



# VERBESSERUNG DES SCHWALLÖTVERFAHRENS MIT NEUEN STICKSTOFFSYSTEMEN ZUR NACHRÜSTUNG

M. Theriault, P. Wolff, Air Liquide  
R. Passmann, K. Redwitz, Siemens AG



Nepcon West 1999  
Anaheim (CA.) 22. – 25. Feb. 1999

## Abstract

Trotz der Vorhersage, daß das Schwallötverfahren verschwinden wird, ist es weiterhin weit verbreitet. Der Einsatz von Anschlußelementen und die allgemeine Wirtschaftlichkeit des Verfahrens geben ihm weiterhin seine Existenzberechtigung. Da in der Elektronikfertigung der Druck zur Kostensenkung und Qualitätsverbesserung immer stärker wird, müssen die Bestücker, die mit Schwallötanlagen arbeiten, sämtliche Innovationen berücksichtigen, wenn sie die Herausforderungen bewältigen wollen, die ein Ergebnis des verschärften Wettbewerbes sind. Eine Möglichkeit wäre ein Schwallötverfahren unter Inertbedingungen. Dieses Verfahren ist zwar nicht neu, wurde in jüngerer Zeit aber beträchtlich weiterentwickelt. Neue, einfache und optimierte Inertisierungsanlagen, die die Umstellung auf Stickstoff vereinfachen, sind jetzt vorhanden. Außerdem sprechen die Kosten solcher Systeme und die allgemeinen niedrigeren Inertisierungskosten [1] dafür, daß der einzelne Bestücker es in Erwägung zieht, die bereits vorhandenen Lötanlagen zur Stickstoffinertisierung aufzurüsten.

Dieser Artikel beschreibt die Realisierung solcher nachgerüsteten Stickstoffsysteme bei Siemens Business Communications in Witten, einem Mischbestückungswerk, in dem Kommunikationssysteme und -produkte in großer Stückzahl hergestellt werden. Er beschreibt die Gründe und Ziele von Siemens bei der Umstellung auf ein Stickstoffverfahren. Das gewählte Nachrüstsystem und seine Realisierung werden dargestellt und die technischen Ergebnisse und Vorteile werden zusammengefaßt und ausgewertet. Schließlich wird eine Kosten-Nutzen-Analyse vorgelegt. Es wird nachgewiesen, daß bei diesem bestimmten Nachrüstsystem die Umstellung auf Stickstoff sowohl qualitative als auch wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt.

## Einleitung

Zahlreiche Planungen der Industrie sehen zwar den Ersatz des Schwallötverfahrens vor, aber dennoch hat dieses Verfahren weiterhin seine Bedeutung. Neue Packungstechnologien erlauben die Entwicklung kleinerer und leistungsfähiger Geräte, aber es besteht immer noch ein Bedarf an durchkontaktierten Bauteilen und unterseitige SMD-Bestückung. Die mechanische Festigkeit, die die Verbindungselemente aufweisen müssen, sowie die niedrigeren Kosten des Wellenlötens oder Schwallötens lassen es zu einem weitverbreiteten Verfahren werden, das seine Existenzberechtigung hat. Weiterhin benötigen viele Produkte noch nicht die Funktionalität von SMD-Bauteilen, so daß die zusätzlichen Kosten und Investitionen dafür nicht gerechtfertigt sind. Das Verfahren selbst hat zahlreiche Innovationen erfahren, die zu einer beträchtlichen Verbesserung geführt haben. Einige dieser Innovationen sind das Aufsprühen des Flußmittels, die konvektive Vorerwärmung sowie die Einführung einer Stickstoff- oder Schutzgasatmosphäre. Die aktuelle F & E untersucht sogar die Möglichkeit, völlig auf ein Flußmittel zu verzichten.

Der Einsatz von Stickstoff in Inertlötverfahren bei der Bestückung von Leiterplatten nimmt weltweit sowohl beim Schwallöten als auch beim Reflowlöten zu. Die Verwendung von Stickstoff beim Reflowlöten ist zwar oft umstritten, weil die Vorteile verfahrensspezifisch und schwieriger zu quantifizieren sind (auf Grundlage der Qualität), aber seitens der Anwender scheint wenig Zweifel darüber zu bestehen, daß Stickstoff das Schwallötverfahren verbessert. Durch die Verminderung der Oxidation und die Erhöhung der Oberflächenspannung wird die Haftung verbessert und die Benetzung erfolgt schneller. Das Ergebnis hiervon sind Qualitätsverbesserung und Fehlerverminderung. Die Festigkeit der Lötverbindung wird erhöht, was eine bessere Zuverlässigkeit bewirkt. Auch weniger Krätze wird erzeugt, was den Lötmitteilverbrauch verbessert und Vorteile für die Umwelt, die Gesundheit und auch die Produktion hat.

Trotz all dieser Vorteile benutzen viele potentielle Anwender noch keinen Stickstoff beim Schwallöten. Ein Grund dafür besteht in den beträchtlichen Investitionen für eine "stickstofffähige Aufrüstung", sofern diese überhaupt möglich ist. Spezifische Patentbeschränkungen haben verhindert, daß einige Anlagenhersteller diese Möglichkeit anbieten, was sich offensichtlich im Preis solcher Systeme niedergeschlagen hat. Es gibt auch noch den Aspekt des Bekanntheitsgrades, denn nur Anlagenlieferanten mit einer guten N<sub>2</sub>-Lösung bieten Systeme zum Löten in kontrollierter Atmosphäre an. In anderen Fällen wurde der Einsatz von Stickstoffsystemen deshalb verworfen, weil einige der verfügbaren Konstruktionen (Abdeckung und Vorhänge, Tunnel) die Anforderungen vieler Lötvorgänge nicht erfüllten. Weiterhin war vor einigen Jahren das Kosten-Nutzen-Verhältnis von Stickstoff beim Schwallöten noch ungeklärt und rechtfertigte damals nicht die zusätzlichen Aufwendungen für ein solches System. Schließlich waren die Energie und die für den Kauf eines Nachrüstsets, sofern verfügbar, erforderlichen Mittel ein bedeutendes Hindernis.

Die Vorteile des Schwallötens sowie die spezifischen Anforderungen in der Inerttechnologie führten zu der Entwicklung neuer Kenntnisse im Bereich der Schutzgasanwendungen. Infolgedessen stehen jetzt einfache und wirksame Möglichkeiten sowohl für Neuanlagen als auch für Nachrüstsysteme zur Verfügung. Daneben sind die Gesamtkosten für die Inertisierung bei diesen neuen Anlagen weit niedriger, so daß der Bestücker jetzt bewerten kann, ob er mit Schutzgassystemen die Qualität seines Prozesses erhöhen und die Kosten vermindern kann. Und da die überwiegende Mehrzahl der bestehenden Schwallötanlagen nicht N<sub>2</sub>-fähig ist, ist der Gedanke einer Nachrüstung sinnvoll.

## **Gründe für ein Stickstoffverfahren**

Die Realisierung erfolgte in dem Werk von Siemens in Witten. Dieses Werk stellt Telefonvermittlungen und -zentralen sowie andere Telekommunikationsprodukte für den Weltmarkt her. Das Werk ist mit zahlreichen modernsten SMT-Bestückungslinien ausgestattet. Weiterhin verfügt es über zwei Schwallötmaschinen, nämlich eine vollinertisierte Tunnelanlage und eine herkömmliche Schwallötmaschine. Letztere wurde von Streckfuss, einem deutschen Lieferanten von Lötanlagen, hergestellt und ist in Linie B/C integriert. Das Werk hat eine Belegschaft von über 1600 Arbeitnehmern. Aufgrund der hohen Nachfrage nach Kommunikationsprodukten werden an fünf Tagen in der Woche je drei Schichten produziert.

Wie es auch bei anderen Elektronikprodukten der Fall ist, steigt die Nachfrage nach Kommunikationsprodukten weltweit beträchtlich. Gleichzeitig herrscht insbesondere in Amerika und Asien ein scharfer Wettbewerb, der die Preise für diese Produkte immer weiter nach unten drückt. Kürzere Entwicklungszeiten und eine Senkung der Herstellungskosten stellen reale Herausforderungen dar. Eine der Methoden diese Ziele zu erreichen besteht in der Innovation. Jegliche Innovation, die bestimmte Kosten- und Zykluszeitbedingungen erfüllen kann, wird sorgfältig geprüft. Nachdem Siemens Witten ein neues Stickstoffsystem zum Nachrüsten angeboten wurde, wurde beschlossen, ein solches System mit der Streckfuss-Anlage in Linie B/C zu prüfen. Es war vorgesehen, ein solches System fest zu übernehmen, wenn es sich als hilfreich dabei erweisen sollte, die vorgegebenen Ziele der Verkürzung der Entwicklungszeit und der Kostensenkung zu erreichen.

Eines der spezifischen Ziele bestand darin, die Verfügbarkeit der Produktionslinie zu verbessern. Aufgrund der anfallenden Krätze mußte die Maschine häufig gereinigt und gewartet werden. Dieser Vorgang ist nicht nur arbeitsintensiv, sondern bei den Bedienern auch unbeliebt. Er stellt eine Prozeßunterbrechung dar, die einen Produktionsausfall von 2 bis 3 Stunden am Tag zur Folge hat. Andere Ziele bestanden in der Verminderung der Ausfallzeit, die durch die Krätzebildung verursacht wurde, einer Verbesserung der Ausbeute und der Verringerung der Nachbearbeitung. Es wurde erwartet, daß die Umstellung auf ein Inertverfahren es ermöglichen würde, das Prozeßfenster des aktuellen feststoffarmen no-clean-Verfahrens zu erweitern. Zusätzlich wäre eine Verbesserung der Zuverlässigkeit der Baugruppe ein weiterer Vorteil. Die Erwartungen gründeten auf den mit der zweiten Maschine erzielten aktuellen Ergebnissen, die als stickstofffähige Anlage erworben wurde und in einer Schutzgasatmosphäre (Tunnelmaschine) betrieben wird.

## Neue Stickstoff-Nachrüsttechnik

Das gewählte Nachrüstsystem ist ein Abdeckungssystem, eine Technik, die vor einigen Jahren eingeführt wurde. Die Vorteile dieses Inert-Schwallötverfahrens gegenüber anderen Inertsystemen wurden schon von vielen Anwendern hinreichend beschrieben [2]. Bei der Inertgrenztechnologie wird der Löttopf mit einer "Abdeckung" aus gasförmigem Stickstoff inertisiert, der an der Grenzfläche der Leiterplatte und der Lötwellen ausströmt. Wenn die Leiterplatte die Wellen erreicht, wird Stickstoff zwischen der Leiterplatte und dem Lot eingeschlossen. Die Baugruppe dient damit wörtlich als Abdeckung der Wellen. Im Bruchteil einer Sekunde hat die Atmosphäre an der Unterseite der Platte einen Sauerstoffgehalt von weniger als 10 ppm, was in derselben Größenordnung liegt wie die Qualität der Stickstoffquelle. Dieses System arbeitet in einer offenen Umgebung und benötigt keine Umhüllung oder Vorhänge zur Wahrung der inerten Atmosphäre. Der unbeschränkte Zugang zu den Wellen läßt keine mechanischen Begrenzungen aufkommen.

Wie auch andere Stickstoffsysteme besteht das in Auftrag gegebene System aus einem Gasverteiler, einer Eindüsbaugruppe und Schläuchen, die die beiden verbinden. Der Gasverteiler regelt den Stickstoff aus dem Verteilernetz der Stickstoffanlage und leitet ihn zu der Eindüsbaugruppe. Dieses System weist aber bedeutende Abweichungen von anderen Inertisierungssystemen auf. Die Eindüsbaugruppe besteht aus drei porösen, gesinterten Röhren, die von einem Titanrahmen umgeben sind. Diese bilden das Plenum. Die Düsen sind mit Seitenplatten aneinander befestigt, so daß sie eine Einheit bilden (Abb. 1). Diese Konstruktion dient mehreren Zwecken. Sie enthält die Verteilungsröhren, richtet einen Stickstoff-Laminarstrom über die Wellen, hält die Düsen in Position und verhindert gleichzeitig, daß Luft von der Seite des Behälters eindringen kann. Speziell konstruierte Schlitze an jedem Plenum des Systems ermöglichen eine gleichmäßige, lokale Inertisierung der Wellen. Dieses Verfahren beschleunigt das Gas und optimiert die Eindüsung. Außerdem verhindert es, daß Lötmitteldämpfe die Stickstoffröhren zusetzen. Die Bereiche des Wellenüberlaufs, die wegen der Bewegung des geschmolzenen Lots für die Krätzeproduktion kritisch sind, werden bei dieser Konstruktion ständig inertisiert, so daß bedeutend weniger Krätze anfällt. Die gesamte Baugruppe paßt zwischen die Lotwellendüsen (Abb. 2).

Das Hauptmerkmal dieses Verfahrens besteht in der Art der Eindüsung. Die leichte Druckbeaufschlagung des Stickstoffs und seine geführte Einbringung durch die Schlitze im Plenum ermöglichen die Installation dieses Systems über jeder Art von Welle. Deshalb sind hier keine Düsenänderungen oder Umbauten erforderlich. Aufgrund dieses Merkmales kann der Anwender praktisch jede Marke und jedes Modell einer Schwallötanlage mit diesem System aus- oder nachrüsten.



Abb. 1: Eindüsbaugruppe

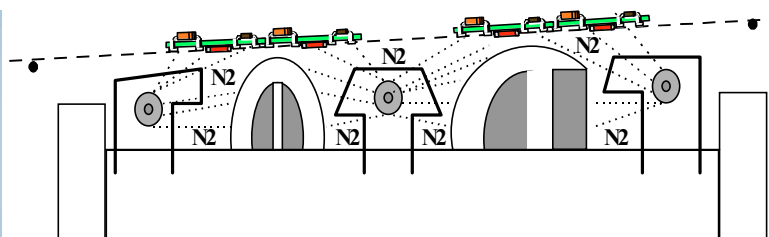


Abb. 2: Schematische Darstellung des Eindüsverfahrens

## Realisierung

Die Konstruktion von Schwallötanlagen unterscheidet sich stark von Hersteller zu Hersteller. Weiterhin ist die Konfiguration des Löttopfes und der Wellen bei verschiedenen Modellen desselben Herstellers oft unterschiedlich, weil die Endbenutzer unterschiedliche Lösungen wählen. Deshalb muß die Nachrüstung aufgrund der Rahmenkonstruktion der Wellen einer bestehenden Maschine eigens an die gewählte Anlage angepaßt werden. Dies stellt sicher, daß jede Düse optimiert und an den Betrieb einer bestimmten Maschine angepaßt ist.

Nach einer Vorprüfung des Löttopfes des Anwenders wurden die Maße genommen. Diese Maßnahme ermöglichte es, zur Herstellung die genauen Maße des Löttopfes und der Lotwellen zu nehmen. Ausgehend davon werden Zeichnungen für die Stickstoffnachrüstung erstellt und die Installation eingeplant. Ein Systemtechniker des Gaslieferanten übernahm diese Aufgabe mit der Unterstützung eines Maschinenbedieners. Der Maschinentechner war da, um die Manipulationen zu erleichtern und um die Sicherheit zu gewährleisten. Nach dem Stop der Maschine wurde der Löttopf herausgezogen und beide Düsen wurden ausgebaut und gereinigt, um den Prozeß zu beschleunigen. Der Winkel der Transporteinrichtung und die Wellenhöhe wurden gemessen. Die Montagegestelle des Gaseinstellpaneels wurde festgelegt. Diese Maschine war mit einer herkömmlichen Turbulenz- und Laminarwelle ausgestattet. Um die Sache noch interessanter zu machen, wiesen die Düsen einen Winkel von 70° zum Weg der Transporteinrichtung auf. Dadurch soll die Brückenbildung vermindert werden. Nachdem der Bediener den Behälter und die Baugruppe gereinigt hatte, wurden die Düsen wieder eingebaut, und die Maschine wurde wieder in Betrieb genommen. Dieser gesamte Vorgang dauerte zwei Stunden und erfolgte bei einer Produktionspause.

Die tatsächliche Montage erfolgte einen Monat später. Sie bestand in dem Einbau der Systembaugruppe über dem Löttopf und den Düsen, der Sicherung an den Düsen und dem Löttopf, dem Einbau des Gasverteilers und dem Anbringen der Schläuche und Schnellanschlüsse zwischen dem Gasverteiler und der Systembaugruppe. Ein Techniker brauchte vier Stunden für den gesamten Anschluß. Eine Teilreinigung der Maschine durch den Bediener ist ebenfalls in diesem Zeitraum enthalten.

## **Prozeßjustierung und Betriebsbedingungen**

Alle Wellenparameter der Maschine wurden überprüft, bevor der Stickstoffprozeß gestartet wurde. Parameter wie Wellenhöhe und Flußmittelmenge, die besonders von der Stickstoffatmosphäre beeinflusst werden, wurden sorgfältig überwacht. Die Leiterplatten haben bei Siemens unterschiedliche Maße und sind im allgemeinen FR-4 mit HAS-L- oder Ni-/Au-Beschichtung, ein- oder doppelseitig. OSP wird jetzt eingeführt. Das Lötmaterial ist krätzearmes Sn63Pb37.

### ***Einstellung des Flußmittels***

Die Wahl des Flußmittels hat eine unmittelbare Auswirkung auf die Lötbarkeit sowie die Sauberkeit der Baugruppe nach dem Löten. Als innovative Maßnahme zur Verbesserung des Prozesses stellte man ein Jahr vor der Inertisierung auf ein Flußmittel mit niedrigem Feststoffgehalt um. Der Schaum-Fluxer wurde durch einen Sprüh-Fluxer ersetzt und das Flußmittel von 20 % auf 2 % Feststoffgehalt umgestellt. Die Vorteile zeigten sich sofort, nämlich bessere SIR-Werte, geringerer Flußmittel- und Alkoholverbrauch, verringerter Transport und verminderte Lagerung von Alkohol sowie deutlich weniger VOC-Emissionen. Diese Umstellung bewirkte aber auch eine Verkleinerung des "Prozeßfensters". Die Beibehaltung eines annehmbaren dpm-Wertes wurde schwieriger, und bei jedem neuen Los von Leiterplatten und Bauteilen mußte eine Feinjustierung durchgeführt werden. Die Umstellung auf Stickstoff wurde als eine Möglichkeit angesehen, das "Fenster" wieder zu öffnen. Daß der Einsatz von Stickstoff es in der Regel ermöglicht, ein milderes Flußmittel (oder weniger Flußmittel) als in Luft zu benutzen, war eine wohlbekannt Tatsache. Die Umstellung auf eine Schutzgasatmosphäre könnte den Flußmittelverbrauch weiter senken. Obwohl Flußmittelauftrag mit Erfolg um weitere 25 % vermindert werden kann, ist diese Maßnahme bisher nicht umgesetzt worden. Mit 15 ml/min ist der aktuelle Auftrag relativ niedrig, und eine weitere Verminderung war anfänglich nicht vorgesehen.

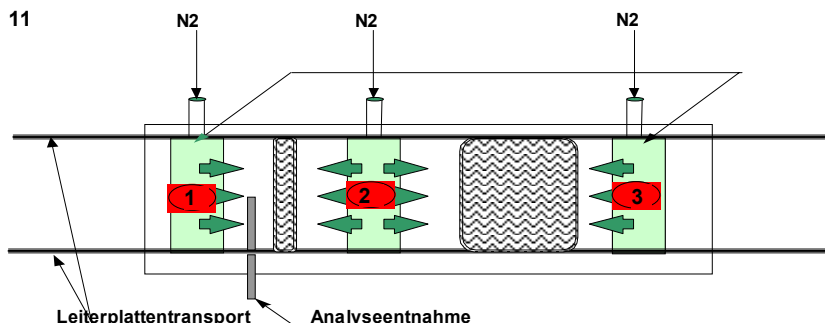
### ***O<sub>2</sub> -Wert und Stickstoffverbrauch***

Bei einem ALIX LT System unterscheidet sich die Messung des Sauerstoffgehalts in Teilen pro Million (ppm) von herkömmlichen Kurzhauben- oder Tunnelsystemen. Die Leiterplatte ist ein fester Bestandteil des Inertisierungsverfahrens, da sie als Abdichtung über den Wellen fungiert. Wenn die Leiterplatte in die Welle eindringt, wird der Raum unter der Leiterplatte sofort mit Stickstoff gespült, der über die Röhren eingeblasen wird. Theoretische Berechnungen ermöglichen es zu schätzen, daß das Volumen zwischen der Welle, der Röhre, dem Löttopf und der Leiterplatte in einer Sekunde zehnmal erneuert wird. Deshalb ist an der Grenzfläche zwischen der Platte und der Welle eine sauerstoffarme Atmosphäre zu erwarten. Wenn aber keine zu lötende Platte vorhanden ist, tritt kein Dichtungseffekt auf und die Atmosphäre ist nicht so rein. Deshalb schwankt die Messung des Sauerstoffgehaltes beträchtlich in Abhängigkeit davon, ob eine Platte vorhanden ist oder nicht.

Der Sauerstoffgehalt wurde mit einem Sauerstoffanalysator, der mit einer Zirkonoxidzelle arbeitet, überprüft. Systeme mit Zirkonoxidzellen sprechen schnell an, was bei diesen Messungen erforderlich ist. Folgende zwei Ansätze wurden in Betracht gezogen

- I. Eine Prüfplatte mit Bohrung und angeschlossenem Schlauch.
- II. Die Einführung eines Edelstahlrohres zwischen der Welle in unmittelbarer Nähe zur Leiterplatte und in der Mitte des N<sub>2</sub>-Eindüßsystems.

Das zweite Verfahren wurde gewählt, da es mit und ohne Platte eine genauere Messung ermöglicht (Abb. 3). Dieses Verfahren konnte schließlich mit Hilfe von ALIX CONTROL fest eingerichtet und zur Überwachung des Sauerstoffgehaltes und weiterer Parameter als Qualitätskontrollmaßnahme genutzt werden.



**Abb. 3:** Vorrichtung zur Sauerstoffmessung

Die Fließgeschwindigkeit des Stickstoffs wurde für jede Röhre ausgehend von Erfahrungen mit ähnlichen Verfahren eingestellt und so feinjustiert, daß sich das beste O<sub>2</sub> ppm/N<sub>2</sub>- Fließverhältnis ergab. Umfangreiche Forschungen und Erfahrungen deuten darauf hin, daß sämtliche Vorteile von Inert-Schwallötverfahren nur mit einer Atmosphäre von maximal 50 ppm erzielt werden können [3]. Um die Prozeßbedingungen (Krätze fällt hauptsächlich an, wenn die Wellen laufen) wiederzugeben, wurden die O<sub>2</sub>-Werte ohne Leiterplatte nur dann erfaßt, wenn die Pumpen liefen, was mit der ALIX CONTROL Anlage problemlos möglich ist. Als Bezug wird der Stickstoff als Gesamtmenge zugeführt und enthält im allgemeinen maximal 3 ppm O<sub>2</sub>. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die Ergebnisse.

Systemtyp	Bereich	Röhre Nummer	N <sub>2</sub> -Durchflußmenge	O <sub>2</sub> ppm ohne Leiterplatte	O <sub>2</sub> ppm mit Leiterplatte
Doppelwellensystem 22"-Düsen (55 cm)	<u>vorne</u> Turbulenzwelle	1	252 scfh (7,00 Nm <sup>3</sup> /h)	8000 ppm	7 ppm
	<u>zwischen</u> den Wellen	2	288 scfh (8,00 Nm <sup>3</sup> /h)	8500 ppm	10 ppm
	<u>hinten</u> Laminarwelle	3	288 scfh (8,00 Nm <sup>3</sup> /h)	8100 ppm	7 ppm
			828 scfh (23,00 Nm <sup>3</sup> /h)		

**Tabelle 1:** Stickstoffverbrauch und Sauerstoffgehalt in ppm

Es ist wichtig festzustellen, daß die N<sub>2</sub>-Fließwerte Angaben der Fließgeschwindigkeit sind und nicht den tatsächlichen Stundenverbrauch darstellen. Der Anschluß eines Magnetventils an das Pumpenschaltssystem würde eine Verminderung des Stundenverbrauchs bewirken, so daß also Stickstoff gespart würde. Weiterhin kann Röhre 1 abgeschaltet werden, wenn die Turbulenzwelle nicht in Gebrauch ist. Offensichtlich ist zu erwarten, daß der o. g. Stickstoffbedarf bei kleineren Düsenabmessungen geringer ist, da ja weniger zu inertisieren ist.

## **Ergebnisse und technische Vorteile**

Nach sechs Monaten Betrieb und Tausenden von gelöteten Leiterplatten ist nachgewiesen, daß die Umstellung von einer Luftatmosphäre auf ein Stickstoffverfahren mit dem neuen nachrüstbaren Inert-Schwallötssystem die ursprünglichen Ziele übertroffen hat. Deshalb wurde das System fest übernommen.

### **Krätzebildung**

Für die Vorteile von Stickstoff beim Schwallötverfahren ist eine Verminderung der Krätzebildung von überragender Bedeutung. Krätze ist der silbrige Schlamm, der die Oberfläche des Löttopfes bedeckt. Sie besteht überwiegend aus gutem Lot und einigem Zinnoxid sowie eventuell etwas Bleioxid. Krätze bildet sich, wenn geschmolzenes Lot auf der Oberfläche des Lotreservoirs oder -bades mit Sauerstoff in Kontakt kommt. Eine dünne Krätzeschicht ist von Vorteil, da sie das Bad schützt, indem sie die Oxidierung verlangsamt, aber eine größere Ablagerung ist dem Prozeß abträglich. Natürlich wird durch eine Schutzgasatmosphäre die Krätzebildung fast völlig ausgeschlossen.

Nach mehr als 3000 Betriebsstunden zeigt sich jetzt bei dem nachgerüsteten N<sub>2</sub>- System eine Krätzebildung von durchschnittlich 0,3 kg/Stunde. Dieser Wert schwankt etwas in Abhängigkeit von der Produktionsauslastung, der Breite der gelöteten Platte sowie davon, ob die Turbulenzwelle eingesetzt wird oder nicht. Ein intermittierender Stop der Welle übt auch einen beträchtlichen Einfluß aus. Die o.g. Zahl ist eine Gewichtseinheit der bei der Reinigung gesammelten Krätze; es wurde kein chemisches "Entkratzungsmittel" eingesetzt. Wenn man dem die Zahlen gegenüberstellt, die für dieselben durchschnittlichen Bedingungen in Luft ermittelt wurden, nämlich 2,08 kg/Stunde, zeigt es sich, daß die Krätzebildung um über 85 % vermindert wurde.

### **Wartung und Anlagenverfügbarkeit**

Die Wartung des Löttopfes kann sehr zeitaufwendig sein. Relativ häufig muß Krätze entfernt werden, um den ordnungsgemäßen Betrieb der Pumpen sowie eine gute Leistung der Wellen und damit einen reproduzierbaren Lötprozeß zu gewährleisten. Und wenn die Produktion 24 Stunden am Tag in drei Schichten läuft, vermindert Wartung die Verfügbarkeit der Anlage. Eine Verringerung der Krätzebildung führt zu einem geringeren Wartungsbedarf und zu einer höheren Produktionsrate. Während vor der Einführung des Stickstoffs 4 bis 5 mal am Tag die Wartung erfolgte (oder 2,0 bis 2,5 Stunden/Tag), wird sie jetzt nur noch einmal täglich 30 Minuten lang durchgeführt, was beträchtlich weniger ist als vor der Umstellung auf Stickstoff. Die Linie hat damit also zwei Produktionsstunden pro Tag gewonnen. Weiterhin bringt die Verringerung des Wartungsaufwands auch eine größere Flexibilität mit sich. Die Bediener können die Reinigung jetzt bei verringerter Produktion durchführen, und es ist nicht mehr zwingend erforderlich, eine Überwachung und sofortige Reinigung dann durchzuführen, wenn Probleme auftauchen.

Der Anbau des Stickstoffsystems über den Lotdüsen brachte keine Wartungsprobleme mit sich. Es kann zur Reinigung des Löttopfes schnell ab- und angebaut werden. Sogar nach sechs Monaten Betrieb benötigt das System selbst keine Pflege oder Ersatzteile. Die drei gesinterten Röhren, die Hauptelemente, die bei Verstopfung durch Lot oder Flußmittel eine ordnungsgemäße Funktion der Anlage verhindern könnten, arbeiten noch wie im Neuzustand.

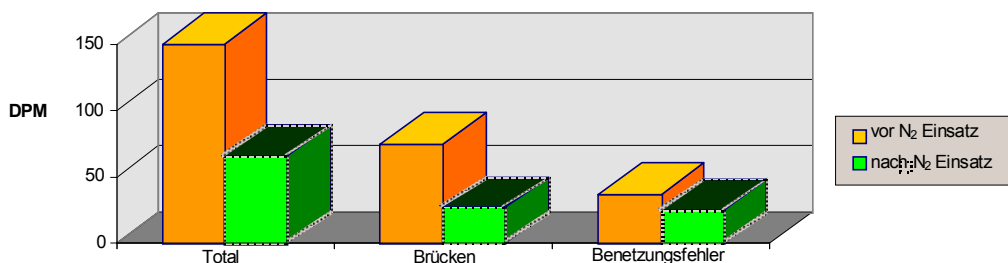
## Qualitätsergebnisse und Fehleranalyse

Wie in zahlreichen Untersuchungen und Artikeln dargelegt wurde [2,3], modifiziert das Löten unter Stickstoff zwei kritische Parameter, die die Qualität des Schwallötprozesses beeinflussen:

- 1) Stickstoff verhindert eine Oxidation, wodurch die Krätzebildung und der Wartungsaufwand für den Löttopf vermindert werden und das Netzvermögen erhöht wird.
- 2) Stickstoff erhöht die Oberflächenspannung an der Welle der geschmolzenen Legierung und erhöht die Benetzung oder das Netzvermögen.

Da Krätze zu Fehlern führen kann und das Netzvermögen ein Indikator der Qualität und der Form der Nähte ist, wurde erwartet, daß der Stickstoff die Qualität der gelöteten Baugruppe verbessern würde. Das "vergrößerte Prozeßfenster" ist mit dieser Frage verbunden, über das jeder im Zusammenhang mit dem Stickstofflöten spricht. Der Prozeß ist unter Stickstoff leichter als in Luft zu kontrollieren. Das Fenster mag zwar größer sein, aber ist es notwendig und hat es einen Einfluß auf die Zuverlässigkeit und die Fehlerrate?

Abbildung 4 zeigt die Fehlerrate des Schwallötverfahrens in dpm vor und nach der Umstellung auf Stickstoff für eine bestimmte "Probleml Leiterplatte". Mit weniger als zehn dpm ist die allgemeine Fehlerrate bei diesem Produzenten niedrig. Da besonders große Proben erforderlich wären, um bei diesem Wert Verbesserungen zu überprüfen, wurde eine spezielle Baugruppe mit einigen schwierigen Verbindungselementen ausgewählt, um die Wirksamkeit dieser neuen Inertisierungstechnik nachzuweisen. Für diese Platte sind die Probandaten für die Fehlerwerte vor und nach der Umstellung für einen Zeitraum von sechs Monaten repräsentativ. Der dpm-Wert gibt die Anzahl der Verbindungen an, die bei der Inspektion durchfallen (nur für schwallgelötete Verbindungen). Die Bediener in den Bereichen Inspektion, Prüfung und Nachbearbeitung berichten jeden Fehler. Dieses Erfassungsverfahren stellt eine Überprüfung der Prozeßleistung dar und hilft dabei, die Prozeßqualität zu überwachen.



**Abb. 4:** Fehleranalyse: vor und nach Umstellung (sechsmonatiger Zeitraum einer "Probleml Leiterplatte")

Mit der Einführung von Stickstoff fiel die Fehlerrate in dpm für diese bestimmte Baugruppe von 150 auf unter 100 und scheint sich jetzt bei 60 bis 70 dpm zu bewegen. Eine allgemeine Verminderung um ca. 55 % bis 60 % wurde damit erzielt. Alle Arten von Fehlern wurden bei diesem Produkt vermindert, und damit können wir von einem allgemeinen Nutzen sprechen, der sich auch auf andere

Produkte übertragen läßt und die ohnehin niedrigen dpm-Werte weiter verringern sollte. Die Erhöhung der Oberflächenspannung im Zusammenhang mit dem Einsatz von Stickstoff bewirkte keine verstärkte Brückenbildung, wie gelegentlich befürchtet wird. Die Brückenbildung an den Zielanschlüssen wurde signifikant verringert, so daß eine Nachbearbeitung weniger häufig erforderlich ist. Da die Brückenbildung im Ausgangsbereich der zweiten Welle beim Doppelwellenlöten auftritt, muß sich ein Vorteil für das Abschälen ergeben haben. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß beim Löten in einer Stickstoffatmosphäre für diesen Ausgangsbereich eine höhere Flußmittelaktivität erhalten bleibt.

Auch, daß die Abnahme der Fehlerrate mit der Benetzung in Zusammenhang gebracht wird, deutet in dieselbe Richtung. Bei den in der Welle auftretenden Temperaturen ist Stickstoff eine wirksame Möglichkeit, eine Oxidation derjenigen Metallflächen auf der Platte zu verhindern, die gelötet werden sollen. Daher wird die Aktivität des Flußmittels nicht durch die Wirkung auf Metalloxide erschöpft, die bei dieser letzten Erwärmung in Luft gebildet würden. Eine dünnere Oxidschicht benötigt weniger Flußmittelaktivität und damit kann das Flußmittel zum einen die Benetzung wirkungsvoller fördern und zum anderen die Oberflächenspannung im Ausgangsbereich der Welle herabsetzen.

N<sub>2</sub> mag zwar marginal zur Lotkugelbildung bei Schwallötanwendungen beitragen, aber dies wurde hier nicht beobachtet. Es wird angenommen, daß die Qualität der Lötmaske und des Flußmittels mit dem Inert-Schwallöten vereinbar ist. Dieses Phänomen und Lösungen werden in einem Artikel von Triennes et al. [4] eingehend dargelegt.

Im Nadelbettprüfbereich wurden besondere Vorteile festgestellt. Die Durchfallrate bei der Nadelprüfung selbst hat beträchtlich abgenommen. Auch menschliche Eingriffe wurden hier vermindert. Es ist wohlbekannt, daß aufgrund der guten Isolationseigenschaften von Kiefernharz (Kolophonium) die Kontaktbildung mit den Prüfpunkten von der Menge solcher Ablagerungen abhängt. Weiterhin fördert die Klebrigkeit des Harzes auch die Verschmutzung der Nadeln, so daß diese regelmäßig gereinigt werden müssen. Ein geringerer Feststoffgehalt zusammen mit einer Verminderung der Auftragsgeschwindigkeit (Sprühauftrag des Flußmittels) sind die vorrangigen Maßnahmen zur Lösung dieses Problems. Außerdem weisen bestimmte Flußmittel unter Stickstoff weitere Verbesserungen auf. Dies wird im allgemeinen darauf zurückgeführt, daß die Bestandteile der Flußmittel unter inerten Bedingungen nicht oxidieren. Hier wird für diese Prüfung auch von einem unmittelbaren Einfluß des Stickstoffs gegenüber Luft ausgegangen, der aber bisher nicht dokumentiert wurde. Dennoch deuten einige Untersuchungen [5] darauf hin, daß Stickstoff bei einigen Flußmitteln gegenüber ihres Einsatzes in Luft Rückstände vermindert.

Im allgemeinen und in diesem besonderen Fall sind die Ergebnisse der umgerüsteten inertisierten Maschine nach dem "Abdeckungsprinzip" im Vergleich zu der völlig inertisierten Maschine identisch.

## **Wirtschaftliche Aspekte**

Stickstoff und das neue nachgerüstete Stickstoffsystem haben nicht nur die Anlagenverfügbarkeit verbessert, sondern auch die Betriebskosten der Linie B/C gesenkt. Die Berechnung der Kosten gegenüber dem Nutzen geht weit über die Kosten des Stickstoffs hinaus. Ausgehend von den aktuellen Ergebnissen können die Kosten und Einsparungen folgendermaßen gegliedert werden:

### **Kosten des Nachrüstsystems und des Gases:**

Gesamtkosten:

Stickstoff-Nachrüstsystem und Kosten des N<sub>2</sub> pro Stunde: \$ 3,50 / Std.

### **Realisierte Einsparungen:**

Krätzeverminderung \$ 8,00 / Std.

Verminderung des Wartungsaufwandes \$ 2,00 / Std.

### **Nettoeinsparungen (gemessen):**

\$ 6,50 / Std.

### **Sonstige Einsparungen & Vorteile:**

- höhere Verfügbarkeit der Linie signifikant
- Verminderung von Reparaturen und Nachbearbeitung \$ wird geprüft
- Flußmittelverringern (Sprühen, Luft gegenüber N<sub>2</sub>) 25 % - künftig
- weniger Rückstände auf Platte
- Umwelt

Bei über 6000 Produktionsstunden pro Jahr betragen die durch die Umstellung des Verfahrens auf Stickstoff mit dem neuen Nachrüstsatz erzielten Nettoeinsparungen \$ 40.000 pro Jahr für Linie B/C. Unter Berücksichtigung der Stundenkosten pro Linie bei großen modernen Bestückungsanlagen werden die Einsparungen noch höher, wenn man die Vorteile bezüglich der Verfügbarkeit und der verminderten Nachbearbeitung hinzurechnet. Diese Zahlen gelten nur für das Schwallötverfahren.

Aufgrund der Erfolge beim Schwallöten mit Stickstoff ist vorgesehen, das Inertlöten allmählich auch auf das Reflowlöten auszuweiten. Die vorläufigen Ergebnisse sind zwar positiv, aber die kürzliche Umstellung einiger Reflowlötvorgänge auf Stickstoff wurde aufgrund der Einführung von OSP und neuen Packungen bisher nicht quantifiziert.

## **Zusammenfassung**

Die Umstellung bestehender Schwallötanlagen auf Stickstoff ist jetzt aufgrund neuer optimierter Nachrüstsysteme einfacher zu bewerkstelligen. Sie kann für den Bestücker, der mit dem Schwallötverfahren arbeitet und dieses verbessern will, beträchtliche Vorteile mit sich bringen.

Das Ziel von Siemens, die Erfahrungen in der Stickstofftechnik zur Lösung besonderer Probleme in einer bestehenden Schwallötlinie ohne vorherige Inertisierung zu nutzen, wurde erreicht. Die Wahl des nachrüstbaren "Abdeckungssystems", das nachgerüstet werden konnte, erwies sich auch unter so schwierigen Bedingungen wie dem Düsenwinkel von 70° als optimal. Das Nachrüstverfahren erforderte eine nur minimale Unterbrechung, was aufgrund der engen Produktionsplanung eine Voraussetzung war.

Die Inertisierung in der kritischen Zone zwischen Baugruppe und Lotwellen ist hervorragend. Die Lötfehler wurden signifikant verringert. Die Qualität des inertisierten Bereiches führte zu ähnlichen Qualitätsergebnissen wie bei einer N<sub>2</sub>-Volltunnelmaschine.

Die verminderte Krätzebildung bewirkte eine verringerte Wartung - eine Tätigkeit, die bei den Bedienern ohnehin nicht beliebt war. Die geringere Wartungszeit führte zu einer höheren Verfügbarkeit der Produktionslinie; fast 500 zusätzliche Produktionsstunden pro Jahr konnten gewonnen werden.

Die Kostenberechnungen zeigen, daß die Aufwendungen für die Nachrüstung und den Stickstoffverbrauch niedrig sind, wenn man die Einsparungen und die gewonnene Produktionszeit berücksichtigt.

## **Danksagungen**

Die Verfasser möchten folgenden Personen für die gewährte Unterstützung und Beiträge zu diesem Artikel danken: G. Latteman und J. Bernans - Siemens AG; F. Heine und S. Rabia - Air Liquide.

## **Literatur**

- [1] M. Theriault, P. Blostein; "Reducing the Cost of Inert Soldering"; Circuit Assembly Magazine, Juli 1998, Seite 46-52
- [2] S. Duplan; "New Nitrogen Wave Soldering Concept"; Proceedings of Nepcon West 1994
- [3] A. Rahn; "Nitrogen for Flow Soldering and Reflow Soldering?"; SMTA Newsletter, Aug./Sept. 1997
- [4] B. Triennes, G. Kozick; "Eliminating Solder Balls in an Inert Wave Soldering Process"; Proceedings of Nepcon West 1996
- [5] Thibault, Bell, Lemieux; "Reduction of Residues Using Various Atmospheres"; Proceedings of NEPCON West 1998