Fehlerfaktor Mensch auf ein Minimum zu reduzieren. Damit ergibt sich durch IA eine extreme Flexibilität, sowohl bei kleinen als auch bei großen Produktionslosen und Spitzenbedarf.

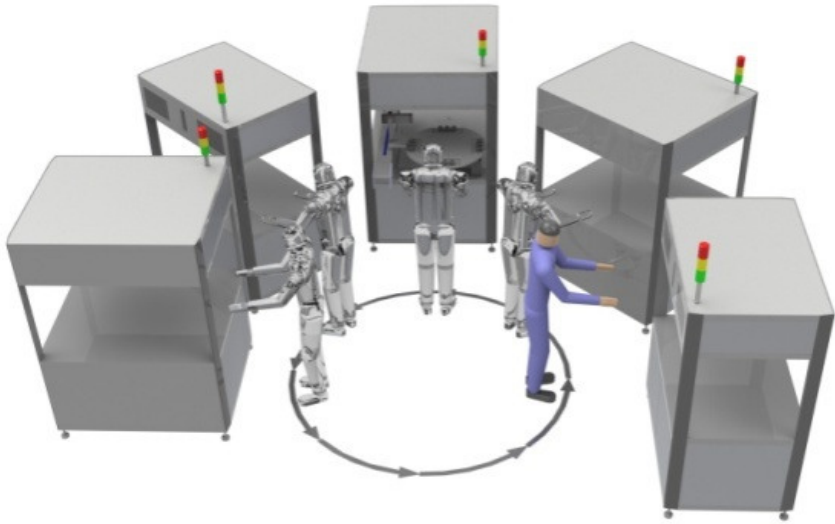


Abb. 60: LCIA - Low Cost Intelligent Automation

7.3. Automatisierungssoftware

Bedingt durch hohe Produktvielfalt, schnelle Produktwechsel und one-piece-flow Fertigungsstrategien entscheidet im Besonderen die Bedienoberfläche der Mensch-Maschinen-Beziehung über die Wirtschaftlichkeit der selektiven Lötautomation.

Dazu werden modulare Software-Objekte, welche aufgabenspezifisch anpassbar sind, eingesetzt. Diese sichern zum einen die Evaluierungsphase und den laufenden störungsfreien Maschinenbetrieb, sorgen jedoch auch für eine lückenlose Betriebs- und Maschinendatenerfassung und erleichtern die Prozess-Einrichtung. Der umfassende Software-Modulbaukasten wird EUTECT- intern ständig aktualisiert und lässt sich applikationsspezifisch in erprobte und aufeinander abgestimmte Softwaremodule unterteilen. Durch ein intelligentes Zusammenspiel der Soft- und der vorhandenen Hardwarekomponenten kann zusätzliche Hardware ersetzt oder reduziert werden, was sowohl potenzielle Fehlerquellen als auch Systemkosten auf ein Minimum reduziert und damit noch nachhaltigere und ökologischere Entwicklungen ermöglicht.

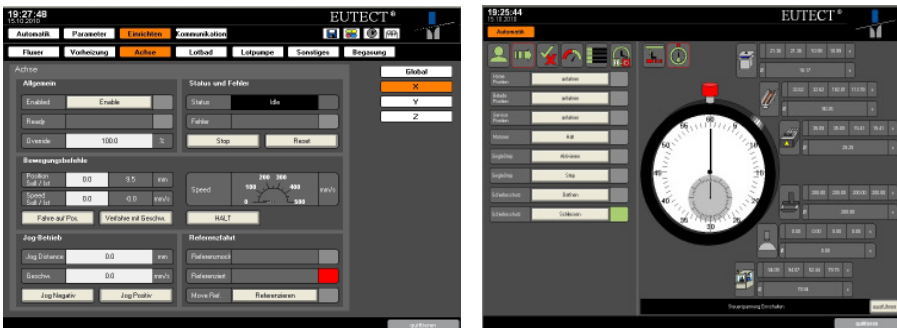


Abb. 61: Intuitive Steuerungsoberfläche

7.4. Produktspezifische Grafische Prozesseinrichtung (PGP)

Um eine umfassende, intuitive und schnelle, auf den gewählten Verbindungsprozess angepasste Produkt- und Maschineneinrichtung zu ermöglichen, steht bei der Maschinenkonfiguration das PGP zur Verfügung. Vorhandene CAD- und Gerberdaten, vorliegende jpg-Bilddaten oder Scanbilder stellen hierfür die Programmiergrundlage dar. Mit einem speziellen Bildmodulkonzept lassen sich digital fotografierte Bilddateien einlesen, perspektivisch entzerren und darin direkt die zu bearbeitenden Prozessstellen (Flux-, Vorwärm- und Lötunkte) bestimmen.

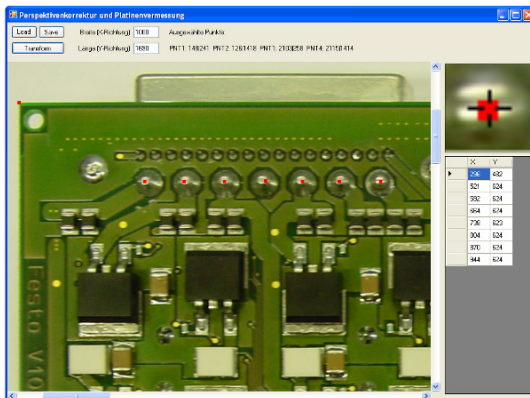


Abb. 62: Mit PGP entzerrte Platine mit gesetzten Prozesspunkten

Perspektivische und optische Verzerrungen (Distortion) handfotografiert Bilder werden algorithmisch korrigiert. Dabei werden kissen- und tonnen-/fassförmige Verzerrungen aus dem Bild herausgerechnet und dieses entzerrt dargestellt. Kameraspezifische Daten für die Korrektur können über ein Referenzfoto ermittelt und abgespeichert werden. Anschließend lassen sich die Prozessstellen direkt in der Fotografie anwählen.

7.5. Betriebs Daten Erfassung (BDE) zur Prozessüberwachung

Die qualitative Umsetzung und Überwachung eines Prozesses ist maßgeblich für ein erfolgreiches Projekt. Die Forderung nach Reproduzierbarkeit, Prozess-, und Parameterüberwachung sowie nach einer Änderungshistorie führt zur Erfassung aller Betriebs- und Maschinendaten. Die ebenfalls geforderte Güteüberwachung aller fertigen Teilprozesse und Module führt außerdem zur Umsetzung von Condition Monitoring oder der Betriebsdatenerfassung als eigenständigen Prozess während eines Maschinenzklus.

Ziel ist die Speicherung aller am Prozess beteiligten relevanten Daten zur Rückverfolgbarkeit/Traceability und Optimierung des Qualitätsmanagements. Aktive statische Parameter sollen genau wie Störeinflüsse und dynamische Ist-Werte in Regelkreisen protokolliert und archiviert werden. Dies verbessert den Prozess kontinuierlich, da durch die Beobachtung von eventuell relevanten Größen Trends zu erkennen sind und in Kombination mit einer Ident-Nummer des fertigen Produkts ein Rückschluss über Fehlerursachen und Bedienfehler möglich ist.

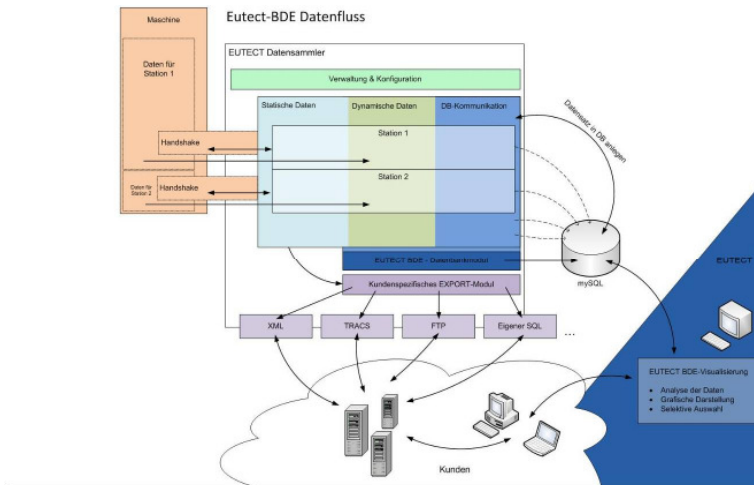


Abb. 63: Schematische Darstellung und Datenflussdiagramm der BDE

Bei der BDE werden über ein Handshake-Verfahren Daten mit der Maschinensteuerung ausgetauscht, ausgewertet und sofort in Datenbanken protokolliert. Diese können auf Kundenwunsch abgerufen, versendet und archiviert werden. Damit kann über die BDE mithilfe der Änderungsprotokolle ein transparenter und nachvollziehbar kontrollierter Prozess dargestellt werden.

8. Zusammenfassung

Um für eine vorgegebene Verbindungsaufgabe die bestmögliche technische Umsetzung zu finden, gilt es nicht nur, die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Verbindungsverfahren gegeneinander abzuwägen, sondern auch die angestrebte Produktqualität, bestehende Automatisierungskonzepte in der Produktion sowie das Budget für die zu tätige Investition zu berücksichtigen.

Damit ist es möglich, umfassendes, prozesstechnisches Know-how in die Vor-auswahl des Verbindungsverfahrens einfließen zu lassen, um so für jedes Produkt den optimalen Verbindungsprozess zu qualifizieren. Die Prozessentwicklung und Prozessevaluierung im Applikationslabor ist Grundlage zur Entwicklung eines Fertigungskonzeptes. Dabei sind Stückzahlen, Taktzeiten, Integration in die Fertigung und die Kosten zu berücksichtigen.



9. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verbindungstechnik für bedrahtete Baugruppen.....	5
Abb. 2: Entstehung einer Lötverbindung, Quelle: TU-Chemnitz.....	6
Abb. 3: Homologe Temperatur (Quelle: Grossmann).....	6
Abb. 4: Einteilung der Lötverfahren, Quelle: TU-Chemnitz	7
Abb. 5: Schmelztemperaturen beim Weichlöten	7
Abb. 6: Wirkung von Flussmittel auf geschmolzenes Lot.....	8
Abb. 7: Wirkung von reduziertem Schutzgas auf geschmolzenes Lot	8
Abb. 8: Kapillarer Fülldruck als Funktion der Spaltbreite.....	9
Abb. 9: Bewertung des Lotdurchstieges (Quelle: IPC A-610 DE)	9
Abb. 10: Einflussfaktoren beim selektiven Löten	10
Abb. 11: Thermische Masseanbindung als Wärmefallen	11
Abb. 12: Übersicht der selektiven Verbindungsverfahren	12
Abb. 13: Übersicht der selektiven Lötverfahren.....	13
Abb. 14: Mini-Lötwellen, seitlich und rundum-abfließend	14
Abb. 15: Miniwellen Lötdüsenformen als Punkt, Ring, Linie oder Matrix	15
Abb. 16: Die Doppellötdüse halbiert die Taktzeit der Lötautomation	16
Abb. 17: Lötwellen für großflächigen Prozesseinsatz.....	16
Abb. 18: Lötwellen für längsförmigen Prozesseinsatz	17
Abb. 19: Lötwellen unter definiertem Abrisswinkel	17
Abb. 20: Layoutvorschlag für Mini-Lötwellen	18
Abb. 21: Dynamische- und statische Hub-Tauch-Lotstempel	19
Abb. 22: Verzinnbad mit dynamischer Rakel zur Oxidbeseitigung.....	19
Abb. 23: <i>Leiterplatten Layoutvorschlag Hub-Tauch-Löten</i>	20
Abb. 25: Wirkprinzip des SWF.....	22
Abb. 26: Sensitive-Wire-Feed mit Steuerungsmodulen.....	22
Abb. 27: Regelungsablauf des geregelten Drahtvorschubs	23
Abb. 28: LötKolbenlötung mit motorischer Lötspitzenzuführung und SWF.....	24
Abb. 29: LötKolben Pad-Pin-Layoutvorschlag	25
Abb. 30: Leiterplattenlayoutempfehlung für Kolbenlötung.....	25
Abb. 32: Konzentrisches-Laserlöten.....	27
Abb. 33: Variable Fokusgeometrien des konzentrischen-Lasers	28
Abb. 34: Konzentrischer-Laser mit SWF Einzel- bzw. Doppelmodul	29
Abb. 35: Leiterplatten Layoutempfehlung für Laserlötprozesse	29
Abb. 36: Konzentrischer-Laser mit Doppelmodul	30
Abb. 38: Laser zum Abisolieren von Kupferlackdraht.....	31
Abb. 39: Laser-abisolierter Kupferlackdraht	31
Abb. 40: Thermodenstrang mit Kraft-Weg-Temperatursensor	32
Abb. 41: Prozessablauf des Thermoden-Lötprozesses.....	32
Abb. 42: Thermoden-Lötprozess	33
Abb. 43: Möglichkeiten des selektiven Flussmittelauftrags	34
Abb. 44: Injektionskopf zum selektiven Fluxauftrag	35
Abb. 45: Hub-Tauch-Matrix im Fluxprozess	36

Abb. 46: Flussmittelauftrag durch Pinselfluxen.....	36
Abb. 48: Abgrenzung der Vorwärmverfahren	38
Abb. 49: Lötrahmen mit Niederhalter für Hallsensoren	39
Abb. 50: Übersicht Schweißverfahren	40
Abb. 51: Kraftdiagramm, Nachsetzung bestimmt die Schweißqualität.....	41
Abb. 52: Schemazeichnung Schweißvorgang.....	41
Abb. 53: Schweißzange (SZ).....	42
Abb. 54: Luftspaltschweißprozess	43
Abb. 55: Auftragschweißprozess mit EUTECH-SWF	43
Abb. 56: Gesamtaufbau für die Drahtzufuhr bei Auftragschweißprozessen .	44
Abb. 57: Standalone-Achssystem.....	45
Abb. 58: Standalone Rundtakt.....	46
Abb. 59: Inline- und Roboter-Lötautomation.....	46
Abb. 60: LCIA - Low Cost Intelligent Automation	47
Abb. 61: Intuitive Steuerungsoberfläche.....	48
Abb. 63: Schematische Darstellung und Datenflussdiagramm der BDE.....	50

10. Quellenverzeichnis

[TU Chemnitz]: Dr.-Ing. Dipl.-Umweltwissenschaftler Ina M. Hoyer

[IPC A-610 DE]: Association Connecting Electronics Industries

[Grossmann]: Günter Grossmann, EMPA Dübendorf, Materials Science & Technology

11. Danksagung

Hiermit möchte ich meinen persönlichen und besonderen Dank für diese Schrift und die Komprimierung der jahrelangen Erfahrung richten an:

Matthias Fehrenbach für die Entwicklungen neuer Prozessmodule und der Zielsetzung, unsere Module für geregelte und sichere Prozesse auszulegen. Jürgen Gaißer, Monika Braun, Lothar Dieter, Klaudia Kraus und Michael Wunn, die mit kreativer Entwicklung, Konstruktion und viel Modifikationsgeduld modulare Standards setzen. Elmar Hölz und Erhard Gokeler für die unermüdlichen Prozessabsicherungen und die kreativen Kundenlösungen jenseits der Standards. Angelika Boglione, Sabine Höger und Nicole Schaal für die immer zuvorkommende Kommunikation und die organisatorischen Freiräume. Dirk Magiera und Fabian Hauptmann für die kreative mechatronische Umsetzung. Simon Öfner, Bernd Strohmaier, Andreas Mayer, Jürgen Klingler und Daniel Mezger für die vielen Bits und Bytes. Rainer Cardone und Bernhard Frasl für „Stahl und Eisen“. Willi Kienle für die schnellen Expressdienste zwischen den Gewerken.

Michael Ihnenfeld danke ich für die redaktionelle Geduld.