

Qualität auf der ganzen Linie

Paradigmenwechsel: Von der Fehlererkennung zur Prozesssteuerung

Wer heute eine moderne SMT-Fertigung betritt, sieht auf den allerersten Blick wenig Neues. Drucker, Bestückautomaten und Inspektionssysteme stehen dort, wo sie seit Jahren stehen. Der eigentliche Wandel ist weniger sichtbar und gerade deshalb so bedeutend. Er vollzieht sich hinter den Kulissen – dort, wo aus einzelnen Prozessschritten ein durchgängiger und intelligent gesteuerter Fertigungsprozess wird.

*Bernhard Fritz, Head of Global Marketing,
ASMPT SMT Solutions*

Lange Zeit bildete die Endkontrolle den Schwerpunkt der Qualitätssicherung. Dabei wurden Fehler erkannt, analysiert und anschließend behoben. Dieses Prinzip stößt jedoch zunehmend an seine Grenzen. Moderne KI-Server, High-Performance-Computing-Systeme oder sicherheitskritische Elektronik wie zum Beispiel für die Automobilindustrie kombinieren großformatige Leiterplatten und Ball Grid Arrays (BGAs) mit Tausenden unterschiedlicher, teils hochminiaturisierter Bauelemente in verschiedenen Winkellagen. Dabei können schon kleinste Prozessabweichungen Nacharbeit erforderlich machen oder im schlimmsten Fall zum Ausschuss einer kompletten Leiterplatte führen.

Während die Materialwerte und Fertigungskosten erheblich steigen, sehen sich Elektronikfertiger einem wachsenden Wettbewerbsdruck ausgesetzt. Maximale Produktivität und Auslastung müssen mit höchster Prozesssicherheit Hand in Hand gehen. Was früher häufig als Zielkonflikt galt, entwickelt sich heute zu einer gemeinsamen Aufgabe.

Genau dieser Perspektivwechsel verändert moderne SMT-Linien. Statt Fehler erst nach ihrer Entstehung zu erkennen, überwachen Maschinen, Sensoren und Software im geschlossenen Regelkreis den Fertigungsprozess kontinuierlich. Prozessdaten werden in Echtzeit ausgewertet, Abweichungen früh erkannt und – nach Möglichkeit – umgehend und automatisch korrigiert.

Der Grundstein wird beim Lotpastendruck gelegt

Viele Qualitätsprobleme haben ihren Ursprung bereits im ersten Prozessschritt. Schwankungen beim Lotpastenvolumen, kleinste Positionsabweichungen des Lotpastendepots oder instabile Druckparameter können die Qualität der gesamten Leiterplatte

beeinträchtigen und später unter anderem zu Lötbrücken und offenen Lötstellen oder Head-in-Pillow-Fehlern bei BGAs führen.

Moderne Druckplattformen wie der DEK TQ überwachen deshalb kontinuierlich alle qualitätsrelevanten Prozessparameter und sorgen auch in High-Mix-Fertigungsumgebungen für eine hohe Prozessstabilität. Mit einer Ausrichtungsgenauigkeit von $\pm 12,5 \mu\text{m}$ bei 2 cmk und einer Nassdruckgenauigkeit von $\pm 17 \mu\text{m}$ bei 2 cpk schafft die Plattform die Grundlage für höchste Druckqualität. Zahlreiche Automatisierungsfunktionen für den Smart Pin Support, die Reinigung der Schablonenunterseiten, den Lotpastentransfer oder den Schablonen- und Rakelwechsel reduzieren manuelle Eingriffe und damit auch potenzielle Fehlerquellen.

In Kombination mit dem SPI-System Process Lens und der Applikation WORKS Optimization von ASMPT werden Druck- und Inspektionsdaten in einem geschlossenen Regelkreis kontinuierlich miteinander abgeglichen und Druckparameterkorrekturen automatisch durchgeführt, bevor sie sich auf die Qualität der Leiterplatte auswirken können.

Durchgängige Qualitätssicherung – von der Abholung bis zur Bestückung

Moderne AI-Server, High-Performance-Computing-Systeme sowie anspruchsvolle Automotive- und Industrieanwendungen stellen immer höhere Anforderungen an die Elektronikfertigung. Auf komplexen Leiterplatten treffen dabei Tausende Bauelemente aufeinander, von kleinsten passiven Bauelementen bis hin zu großen Prozessoren und Steckverbindern. Unterschiedliche Bauelementgrößen, Gewichte, Gehäuseformen und Materialien stellen jeweils eigene Anforderungen an Abholung, Ausrichtung und Bestückung. Gerade in High-Mix-Fertigungen mit häufig wechselnden Produkten muss die Bestückplattform diese Unterschiede automatisch berücksichtigen, ohne Geschwindigkeit oder Qualität zu beeinträchtigen. Hinzu kommt, dass mit dem Wert moderner Leiterplatten auch die Anforderungen an die Bestückqualität stetig steigen. Daher beginnt die Qualitätssicherung innovativer Bestückautomaten von ASMPT wie der SIPLACE V Plattform, die bis zu 30 % höhere Realleistung mit maximaler Präzision verbindet, bereits lange vor dem eigentlichen Bestücken des Bauelements.

Der hochintegrierte Bestückkopf CP20 verarbeitet Standardbauelemente mit bis zu 52.000 Bauelementen pro Stunde bei einer Genauigkeit von $\pm 25 \mu\text{m}$ @ 3 sigma. Diese Präzision ist trotz der hohen Geschwindigkeit nur durch eine Vielzahl aufeinander abgestimmter Qualitätskontrollen möglich – die erste davon findet bereits an der Pipette statt. Das System überprüft automatisch ihren Zustand, gibt saubere Pipetten für die Produktion frei, leitet verunreinigte zur Reinigung weiter und sortiert beschädigte aus.

Bereits vor dem Abholen können Abholversätze vom Bauelement in der Gurttasche mit der Leiterplattenkamera erkannt und kompensiert werden. Ein integrierter Bauelementsensoren überwacht zudem jeden einzelnen Schritt. Er prüft, ob das Bauelement vor und nach der Abholung sowie vor und nach dem Bestücken vorhanden bzw. nicht vorhanden ist. Gleichzeitig misst er die Bauelementhöhe bis hinunter zu $50 \mu\text{m}$. Die Messwerte fließen unmittelbar in den Bestückprozess ein. Auf diese Weise können selbst kleinste Bauelemente zuverlässig erkannt und sicher verarbeitet werden.

Für die präzise Ausrichtung sorgt der Bestückkopf mit 20 unabhängig angetriebenen Segmenten. Jedes Segment kann das aufgenommene Bauelement während der Bewegung individuell drehen und positionieren. Zusammen mit Bauelementkamera und -sensor entsteht so eine lückenlose Qualitätskontrolle über den gesamten Bestückprozess. So lassen sich auch Bauelemente von 016008M bis $8,2 \times 8,2 \text{ mm}$ innerhalb eines einzigen Kopfzyklus in jeder erforderlichen Winkelage prozesssicher bestücken.

Direkt nach der Abholung richtet das System jedes Bauelement auf den vorgesehenen Bestückwinkel aus. Im nächsten Schritt erfasst die integrierte Bauelementkamera jedes Bauelement mit individuell angepassten Beleuchtungs- und Bildverarbeitungsparametern. Die Aufnahmen werden in Echtzeit mit den hinterlegten Referenzdaten abgeglichen. X-, Y- und Winkelversätze korrigiert das System dabei automatisch und berücksichtigt dabei auch die erkannte Pin-1-Markierung. Selbst auf dem Kopf stehende Bauelemente werden dabei zuverlässig erkannt.

Besonders anspruchsvoll wird es bei großen Prozessor-BGAs: Mit Gehäuseabmessungen von bis zu $150 \times 150 \text{ mm}$, Gewichten von mehr als 500 g und mehreren Tausend Balls stellen sie besonders hohe Anforderungen an die Prozesssicherheit. Für diese Anwendung hat ASMPT den Bestückkopf TWIN VHF mit speziell ausgelegten Pipetten optimiert. Vor dem Bestücken wird die Koplanarität der BGA-Balls optisch überprüft. Bei BGAs mit einem gleichmäßigen Ball-Muster ist zusätzlich die Kontrolle der korrekten Orientierung anhand der Pin-1-Markierung zwingend erforderlich. Diese Prüfung übernimmt die stationäre Kamera.

Um Lotbrücken zu vermeiden, werden bei großen BGAs typischerweise sogenannte Spacer – dünne Abstandhalter – eingesetzt, die einen definierten Abstand zwischen Bauelement und Leiterplatte sicherstellen. Zur Koplanaritätsprüfung der Balls kommt eine optionale 3D-Koplanaritätsmessung auf Basis der Lasertriangulation mit einer Höhenauflösung von bis zu $0,5 \mu\text{m}$ zum Einsatz. Gerade bei großen Prozessor-BGAs können bereits geringste Ebenheitsabweichungen dazu führen, dass einzelne Balls im Reflow-Prozess keinen zuverlässigen Kontakt zu den Lotdepots herstellen. Solche Fehler bleiben zunächst häufig unbemerkt, können später jedoch zu offenen Lötstellen oder Ausfällen im Einsatz führen. Deshalb zählen die Prüfung der Koplanarität und die Kontrolle vorhandener Spacer heute zu den entscheidenden Voraussetzungen für eine prozesssichere Bestückung großer AI-Server-BGAs. Zusätzliche Sicherheit bietet die integrierte Leiterplatteninspektion (On-Board PCB Inspection). Sie erkennt Verunreinigungen und Fremdkörper in kritischen Bereichen sowie das Fehlen von Bauelementen.

Gleichzeitig vermisst der Bestückautomat die Leiterplatte kontinuierlich, berücksichtigt etwaige Verwölbungen während des Bestückvorgangs und gleicht diese individuell für jede Bestückposition aus. Darüber hinaus sorgen softwaregesteuerte Kraftprofile dafür, dass jedes Bauelement mit der jeweils optimalen Kraft bestückt wird.

Für die passiven Bauelemente bietet der SIPLACE Measuring Feeder eine zusätzliche Ebene der Rüstverifizierung direkt in der Maschine. Er überprüft bei Produktionsstart und nach dem Spleißen – dem Anfügen einer neuen Bauelementrolle an eine leerlaufende Rolle – ob im jeweiligen Förderer das korrekte Bauelement liegt. Dazu misst er den elektrischen Wert des Bauelements und plausibilisiert diesen mit einem hinterlegten Referenzwert. Liegt ein Messwert außerhalb der Toleranzgrenze, verhindert der Förderer, dass falsche Bauelemente für die Bestückung verwendet werden. Auch während der laufenden Produktion sind in regelmäßigen Abständen stichprobenartige Messungen möglich. Die Messergebnisse werden zugleich in den Traceability-Daten dokumentiert.

Warum Qualität heute Prozessqualität ist

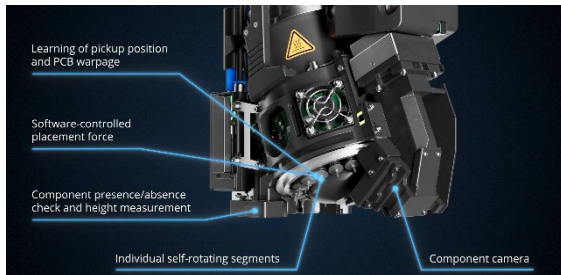
Der eigentliche Fortschritt moderner SMT-Fertigungen liegt nicht nur in einzelnen Qualitätsfunktionen, sondern in ihrer intelligenten Verknüpfung. Viele Abweichungen werden bereits während des Druck- und Bestückprozesses erkannt und korrigiert, bevor sie sich auf nachfolgende Fertigungsschritte auswirken. Die nachgelagerte AOI bleibt dabei eine wichtige letzte Prüfinstanz und bestätigt zugleich die Stabilität des Gesamtprozesses. Qualität entsteht damit nicht mehr an einzelnen Prüfstationen, sondern begleitet den gesamten Fertigungsprozess.

Der Blick aufs Ganze

Der nächste Qualitätssprung wird nicht allein durch noch präzisere Maschinen erreicht. Entscheidend ist die immer engere Vernetzung von Hardware, Software und Künstlicher Intelligenz. Erst dadurch werden aus den vielen Einzelinformationen entlang der SMT-Linie verwertbare Erkenntnisse für das Erreichen von 0 DPMO (Defects per Million Opportunities).

Hier setzt die WORKS Software Suite von ASMPT an. Sie führt Prozess- und Qualitätsdaten aus Druck, Bestückung und Inspektion in einer gemeinsamen Datenbasis zusammen. Über die standardisierte IPC-2591-CFX-Schnittstelle lassen sich dabei auch Maschinen und Inspektionssysteme anderer Hersteller integrieren. So entsteht ein durchgängiges Prozessverständnis über die gesamte SMT-Linie hinweg. Während WORKS Monitoring Transparenz über den laufenden Fertigungsprozess schafft, analysiert WORKS Optimization Qualitäts- und Prozessdaten KI-gestützt, erkennt Zusammenhänge und identifiziert Optimierungspotenziale. Der kontinuierliche Datenaustausch zwischen den vernetzten Systemen innerhalb einer SMT-Linie ermöglicht es bereits heute, Prozessabweichungen automatisch zu korrigieren, bevor daraus Qualitätsprobleme entstehen.

Qualität wird dadurch zunehmend zum Ergebnis eines selbstlernenden und sich kontinuierlich stabilisierenden Fertigungsprozesses. Genau darin liegt der eigentliche Paradigmenwechsel moderner SMT-Fertigungen.



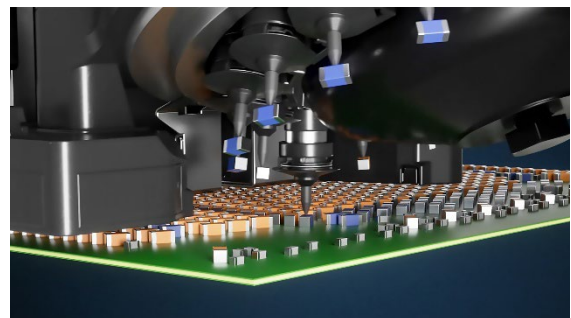
Innovative SIPLACE Bestückköpfe überwachen jeden Bestückvorgang mit integrierter Sensorik und Bildverarbeitung – von der Pipettenprüfung über die Bauelementerkennung bis zur präzisen Bestückung. (Bild: ASMPT)



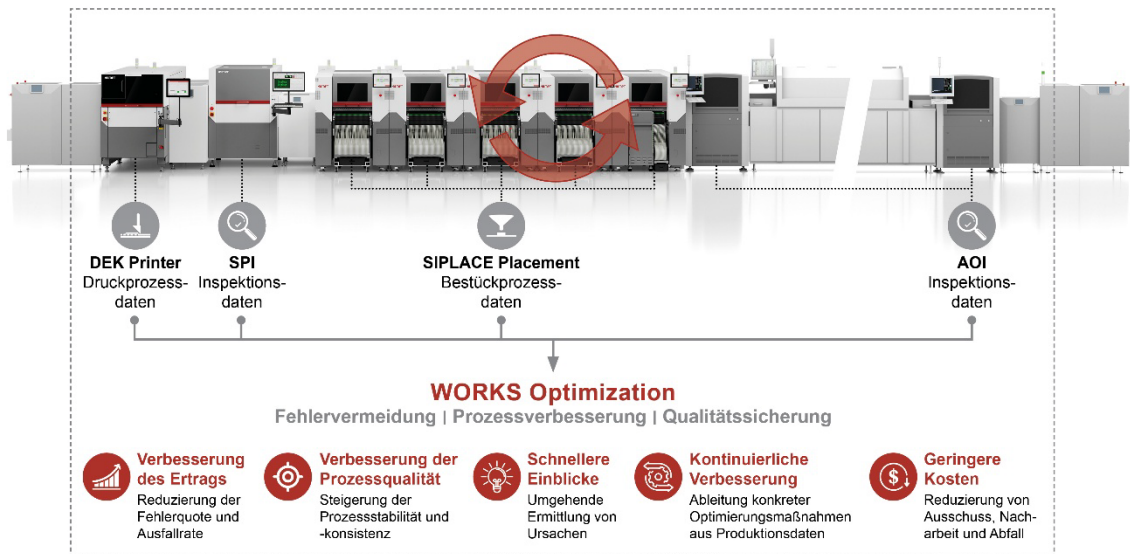
Mit integrierter Sensorik, Bildverarbeitung und automatisierten Qualitätsfunktionen liefern DEK TQ, Process Lens SPI und SIPLACE V die Voraussetzung für eine durchgängig qualitätsorientierte und intelligente SMT-Fertigung. (Bild: ASMPT)



Bei großen Prozessor-BGAs entscheiden sichere Abholung, exakte Ausrichtung und die Koplanarität der Balls über die Qualität der späteren Lötverbindungen. (Bild: ASMPT)



Der Collect&Place Bestückkopf mit 20 unabhängig angetriebenen Segmenten richtet jedes Bauelement individuell aus und ermöglicht die prozesssichere Bestückung unterschiedlichster Bauelemente in jeder erforderlichen Winkellage. (Bild: ASMPT)



Integrierte Kommunikation zwischen DEK TQ Lotpastendruck, Process Lens SPI-System und SIPLACE Bestückautomaten stabilisieren den Fertigungsprozess und erkennen Abweichungen bereits während der Produktion.
(Bild: ASMPT)