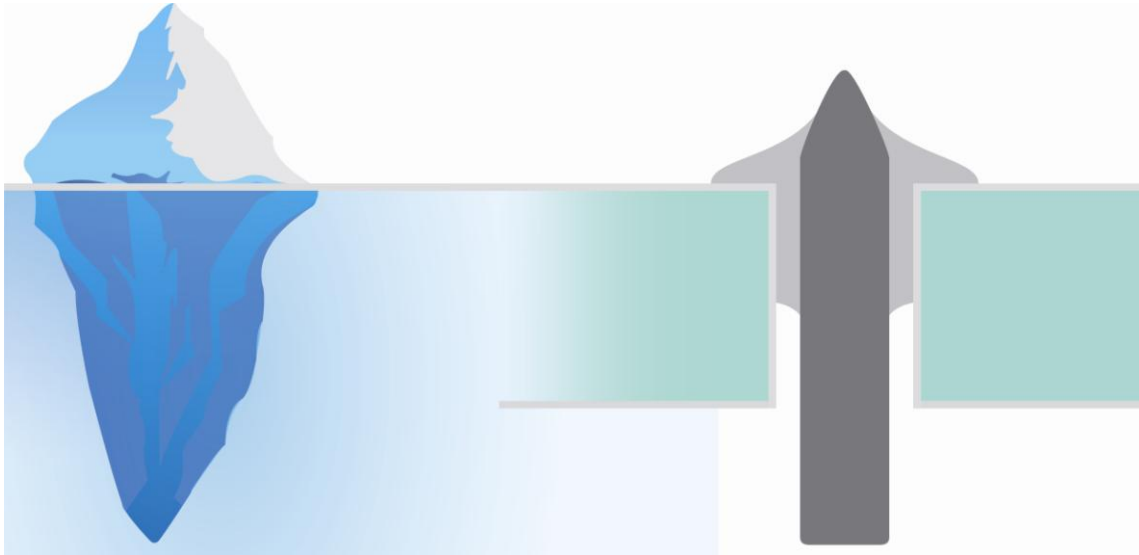


## Nicht nur die Spitze des Eisberges

**In-Line Lotdurchstiegskontrolle an THT-/THR-Steckverbindungen mittels 3D-Röntgeninspektion.**



### *THT lebt!*

Die Through-Hole-Technology (THT) ist die wohl älteste Montagetechnik im Bereich der Leiterplattenfertigung. Doch auch im heutigen Zeitalter der Surface-Mounted-Technology (SMT) findet sie ihre Berechtigung. Auch heute noch werden häufig bedrahtete Bauteile mittels Wellenlötverfahren montiert – ganz in Tradition vergangener Tage. Nachteilig hierbei ist jedoch das zusätzlich benötigte Fertigungsequipment, denn neben den SMT-Anlagen sind Geräte für die THT-Fertigung erforderlich. Es bietet sich also nahezu an, für Steckverbinder und andere bedrahtete Bauteile das Reflow-Lötverfahren anzuwenden. Dazu wurden Through-Hole-Bauelemente für die automatische Bestückung sowie die hohe thermische Belastung im Ofen konstruiert; der Begriff Through-Hole-Reflow (THR) wurde geprägt. Diese Technologie ermöglicht es nun innerhalb des SMT-Prozesses, Bauelemente in Durchstecktechnologie zu verarbeiten. Doch wie können diese Lötverbindungen sicher geprüft werden? Welche Technologie ist nötig um beispielsweise den Lotdurchstieg bewerten zu können? Im Folgenden werden diese Fragen beantwortet. Dabei wird speziell auf das In-Line 3D Röntgensystem X-Line 3D von GÖPEL electronic eingegangen, welches eine schnelle, präzise und reproduzierbare Bewertung des Lotdurchstieges im Takt der Produktionslinie ermöglicht.

### Abnahmekriterien für THT-/THR-Lötstellen

Abbildung 1 zeigt schematisch eine THT-Lötstelle im Querschnitt. Das durch den Lotschwall der Lötwellen abgegebene Lot fließt bedingt durch die Kapillarwirkung von der Lot Quellseite (Lötseite) zur Lot Zielseite (Bestückseite). Es benetzt dabei die Anschlussfläche der Lötseite, umschließt den Pin und bildet durch den Pinüberstand auf der Lötseite einen Lotmeniskus aus.

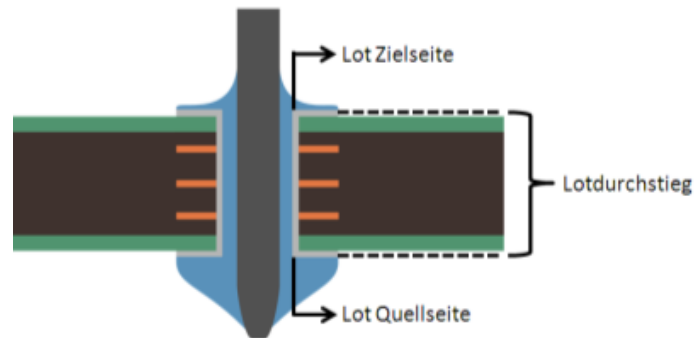


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer THT-Lötstelle im Querschnitt. Ideale Lötung mit Lotdurchstieg 100%.

In der IPC-A610 sind die Abnahmekriterien definiert, um nach erfolgter Lötung zwischen guten und schlechten Lötstellen unterschieden zu können. Tabelle 1 gibt einen auszugsweisen Überblick über die Kriterien:








IPC-Kriterium		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Lötseite	umlaufende Benetzung Pin	270° 	270° 	330° 
Lötseite	benetzte Anschlussfläche	75%	75%	75%
Bestückseite	umlaufende Benetzung Pin	egal	180° 	270° 
Bestückseite	benetzte Anschlussfläche	0%	0%	0%
Lotdurchstieg		egal	 75%	 75%

Tabelle 1: Übersicht ausgesuchter Abnahmekriterien für THT-Lötstellen nach IPC-A610E

Nun ist die Wahl einer Prüftechnologie erforderlich, welche die genannten Abnahmekriterien erfüllt. Am Beispiel eines mehrreihigen Steckverbinders (Abbildung 2) gibt die folgende Tabelle eine Übersicht der Prüfabdeckung von AOI- und 3D-AXI Systemen.

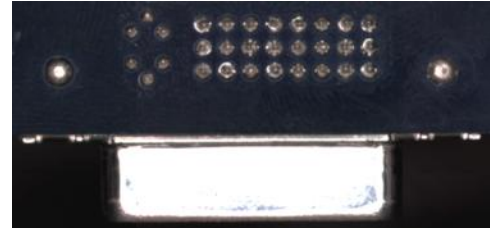
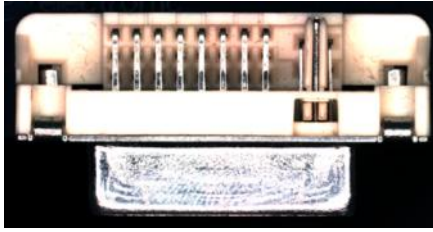


Abbildung 2: Steckverbinder aufgenommen mittels AOI von oben und unten.

IPC-Kriterium		2D-/3D-AOI	3D-AXI
Lötseite	umlaufende Benetzung Pin und Hülse	Ja	Ja, teilweise eingeschränkt
Lötseite	benetzte Anschlussfläche	Ja	Ja, teilweise eingeschränkt
Bestückseite	umlaufende Benetzung Pin und Hülse	Ja	Ja, teilweise eingeschränkt
Bestückseite	benetzte Anschlussfläche	Nein	Ja, teilweise eingeschränkt
Lotdurchstieg		Nein	Ja
Volumenberechnung		Nein	Ja
Anwesenheit Pin		Ja	Ja
Kurzschluss		Ja	Ja

Tabelle 2: Übersicht Prüfabdeckung mittels 2D-/3D-AOI und 3D-AXI

Gut geeignet sind AOI-Systeme zur Bewertung der umlaufenden Benetzung des Pins und der Hülse sowie zur Beurteilung der benetzten Anschlussfläche auf der Lötseite einer THT-Lötstelle. Nachteilig an einem klassischen 2D-AOI oder einem neuartigen 3D-AOI System ist hierbei jedoch, dass sich oft nur die Lötseite beurteilen lässt. Grund hierfür ist, dass die Pins auf der Bestückseite meist durch den Bauteilkörper selbst verdeckt sind. Eine Beurteilung der Lötstellen auf der Bestückseite ist mit einem AOI-System somit nicht möglich. Auch der Zinndurchstieg bleibt der klassischen AOI-Technologie verborgen.

Abhilfe schafft ein modernes 3D Röntgensystem wie das X-Line 3D zur Erhöhung der Prüftiefe. Die 3D-Röntgeninspektion macht nicht nur die Lötstellen der Bestückseite (also unter dem Bauteilgehäuse) sichtbar, sondern ist auch in der Lage den Lotdurchstieg sowie das Lotvolumen zu berechnen.

Neben der 3D Röntgentechnologie findet auch die 2,5D Röntgenbildaufnahme (Schrägdurchstrahlung) zur Prüfung des Zinndurchstieges Anwendung in der Praxis. Die Bewertung des Lotdurchstieges mittels 2,5D Röntgenbild ist jedoch speziell bei mehrreihigen Steckverbindern häufig sehr diffizil. Dabei kommt es oft vor, dass sich die Pins der einzelnen Reihen gegenseitig verdecken. Zudem sind im 2,5D Bild mehrreihige Steckverbinder für das Klassifikationspersonal schwerer zu interpretieren als im dreidimensionalen Schnittbild, in welchem die Lötstelle stets von oben als Scheibe dargestellt wird. Ein weiterer Nachteil der 2,5D-Aufnahme ist die aufwendigere Programmierung. Während im 3D AXI System X-Line 3D die Lötstellen stets normiert in der Draufsicht gezeigt werden und so einheitliche Prüfalgorithmen angewendet werden können, so muss in der 2,5D Technik stets die Prüffunktion an den entsprechenden Schrägdurchstrahlungswinkel angepasst werden.

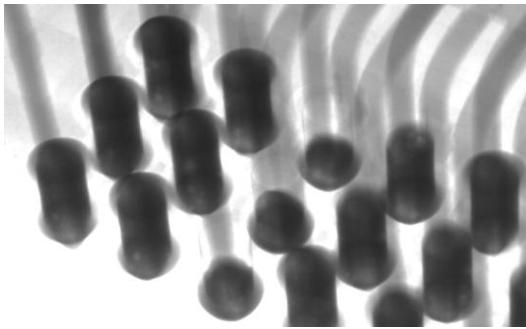


Abbildung 3: Steckverbinder in 2,5D Schrägdurchstrahlung mit gut sichtbaren Fehlern im Zinndurchstieg.

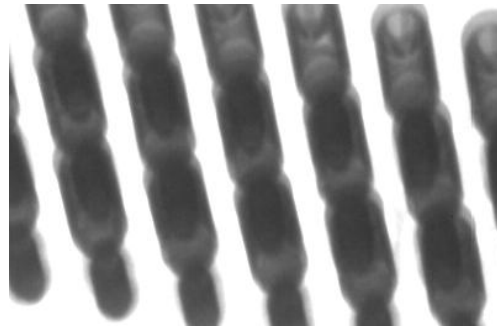


Abbildung 4: Steckverbinder mit vielen hintereinander liegenden Pinreihen in 2,5D Schrägdurchstrahlung; die Lötstellen lassen sich schlecht trennen; der Aufwand zur Prüfprogrammerstellung ist hoch

### Die Salami-Taktik

Wie erfolgt die THT-/THR Inspektion im X-Line 3D? Zur Berechnung des Zinndurchstiegs wird die THT-Lötstelle digital in Scheiben unterteilt. Vergleichbar mit dem schneiden einer Salami werden Scheiben der Dicke „d“ erzeugt und deren mit Lot bedeckte Fläche berechnet. Abbildung 5 zeigt den digitalen Schnitt schematisch.

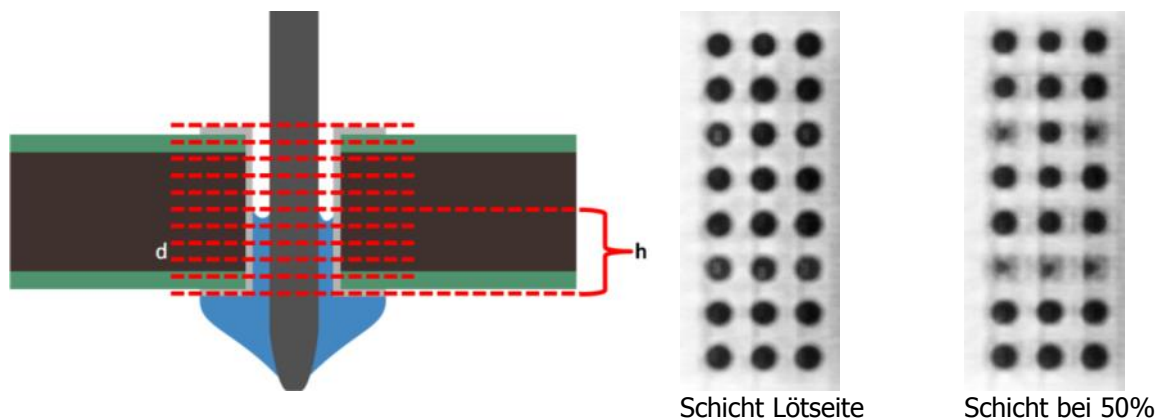


Abbildung 5: Links: schematische Darstellung der N-Schnittebenen. Mitte: Schichtbild der Lötseite. Rechts: Schichtbild bei 50%.

Zur Berechnung des Zinndurchstiegs wird anschließend in der THT-Prüffunktion des X-Line 3D eine minimal zulässige Scheibenfläche in  $\text{mm}^2$  definiert. Nun wird Scheibe für Scheibe geprüft, ob diese minimale Fläche unterschritten wird. Wird sie unterschritten, ist dies das Abbruchkriterium zur Bestimmung des Lotdurchstiegs. Die Durchstiegshöhe „h“ (mm) wird dann von der Maschine berechnet und im Fehlerfall wird dieser Messwert neben dem Röntgenfehlerbild am GÖPEL Reparaturplatz/Klassifikationsplatz angezeigt. Zusätzlich zur Bestimmung des Lotdurchstiegs ist das System in der Lage das Lotvolumen ( $\text{mm}^3$ ) zu berechnen. Dazu werden wie zuvor bei der Durchstiegsbestimmung zwischen Löt- und Bestückseite N-Scheiben der Dicke „d“ erzeugt, für jede Scheibe das individuelle Volumen berechnet. Die Volumensumme aller Scheiben ergibt schließlich das Gesamtvolumen.

Im Falle einer THR-Lötstelle kehren sich Lot Quellseite und Lot Zielseite um. Die Abnahmekriterien bleiben jedoch dieselben. Eine Prüfung von THR-Lötstellen ist somit ohne

weiteres möglich. Bedingt durch das Ausgasen des Flussmittels der Lotpaste während des Lötvorgangs ist bei THR-Lötstellen jedoch oft ein höherer Anteil Luftpneinschlüsse innerhalb der Lötstelle zu finden. Gerade hier ist der Einsatz des Röntgensystems X-Line 3D prädestiniert, um Unterbrechungen im Zinndurchstieg detektieren zu können.

### *Programmierung so leicht wie nie*

Durch die intuitive Gestaltung der Systemsoftware XI-Pilot sowie die Kombination von 3D-Röntgenprüfung und AOI in einem Gerätesystem (X-Line 3D AXOI) wird die Parametrierung der THT/THR-Lötstelleninspektion kinderleicht. Der Programmierer kann zur besseren Orientierung auf einem farbigen AOI-Übersichtsbild arbeiten und sich darüber halbtransparent die CAD-Daten der Baugruppe visualisieren lassen.

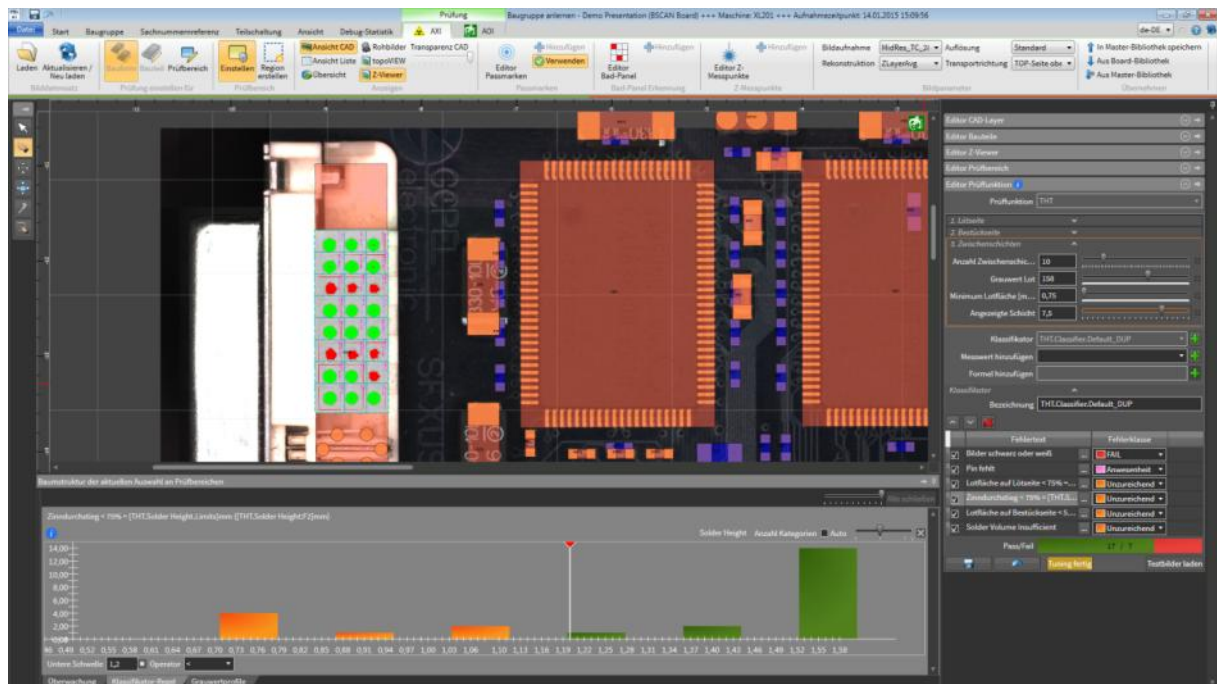
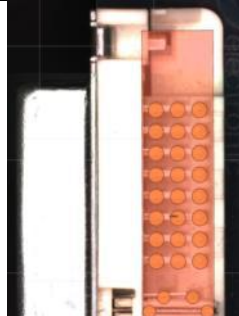
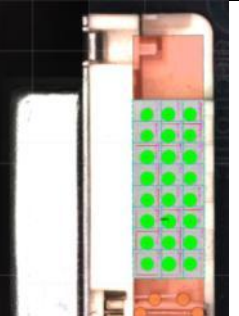
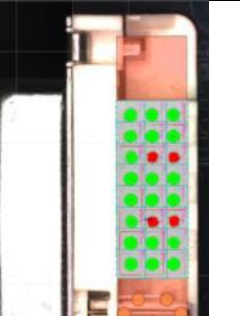
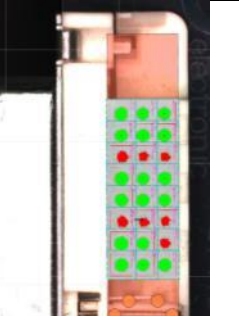


Abbildung 6: Intuitive Programmieroberfläche der Systemsoftware XI-Pilot

Zur Parametrierung der THT-Prüffunktion müssen lediglich die entsprechenden Steckverbinder ausgewählt werden, die Röntgenbilder (Schnitte) werden daraufhin passgenau über dem AOI-Bild dargestellt. Die Parametrierung der Prüffunktion erfolgt anschließend über wenige Schieberegler um die Geometrie der THT-Lötstelle sowie nötige Grauwertschwellen einzugeben. Hier zeigt sich ein weiterer Vorteil der 3D-Röntgentechnik: Die Lötstellen werden stets in normierter Draufsicht gezeigt. So lässt sich eine einheitliche Bauteilbibliothek verwenden. Ein integriertes Debug-Statistik-Tool verhilft darüber hinaus dem Programmierer Messwerte aus N-Baugruppeninspektionen untereinander zu vergleichen und Messwertgrenzen zu optimieren.

			
AOI-Bild mit Steckverbinder und CAD-Daten	AOI-Bild und Röntenschichtbild der Lötseite (Schicht 0%)	AOI-Bild und Röntenschichtbild bei Schicht 50% 4 Pins fallen aus	AOI-Bild und Röntenschichtbild bei Schicht 75% 7 Pins fallen aus

### *Schnell, Schneller, X-Line 3D*

Das patentierte Bildaufnahme-konzept des X-Line 3D ermöglicht die THT/THR-Prüfung im Takt der Produktionslinie. Alle zur 3D-Rekonstruktion benötigten Röntgenbilder (Schrägdurchstrahlungsbilder) werden in der Bewegung (scan) aufgenommen und in Echtzeit verrechnet (rekonstruiert). Die scannende Bildaufnahme ist hierbei Faktor 3-4 schneller als bei Systemen mit flächiger stop-and-go Bildaufnahmetechnologie. So können auch große Baugruppen mit vielen Steckverbindern taktzeitgerecht geprüft werden.

### *Zusammenfassung*

Zur Prüfung der Lötstellen von THT/THR-Steckverbindern ist ein Blick in die Tiefe notwendig, um nicht nur „die Spitze des Eisberges“ zu betrachten. Um den Vorgaben der IPC zu folgen genügt ein reines AOI System zur Fehlerfindung nicht. Mithilfe der 3D-Röntgentechnologie lässt sich unter anderem eine Aussage über den Zinndurchstieg und das Lotvolumen treffen. Das X-Line 3D ermöglicht eine präzise Bewertung dieser Kriterien und wird gleichzeitig den hohen Anforderungen des Linientaktes gerecht.

Autor:



**Dip.-Ing. Andreas Türk** ist als Bereichsleiter für die Automatischen Röntgeninspektionssysteme bei Göpel electronic verantwortlich.