

Dampfphasenlöt-Technologie

# Prozesssicherheit für Bleifrei

Die Umstellung auf die Bleifreitechnologie bringt für die Baugruppenfertigung eine Vielzahl von Herausforderungen. Einfache Prozessführung, erfolgreiche Lötungen bei unterschiedlichen Produkten, hohe Qualität und einfache Bedienung sind Grundvoraussetzungen, die heutige Lötssysteme dabei bieten müssen. Das Dampfphasenlöten erfüllt diese Voraussetzungen. Allerdings unterscheiden sich einzelne Systeme in wesentlichen Details.

Den neuesten technologischen Entwicklungsstand dürften die Asscon-Dampfphasenlötanlagen mit variabler Steuerung des Temperaturgradienten im gesättigten Dampf aufweisen. Sie ermöglichen Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit des Lötvorgangs.

Das Dampfphasenlöten wurde Anfang der 70er Jahre von der Western Electric, Princeton, entwickelt [1]. Diese Anlagen arbeiteten auf der Grundlage des Zwei-Phasen-Verfahrens. Wegen der hohen Mediumverluste wurde über die primäre Dampfdecke ein sekundäres Medium (häufig FCKW) injiziert. Das Verbot von FCKW um 1990 leitete das Ende dieser Zwei-Phasen-Anlagen ein und verhalf der Infrarotlöttechnik zum vorübergehenden Erfolg. Die mit der Infrarottechnologie verbundenen Nachteile, wie etwa die unterschiedliche Aufheizgeschwindigkeit der Bauelemente bei unterschiedlichem Wärmebedarf, führten diese Technologie aber schon bald an ihre Grenzen [2].

Das Konvektionslöten trat an die Stelle des Infrarotlötens und wurde über Jahre hinweg das gängige Lötverfahren in der industriellen Fertigung. In den letzten Jahren hat die zunehmende Komplexität von Baugruppen (z. B. Layout, große Masseunterschiede) immer höhere Anforderungen an die Löttechnologie gestellt, die das Konvektionslöten zunehmend schwerer erfüllen kann (Bild 1). Das Dampfphasenlö-

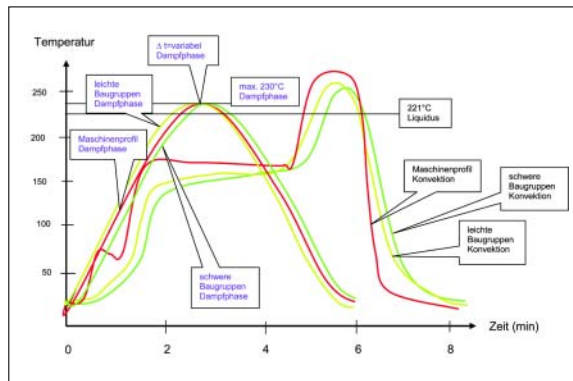


Bild 1: Vergleich Temperaturgradienten Dampfphase und Konvektion

ten wurde wieder aufgegriffen. Neu entwickelte Ein-Phasen-Anlagenkonzepte bringen jetzt die Lösungen, die bedingt durch die höheren Löttemperaturen auch bei der Bleifreilötung besonders wichtig sind. Seitdem hat das Dampfphasenlöten seinerseits bereits grundlegende Entwicklungsschritte durchlaufen, die schließlich zu dem derzeit technologisch neuesten Entwicklungsstand führten – dem Löten im gesättigten Dampf mit variabler Steuerung des Temperaturgradienten.

### Dampfphasenlöten ohne gesteuerte Heizleistung

In der ursprünglich einfachsten Ausführung wurde eine homogene Dampfdecke aus gesättigtem Dampf erzeugt. Die unregelmäßige Dampfproduktion verursachte selbst bei sehr masselastigen Baugruppen problematisch hohe Anfangsgradienten [3]. Um diesen Nachteil zu reduzieren, erfolgte die Vor-

wärmung über Infrarot-Heizstrahler. Dies führte jedoch zu einer hohen Oxidation der metallischen Komponenten. Damals wie heute muss dieser gravierende Nachteil vermieden werden. Es wurde deshalb versucht, die Vorwärmung durch kurzes Eintauchen des Lötguts in die oberen gesättigten Dampfdecke durchzuführen. Je höher die Masse ist, umso tiefer musste

eingetaucht werden [4]. Die Entscheidung der jeweiligen Eintauchtiefe muss dabei stets neu getroffen werden. Bei zu tiefem Eintauchen wird das Lötgut zu schnell erwärmt, bei zu geringem Eintauchen ist die Vorwärmung zu schwach. Nahezu nicht zu beantworten ist die Frage nach der Eintauchtiefe bei gleichzeitigem Löten unterschiedlicher Baugruppen. Versuche, diese Prozessunsicherheiten durch mehrfaches Wiederholen eines geringen Eintauchens zu lösen,

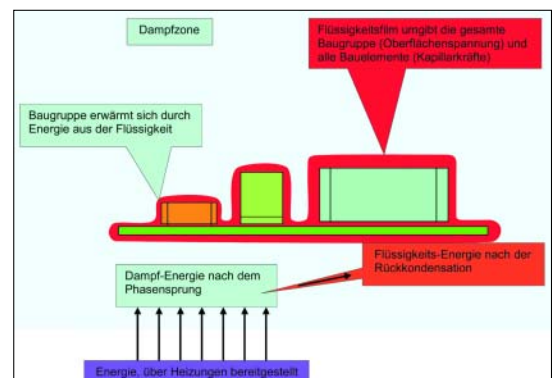


Bild 2: Energiefluss in der Dampfphase

**AUTOR**  
Claus Zabel und Uwe Filor, Asscon

Wie lassen sich die Nachteile von frühen Kondensationsanlagen, des Lötens mit ungesättigtem Dampf und des Injektionsverfahrens erfolgreich eliminieren? Dampfphasenlötanlagen mit variabler Steuerung des Temperaturgradienten im gesättigten Dampf schließen verhindern die Oxidationsgefahr. Zugleich wird eine Überhitzung des Lötguts in jeder Phase des Lötvorgangs durch die vorgegebene Mediumsiedetemperatur zwingend ausgeschlossen. Die variable Temperaturgradientensteuerung schafft für jedes Lötgut die optimale Vorwärmung und Lötung.

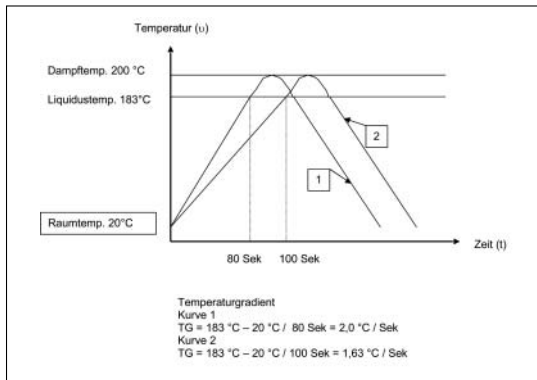


Bild 3: Beispiel : Variabler Temperaturgradient

blieben unbefriedigend. Zu Recht wurde diese frühe Anlagentechnologie als nicht ausgereift bezeichnet und Raum für erhebliche Verbesserungen gesehen [5].

### Zwischenstufe: Injektionsverfahren

Die ersten Versuche Mitte der 90er Jahre, die Unzulänglichkeiten der frühen Dampfphasenlötanlagen zu beseitigen, führten zum Injektionsverfahren. Dieses Verfahren geht zurück auf ein Patent von Prof. Rahn [6], das in den ersten moderneren Lötanlagen wieder aufgegriffen wurde [7]. Hierzu wurde auf eine Heizplatte eine bestimmte Menge Medium dosiert und dort schlagartig verdampft, um das Lötgut zunächst vorzuwärmen. Anschließend wurde dann mit einer Haupteinjektion die Peakzone erreicht.

Nach dem Lötprozess wurde das überschüssige Medium wieder abgesaugt. Bei diesem Injektionsverfahren müssen aber eine Vielzahl von Parametern wie z. B. Flüssigkeitsvolumen, Injektions- und Lötzeit, Heizplattentemperatur und Mediumtemperatur aufeinander abgestimmt werden. Die außerdem erforderliche Überhitzung des Dampfes bringt zudem einen zentralen Nachteil des Konvektionslötens zurück in den Prozess – die Oxidation. Unabhängig von den prozesstechnischen Nachteilen stellen diese Anlagen auch deutlich höhere Ansprüche an Unterhaltungs- und Wartungskosten.

### Gesteuerter Temperaturgradient im gesättigten Dampf

In den späten neunziger Jahren wurde das Injektionslötens durch Anlagen mit variabler Steuerung des Temperaturgradienten abgelöst. Dieses Verfahren arbeitet im Unterschied zum Injektionsverfahren mit gesättigtem Dampf und vereint damit die

wesentlichen Vorteile des Dampfphasenlötens zu einem prozesssicheren und reproduzierbaren Lötprozess.

Die Prozesszone befindet sich direkt über dem Mediumtank. Das Medium wird durch Heizplatten erhitzt und bildet unmittelbar über der Medienflüssigkeit eine gesättigte Dampfdecke. Da der Dampf schwerer ist als Luft, kann er in

der Anlage nicht nach oben entweichen. Wird nun das Lötgut in die Dampfzone eingefahren, bricht die gesättigte Dampfdecke zusammen. Der Dampf kondensiert auf der gesamten Oberfläche des Lötguts, so dass sich um das Lötgut sofort ein geschlossener Flüssigkeitsfilm bildet. Die Anlagensteuerung verhindert dabei, dass beim Zusammenbrechen der Dampfdecke zu viel Energie schlagartig an das Lötgut abgegeben wird, wie dies noch bei den alten Dampfphasenlötanlagen der Fall war. Die Oberflächenspannung des Flüssigkeitsfilms und seine vorhandenen Kapillarkräfte verdrängen die Luft vollständig vom Lötgut. Es entsteht eine Schutzschicht, die ein Löten unter vollständigem Ausschluss von Sauerstoff sicherstellt. Nach dem Ausfahren des Lötguts aus der Dampfzone verdunstet dieser Flüssigkeitsfilm rückstandsfrei von der Lötgutoberfläche.

Am Flüssigkeitsfilm steht unmittelbar die gesättigte Dampfdecke an. Durch Zufuhr einer dem gewünschten Temperaturgradienten entsprechenden Energiemenge über die Heizung wird eine dieser Energie äquivalente Menge an gesättigtem Dampf produziert. Diese definierte Menge an Dampf kondensiert nun in den Flüssigkeitsfilm und gibt während des Kondensationsvorgangs die genau definierte Energiemenge in den Flüssigkeitsfilm ab. Dessen Energiegehalt steigt entsprechend und damit steigt auch die Temperatur des vom Flüssigkeitsfilm umgebenen Lötguts. Die physikalischen Gesetze im Flüssigkeitsfilm sorgen nun ihrerseits dafür, dass die dem Flüssigkeitsfilm zugeführte Energie gleichmäßig über das Lötgut verteilt und an dieses abgegeben wird (Bild 2). Auf diese Weise ist die konstante aber gleichmäßige Energiezufuhr und damit Erwärmung des gesamten Lötguts sichergestellt. Dieser Prozess setzt sich solange fort bis das Lötgut selbst die Temperatur des Dampfes erreicht hat. Sobald dieses Temperaturgleichgewicht erreicht ist, stoppt die Kondensation automatisch. Bei diesem Anlagenkonzept kann also über die exakte Energiezufuhr die Erwärmung des Lötguts exakt gesteuert werden (Bild 3). Dabei kann im Gegensatz zum Injektionsverfahren beim Löten im gesättigten Dampf die Dampf Temperatur zwingend nicht über die Siedetemperatur des Mediums hinaus erhöht werden. Eine Überhitzung der Baugruppe ist damit physikalisch ausgeschlossen.

Die bewährte Vertikalbauweise der mit gesättigtem Dampf arbeitenden Lötanlagen ermöglicht außerdem, dass das Ende des Lötvorgangs unabhängig vom individuellen Lötgut immer automatisch erkannt werden kann. Der Lötvorgang kann frühestmöglich beendet werden. Ein zu langes Verweilen der Baugruppe über Liquidus ist damit ausgeschlossen. Im Gegensatz



Bild 4: Asscon VP 2000 inline

zu Horizontalsystemen können bei der Vertikalbauweise außerdem aufwendige Pumpvorgänge und mechanische Abläufe zum dampfdichten Verschießen und Öffnen der Prozesskammern vermieden werden, so dass die bewährte Vertikalbauweise zu keinerlei nennenswerten Einschränkungen der Zykluszeiten führt.

Da die Dampfdecke schwerer als Luft ist, sorgt die Vertikalbauweise außerdem automatisch für eine exakt abgegrenzte Dampfdecke und trägt damit wesentlich zur Betriebssicherheit bei. Um Verwirbelungen beim Eintauchen des Lötguts in die Dampfdecke zu vermeiden, wurde auf eine fein abgestimmte Steuerung besonders geachtet. Durch die Wahl jedes beliebigen Temperaturgradienten kann in der Satttdampfdecke außerdem das Lötgut auch optimal vorgewärmt werden.

### Fazit

Die neueste Technologie der Asscon-Dampfphasenlötanlagen (**Bild 4**) hat die Nachteile der frühen Kondensationsanlagen, des Lötens mit ungesättigtem Dampf und des Injektionsverfahrens erfolgreich eliminiert.


Durch den Einsatz von gesättigtem Dampf auch zur Vorwärmung wird jegliche Oxidationsgefahr von vornherein ausgeschaltet. Zugleich wird eine Überhitzung des Lötguts in jeder Phase des Lötvorgangs durch die vorgegebene Mediumsiedetemperatur zwingend ausgeschlossen. Die variable Temperaturgradientensteuerung schafft für jedes Lötgut die optimale Vorwärmung und Lötung. Durch die im Anlagenkonzept ausgeklügelte, mechanisch aber einfach umgesetzte Vertikalbauweise der modernen Satttdampfplötanlagen kann das Ende des Lötvorgangs stets automatisch erkannt werden.

Und schließlich einer der wesentlichen Vorteile: Da beim Lötten mit gesättigtem Dampf nahezu alle anderen Prozessparameter in der Anlage konstant sind, muss der Bediener nur noch den jeweils gewünschten Temperaturgradienten einstellen. Aufwendige Einstellungen einer Vielzahl von Parametern, wie dies z. B. beim Injektionsverfahren und beim Lötten mit ungesättigtem Dampf notwendig war, sind hier nicht nötig. Dadurch erreicht das Lötten im gesättigten Dampf mit variabler Tempe-

raturgradientensteuerung maximale Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit – Faktoren, die gerade in der aktuellen Phase der Bleifreiumstellung von essentieller Bedeutung sind.

### Literatur

- [1] Deutsches Patentamt Auslegungsschrift 24 42 180; AZ: P 24 42 180.5-24
- [2] R. J. Klein Wassink, Weichlöten in der Elektronik, 2. Aufl. 1991, Kap. 10.5.3, S. 596.
- [3] W. Leider, Dampfphasenlöten, 2002, Kap. 7.1, S. 43.
- [4] FSL Deutschland GmbH, MRT Vapourphase-System MRT, Dieburg 1992.
- [5] R.J. Klein Wassink, Weichlöten in der Elektronik, 2. Aufl. 1991, Kap. 10.5.3.1, S. 599.
- [6] Deutsches Patentamt, Patent Nr. DE3873321 T2.
- [7] Asscon, VP2000-2-2/99

	<b>Asscon</b>	Kennziffer <b>409</b>
Fax +49/82 31/9 59 91 90 www.asscon.de		