

# High-Speed Inline Automatische 3D-CT-Röntgeninspektion

Überwindet die Herausforderungen und Begrenzungen der AOI-Systeme und vermeidet hohe Komplexität in der Programmierung

## Einblicke

**Der Einsatz von Röntgentechnik ist erforderlich, um verdeckte Lötstellen sicher zu prüfen und somit die hohen Anforderungen der Kunden an die Produktionsqualität zu erfüllen.**

Die Inspektion muss in-line erfolgen, mit nur minimalen Auswirkungen auf den Linientakt und sie muss zuverlässig jene Defekte finden, die mit allen gängigen Techniken, einschließlich der konventionellen Röntgeninspektion, sonst nur sehr schwer zu erkennen sind.

**Die 3D-Inspektion von Saki gewährleistet eine hochgradig detaillierte Bilderfassung und ist mit außergewöhnlich leistungsfähigen Bildanalyse-Algorithmen kombiniert.**

Die Darstellung der erkannten Fehler durch das System von Saki ist einfach zu verstehen und die Beurteilung durch die Mitarbeiter in der Fertigung ist ohne große Erfahrung in der Anwendung von Röntgensystemen möglich.

**Das digitale Verfahren zur Kompensation von durchgebogenen Leiterplatten ist überaus effizient. Es übertrifft die Anforderungen an die bisherigen Inspektionsleistungen und hebt Einschränkungen auf. Zudem wird eine hohe Programmierungs-Komplexität vermieden.**

## Inhalt

Kurzfassung	2	3.7 Qualitätssteigerung durch fortschrittliches Debugging und Optimierung	10
Einführung	3	4.0 Spezielle Inspektionslogik: Mit erweiterten Erkennungsfunktionen und Fehlermustern	10
1.0 Überlegene Bildqualität mit planarer Computertomographie	3	4.1 Verstärkte HiP Aufdeckungsfähigkeiten	10
2.0 Solide Hardware-Struktur für überragende Bildqualität	4	4.2 BGA-Voids	11
2.1 Kleiner Fokuspunkt für Röntgenstrahlen	4	4.3 Verbesserte Erkennung von Fehlern an Lötstellen	11
2.2 Solide Hardware und präzise Kalibrierung der Antriebsachsen	5	4.4 Verbesserte Erkennung der Lotkehlenform von SMD-Chips	12
2.3 Absolute Positioniergenauigkeit	6	4.5 Erkennungsfunktion der QFN-Lotmenisken	12
2.4 Vorteilhaft niedriger Maschinenschwerpunkt	6	4.6 Inspektionslogik für Voids in durchkontaktierten Lötstellen	13
3.0 Weiterentwicklung der hoch genauen Bildverarbeitungstechnologie für große Benutzerfreundlichkeit	7	5.0 Judgement Station (Verifikationsmonitor)	13
3.1 Automatische und vollständige Kompensation der Leiterplattendurchbiegung in XYZ-Richtung	7	6.0 Eine effiziente Workflow-Optimierung	14
3.2 Nahtloses Zusammenfügen der Bilder	8	7.0 Hohe Produktsicherheit, geringer Wartungsaufwand und Selbstdiagnosefunktion	14
3.3 Berechnung jedes einzelnen Pixels in 3D	8	8.0 Fazit und Ausblick	16
3.4 Gleichzeitige Inspektion von Ober- und Unterseite	9	Die Saki Corporation	17
3.5 High-Speed Inline-Inspektion	9	Kontakt	17
3.6 Erstellen und Verwalten der Prüfbibliothek zeitsparend und mühelos	9		

## I Kurzfassung

Die automatische Inspektion von Elektronik-Baugruppen unterstützt die Hersteller in ihrem Bestreben, die bestmögliche Produktqualität zu erreichen. Nur Baugruppen, die äußerst strenge Kriterien erfüllen, dürfen letztlich die Fertigung ohne Beanstandung verlassen. Hingegen müssen im Falle von nicht akzeptierbaren Qualitätsschwankungen solche mangelhaften Baugruppen umgehend automatisch erkannt und aussortiert werden.

Inspektionssysteme für eine 3D-Inspektion des Lotpastendrucks, die Pre-Reflow- und die Post-Reflow Inspektion sind unerlässlich, um die Produktqualität in den verschiedenen Fertigungsphasen optisch zu messen und zu kontrollieren, um somit zu verhindern, dass fehlerhaft bedruckte oder falsch bestückte Baugruppen den Fertigungsprozess bis zur Auslieferung weiter durchlaufen. Werden potentielle Fehler so früh wie möglich erkannt und aussortiert, sinken die Kosten für eventuellen Ausschuss. Mitunter besteht auch die Möglichkeit, die Leiterplatten respektive Baugruppen zu reparieren und wieder zu verwenden.

Für optische Inspektionssysteme ist es physikalisch nicht möglich verdeckte Lötstellen zu prüfen. Insbesondere dann, wenn die Lötstellen sich unter dem Bauteil befinden. Nur die Röntgeninspektion ermöglicht in Lötstellen "hinein zu sehen", um beispielsweise Voids zu erkennen oder auch durch Komponenten hindurch zu sehen, um dort verdeckte Verbindungsdefekte zu entdecken. Bei diesen Fehlern handelt es sich um latente Fehler, die eine Verkürzung der Produkt-Lebensdauer bedeuten oder minderwertige Leistung in der späteren Anwendung im Feld verursachen können.

Die heutigen immer anspruchsvolleren Anwendungen erfordern zunehmend Inspektionssysteme, die zweifelsfrei klare und detailreiche Bilder liefern, kurze Aufnahmezeiten garantieren und die Kosten von menschlichen Eingriffen und des Wartungsaufwands zu senken.

Sakis fortschrittliche Technologien bieten Inspektionslösungen mit speziellem Planar-CT (PCT) Scanverfahren. Das gewährleistet eine effiziente automatisierte Inline-3D-Röntgeninspektion mit hochpräziser Bildqualität für die Erkennung von sehr schwierig lokalisierbaren Fehlern, die durch nicht benetztes Lot sowie Voids in verdeckten Lötstellen verursacht werden.

Zudem benötigen Elektronikhersteller effiziente Lösungen, die menschliche Eingriffe im laufenden Prüfbetrieb auf ein Minimum beschränken. Dazu gehören beispielsweise die einfache und schnelle Programmierung sowie eine benutzerfreundliche Bedienoberfläche für die eindeutige Bewertung der Ergebnisse. Dank der hochauflösenden 3D-Bilder können auch unerfahrene Benutzer das System problemlos bedienen.

Das Equipment von Saki ist zudem mit einer revolutionären neuen Röntgenröhre ausgestattet, mit der Saki den Wartungsaufwand reduziert und zudem vorausschauende Wartungsfunktionen bietet (predictive maintenance). Die Röntgenröhre wird nur kurz für die Bilderfassung aktiviert, wodurch die Röntgendosis um 70% reduziert wird, die Bauteile weniger Strahlenbelastung erhalten und eine erhebliche Energiesparungen erzielt werden kann.

In diesem Artikel werden die neuesten Lösungen in der AXI-Fertigungsprüfung vorgestellt und erläutert, die eine sehr effektive, sichere und zuverlässige automatisierte In-line-3D Röntgeninspektion ermöglichen, die selbst für die anspruchvollsten Anwendungen in der High-End-Fertigung geeignet sind.

## I Einführung

In unserer Welt von heute werden zunehmend Hightech-Lösungen eingesetzt, um Produktivität, Sicherheit, Umweltschutz und die Zufriedenheit der Anwender in Sektoren wie Smart Industry, Automobiltechnik, Telekommunikation, Medizin, Luft- und Raumfahrt sowie High-End-Konsumgüter zu verbessern. Mit jeder weiteren Generation werden die Elektronik-Baugruppen in Systemen und Sensormodulen jedoch dichter und komplexer bestückt. Zu den am weitesten entwickelten IC-Bauformen, die aktuell häufig in High-End-Produkten verwendet werden, gehören Ball Grid Array (BGA) mit 500 µm Anschlussabstand und 300 µm Lotkugeldurchmesser. Damit die von den Fertigungsunternehmen erwartete Zuverlässigkeit in der Qualitätssicherung erreichbar ist, sind dafür allerdings 3D-Röntgensysteme mit leistungsfähiger In-Line-Technik zum klaren und scharfen "Sehen" oder "Visualisieren" der Board-Details nötig; die zumeist in Verbindung mit der gebräuchlichen Lotpasten-Inspektion und der automatischen optischen Inspektion eingesetzt werden.

Röntgensysteme haben in der Elektronikfertigung zwar bereits eine längere Tradition, sind aber leider immer noch sehr kompliziert, wenn es um das Setup von Prüfgorythmen und die Beurteilung der erzielten Ergebnisse durch die Anwender geht. Die Mitarbeiter benötigen oft sehr große Erfahrung in der Röntgeninspektion, um die Geräte einsetzen zu können. Darüber hinaus ist die Identifikation von Defekten wie fehlende oder schlechte Benetzung von BGA-Lotkugeln und QFN- oder LGA-Pads mit herkömmlichen Röntgengeräten in vielen Fällen nach wie vor äußerst schwierig. Dies macht die Anwendung der neuen "Deep"-Kategorie von In-line-Röntgeninspektionssystemen in der heutigen hochvolumigen Elektronikfertigung zu einer nicht mehr lange aufschiebbaren Herausforderung.

Saki hat ein hoch innovatives Röntgensystem entwickelt, um diese Herausforderungen der "Deep"-Inspektion perfekt zu meistern. Die auf der optimierten Planar-Computertomographie-Röntgentechnologie (PCT) von Saki basierende Bilderfassung berechnet die Daten für jedes einzelne Pixel, anstatt sie nur zu synthetisieren, und liefert damit das vollständigste und genauestens realisierbare Bild jeder Schnittebene durch alle erfassten Lötstellen. Diese überragende Detailgenauigkeit und Klarheit sind der Schlüssel zur Erkennung von Defekten, die mit anderen Techniken äußerst schwer zu finden sind. Durch den Einsatz von Sakis einzigartiger, hoch entwickelter Bildverarbeitungssoftware, die auch bei den bewährten SPI- und AOI-Systemen von Saki zum Einsatz kommt, ist der Aufwand für die Erstellung des AXI-Prüfplan derselbe wie bei einem üblichen AOI-Prüfplan, während jedoch die Visualisierung der erkannten Defekte relativ leicht verständlich ist. Die Ergebnisse werden sehr übersichtlich dargestellt, damit sie von den Benutzern auch ohne monatelange Anwendungserfahrung gut verstanden werden können.

## 1 | Überlegene Bildqualität mit planarer Computertomographie

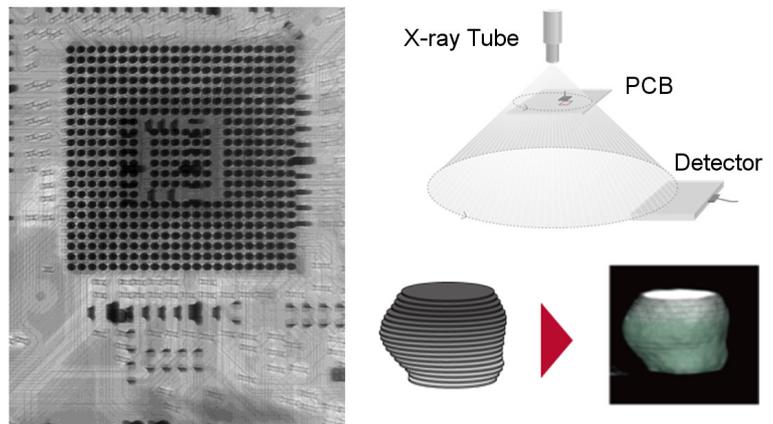
Sakis neu entwickelte AXI-Lösung für die Inspektion von Elektronik-Baugruppen erfasst von jedem Inspektionsbereich mehrere Bilder. Das System generiert dabei Bilder aus einem Bereich von 0° bis 50°.

Dies liefert ein Maximum an Informationen für eine hochauflösende Bildrekonstruktion. Die Baugruppe und der Detektor sind so synchronisiert, dass sie sich im Kreis bewegen. Die Röhre bleibt dabei stationär in der Mitte stehen. Für jedes Sichtfeld (Field of View, FOV) werden

mehrere Schichtbilder erzeugt, indem die Bauteile aus verschiedenen Winkeln bestrahlt werden. Anschließend wird zum nächsten FOV gewechselt und eine weitere Reihe von Röntgenaufnahmen aus verschiedenen Winkeln in kreisförmigen Bewegungen aufgenommen. Bild 1 zeigt eine reale Röntgenaufnahme.

Von einer Elektronik-Baugruppe werden in der Regel 16 bis 64 Bilder für ein FOV aus verschiedenen Winkeln aufgenommen. Je nach benötigter Bildqualität, beträgt die gesamte Aufnahmezeit für ein FOV etwa 5 bis 10 Sekunden.

Bild 1.  
Röntgenaufnahme einer Baugruppe, erfasst mit Sakis 3Xi-M110 In-line AXI System.



Die Berechnung der vollständigen Bilddaten aus mehreren FOVs, die aus verschiedenen Winkeln aufgenommen wurden, ermöglicht Inspektionstechniken wie die Volumenanalyse zur Erkennung von Voids oder die Auswertung der Lotform, um Anzeichen für eine schlechte oder fehlende Benetzung über dem gesamten Areal eines Objekts wie beispielsweise Lotkugel oder Lotkehle/Lotmeniskus festzustellen.

Die einzigartige und proprietäre Planar-Computertomographie-Technologie (PCT) von Saki verwendet besondere CT-Algorithmen, um die Leuchtdichte jedes einzelnen Pixels zu berechnen. Dies bietet Ihnen signifikante Vorteile im Gegensatz zu der Tomosynthesetechnik anderer Systeme, die keine Berechnung jedes einzelnen Pixels vornehmen. Die Methode von Saki ist hier wesentlich genauer und erzeugt schärfere Bilder.

## 2 | Solide Hardware-Struktur für überragende Bildqualität

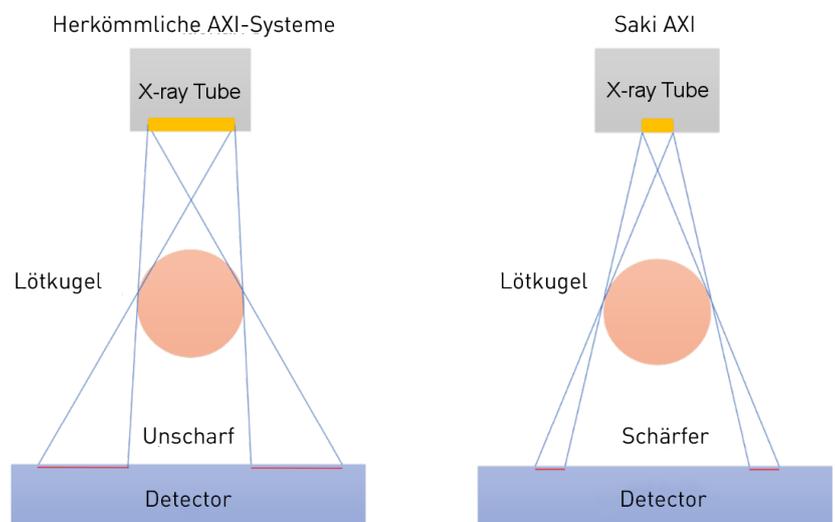
Zusätzlich zu der innovativen Bildverarbeitungssoftware zeichnen sich Sakis Röntgensysteme durch eine extrem zuverlässige Maschinen-Plattform aus. Diese wurde durch sorgfältige Detailarbeit in vier zentralen Bereichen erzielt:

### 2.1 Kleiner Fokuspunkt für Röntgenstrahlen

Röntgenstrahlen werden bekanntlich durch die Fokussierung des von einem Kathodenfilament emittierten Elektronenstrahls erzeugt, der dann auf einem Target (Anode) Strukturen sichtbar macht. Die Bildschärfe, die mit einer bestimmten Röntgenquelle erreicht werden kann, hängt direkt von der Größe des Fokuspunktes (Brennpunkt) des Strahls ab.

Saki verwendet Röntgenröhren mit einer reduzierten Brennpunktgröße von 4-8  $\mu\text{m}$ , die klare und scharfe Bilder des Prüfobjekts mit minimaler Unschärfe an den Objektkanten liefern. CT-Berechnungen, die anhand dieser 2D-Rohaufnahmen aus verschiedenen Winkeln durchgeführt werden, erzeugen hochwertige, fein aufgelöste 3D-Darstellungen. Dies ist die entscheidende Methode zur Optimierung der Erkennungsleistung, insbesondere bei der Inspektion von extrem miniaturisierten Bauelement-Gehäusen. Herkömmliche Röntgenkonfigurationen im Markt verwenden Quellen, die typischerweise eine Fokusgröße von 15  $\mu\text{m}$  bis 50  $\mu\text{m}$  aufweisen und daher eher unscharfe Objektränder erzeugen. Unabhängig von der Zahl der aufgenommenen Bilder kann die anschließende Bildauswertung die Effekte dieser Aufnahme-Unschärfe nicht mehr ausgleichen.

Bild 2.  
Vergleich der  
Hardwarestruktur für  
kleinere Fokuspunkte.



## 2.2 Solide Hardware und präzise Kalibrierung der Antriebsachsen

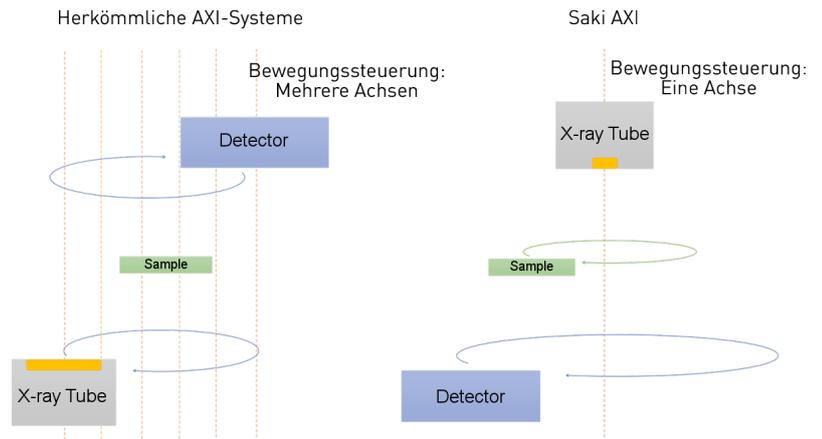
Das Erfassen klarer und scharfer Bilder hängt in hohem Masse auch von der präzisen Kontrolle jeder Achse der Maschine ab um Röntgenröhre, Prüfobjekt und Detektor gemeinsam zu positionieren.

Bei herkömmlichen Röntgensystemen besteht die Bildaufnahme aus einem stationären Prüfobjekt und der Bewegung der Röntgenröhre und des Detektors für jedes Sichtfeld (FOV: Field of View). Das bedeutet, dass sich für jedes FOV die Röntgenröhre und der Flat Panel Detektor in das Zentrum der Bewegungsachse des gewünschten FOV's bewegen.

Der Ansatz von Saki für die Röntgenbilderfassung besteht darin, die Röntgenröhre in den XY-Richtungen fest zu positionieren und das Prüfobjekt und den Detektor nach Bedarf zu bewegen. Das bedeutet, dass die Bewegungsachse in dieser einzigartigen Hardwarestruktur immer in der Mitte der Röntgenröhre liegt.

Beim herkömmlichen Ansatz wird die Bewegungsachse ständig in der Mitte jedes erfassten FOVs angelegt, was zu Komplikationen bei der Bewegungssteuerung und zu einer weniger präzisen Kalibrierung führen kann. Da es bei der Saki Lösung nur eine Bewegungsachse gibt, kann die gemeinsame Positionierung der Röhre, des Prüfobjekts und der Detektorphase an jedem Punkt präzise kalibriert werden, wobei jegliche Fertigungstoleranzen der Maschine vollständig unterdrückt wird, was zu einer effektiven, hochpräzisen Kalibrierung führt.

**Bild 3.**  
Vergleich der Hardwarebewegung für die verbesserte Kalibrierung.

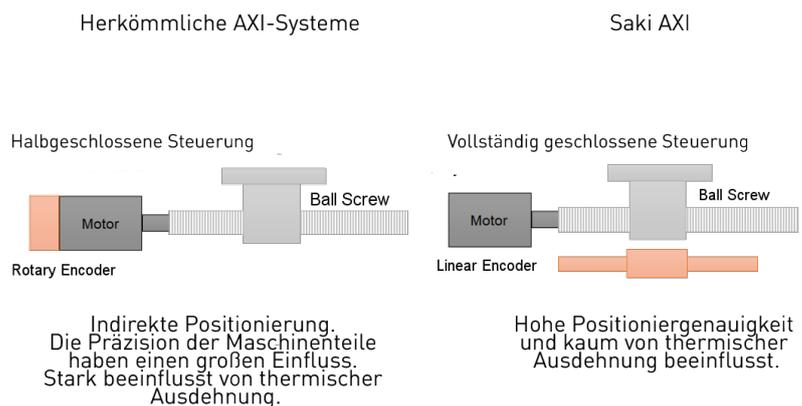


### 2.3 Absolute Positioniergenauigkeit

Zusätzlich zur Begrenzung der Bewegung auf eine einzige Achse verwenden die innovativ konstruierten Röntgensysteme von Saki in der Bewegungssteuerung ein in sich vollständig geschlossenes lineares Encodersystem. Es wurde entwickelt, um die Auswirkungen der thermischen Ausdehnungskoeffizienten sowie Abweichungen zwischen den Encoder-Subsystemen zu minimieren und gleichzeitig eine hohe Positioniergenauigkeit zu gewährleisten.

Diese äußerst genauen Mechanismen für die Bewegungssteuerung sind in jeder Achse mit einer Präzisionsskala ausgestattet, die es dem Bilderfassungssystem ermöglicht, bei der Aufnahme der Bilder exakt definierte Stopp-Positionen einzuhalten. In Verbindung mit dem extrem steifen Maschinenrahmen sorgt dies für die hervorragende mechanische Stabilität, wie sie für die Aufnahme von möglichst scharfen Bildern erforderlich ist.

**Bild 4.**  
Vergleich des Portalsystems für absolute Genauigkeit.

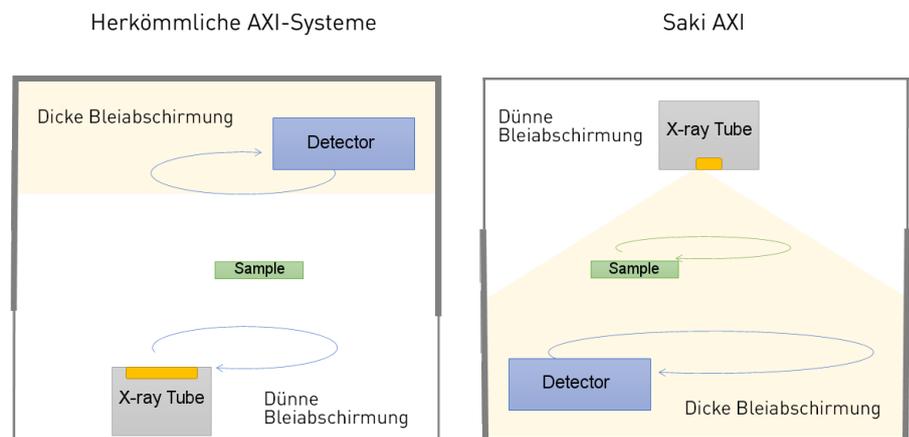


### 2.4 Vorteilhaft niedriger Maschinenschwerpunkt

In der Maschinen-Architektur der Röntgengeräte von Saki ist die Röntgenröhre an der Oberseite des Systems positioniert. Der Weg des Röntgenstrahls verläuft daher von oben nach unten, so dass die erforderliche schwere Bleiabschirmung überwiegend im unteren Teil der Anlage installiert ist. Diese moderne Konstruktion steht im Gegensatz zur herkömmlichen AXI-Systemarchitektur, bei der sich die Röntgenröhre unten befindet und die schwergewichtige Bleiabschirmung oben.

Dadurch liegt der Schwerpunkt der Röntgensysteme im Saki-System deutlich tiefer als bei anderen Konstruktionen. Dies trägt zur Reduzierung von Vibrationen bei und verbessert die Positioniergenauigkeit des Objektträgers, wodurch eine noch bessere Bildqualität erreicht wird.

Bild 5.  
Verbesserte Hardwarearchitektur reduziert erheblich Restvibrationen und erhöht die Stabilität der Maschine.



### 3 | Weiterentwicklung der hoch genauen Bildverarbeitungs-Technologie für große Benutzerfreundlichkeit

#### 3.1 Automatische und vollständige Kompensation der Leiterplattendurchbiegung in XYZ-Richtung

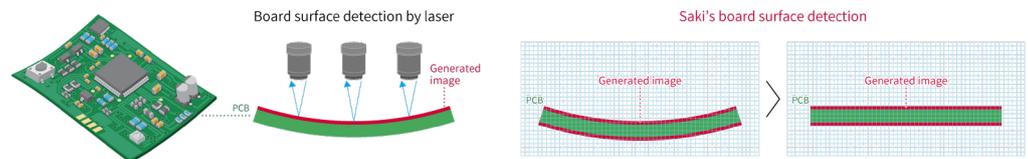
Die PCT-Technologie kompensiert die Leiterplattendurchbiegung automatisch anhand der erfassten Röntgendaten (Bild 6). Dies im Gegensatz zu anderen Systemen, die ein separates laserbasiertes Messsystem zur Bewertung der Durchbiegung benötigen. Äußere Einflussfaktoren wie Ausdünstungen, Abschirmungen oder aufgesteckte Board-zu-Board-Konfigurationen können jedoch die Oberfläche einer Baugruppe teilweise verdecken bzw. anderweitig nachteilig beeinflussen. Das System 3Xi-M110 erfasst effizient die gesamten Inspektionsdaten in einem einzigen Scan und ist somit von diesen Herausforderungen, Hindernissen oder Einschränkungen im laufenden Prüfbetrieb überhaupt nicht tangiert.

Darüber hinaus korrigiert das Verfahren nicht nur den Versatz in Richtung der Z-Achse, sondern kompensiert auch in X- und Y-Richtung eine durch thermische Effekte verlängerte oder verkürzte Baugruppe. Durch die genaue Rekonstruktion wird die exakte Position und Höhe der Lotkugeln unter dem BGA erfasst.

Dank der akkurat rekonstruierten und kompensierten Aufnahme lässt sich eine umfassend angelegte Inspektionsbibliothek und Verwaltung anwenden. Dies vermeidet den zeit- und aufwendigen Aufbau und die Verwaltung von Prüfbibliotheken für jedes einzelne Produkt und liefert zudem noch genauere Messergebnisse und vereinfacht die Programmierung.

**Bild 6.**

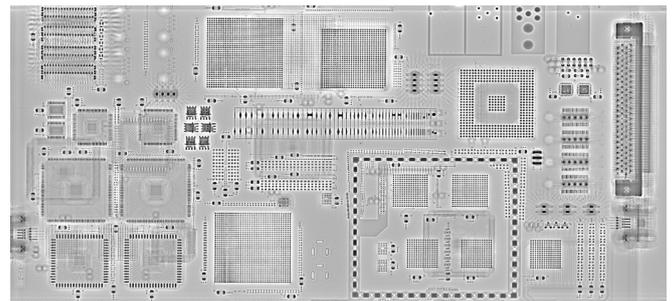
Die Durchbiegung der Baugruppe wird anhand der Daten der Röntgenaufnahmen automatisch kompensiert.

**3.2 Nahtloses Zusammenfügen der Bilder**

Nachdem mehrere Ansichten aus unterschiedlichen Blickwinkeln erfasst wurden, fügt die Software die einzelnen Sichtfelder (FOVs) nahtlos zusammen, um das 3D-Bild exakt zu rekonstruieren (Bild 7). Die auf diese Weise erzeugten Darstellungen vereinfachen das Erstellen von komplexen Prüfprogrammen, beispielsweise wenn ein größeres Bauteil in verschiedenen Abschnitten teilweise über mehrere Sichtfelder erfasst wird. Diese Möglichkeit bildet auch die Grundlage für die Inspektion kompletter Baugruppen, einschließlich der Untersuchung der beiden Seiten ohne komplizierte zusätzliche Einstellungsprozeduren.

**Bild 7.**

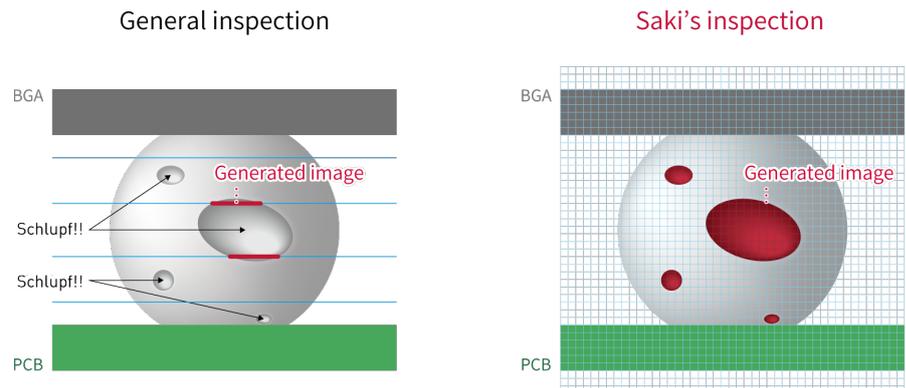
Das nahtlose Zusammenfügen einzelner FOVs vereinfacht die Inspektion der gesamten Baugruppe.

**3.3 Berechnung jedes einzelnen Pixels in 3D**

Die Bildverarbeitung auf der Basis von Pixel-by-Pixel erzeugt ein vollständig detailliertes 3D-Bild, das mithilfe automatischer Inspektionsalgorithmen einfach zu analysieren ist. Diese Algorithmen können das Lotvolumen sowie die Form von Objekten wie Lotkugeln und Lotmenisken genau analysieren. Durch den Vergleich der Ergebnisse mit den vorgegebenen Prüfkriterien werden alle nicht akzeptierbaren Abweichungen genau erfasst.

Zudem können Defekte wie Luftporen in Lötstellen (Voids bzw. Lunker) oder Lotperlen mit extrem hoher Zuverlässigkeit erkannt werden. Herkömmliche Systeme benötigen dafür eine begrenzte Zahl von Aufnahmen der einzelnen Schichten für die Durchführung von 2D-Analysen. Die Vorbereitung solcher Analysen erfordert umfangreiche Interaktionen der Benutzer, um die Zahl der aufgenommenen Schichten und deren Z-Höhe zu bestimmen. Die Methode von Saki reduziert die Programmierschritte erheblich und minimiert somit den Programmieraufwand. Das Risiko, dass verdeckte Voids unentdeckt bleiben wird reduziert und eine maximale Prüfdeckung erreicht. Bild 8 zeigt im Vergleich die beiden Verfahren.

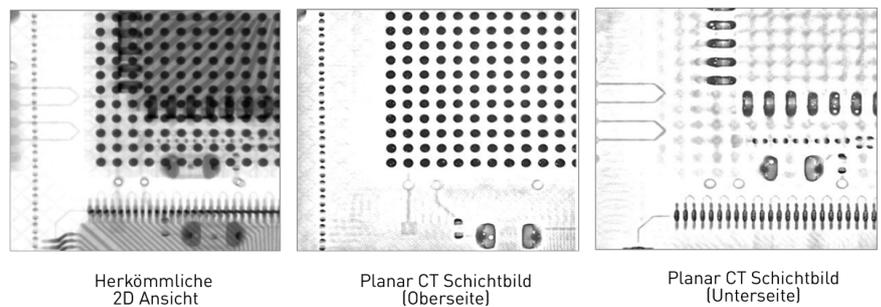
**Bild 8.**  
Die 3D-Röntgeninspektion von Saki ermöglicht eine umfassende Analyse der Lötstellenformen und Voids.



### 3.4 Gleichzeitige Inspektion von Ober- und Unterseite

Die Bildbearbeitungssoftware mit vollständiger 3D-Computertomografie ermöglicht, in einer Analyse die Ober- und Unterseite einer Baugruppe zu separieren und damit ist die gleichzeitige Prüfung beider Seiten möglich, obwohl die Erfassung nur von oben erfolgte. Bild 9 zeigt, wie anhand des 3D-Bild einzelne Schichtansichten für die Analyse isoliert werden können.

**Bild 9.**  
Trennung der Ober- und Unterseite für die Inspektion.



### 3.5 High-Speed Inline-Inspektion

Da die Nachfrage nach dicht bestückten integrierten Leiterplatten steigt, steigt auch die Anzahl der Bilder, die in CT AXIs erfasst werden müssen, um die Qualität zu gewährleisten. Schnellere Zykluszeiten sind für den heutigen AXI-Inline-Betrieb unerlässlich. Das neue Verfahren der Röntgenbildgebung hat die Zykluszeit halbiert, dadurch dass die Bildverarbeitung verbessert und die Wartezeiten und Schaltzeiten der Detektorbewegung verringert wurden. Gleichzeitig mit dem Beginn des Scanprozesses, bewegt sich der Detektor reibungslos im kontinuierlichen Aufnahmemodus. Während die Bilder kontinuierlich aufgenommen werden, ist es eine Herausforderung, die genaue Position zu bestimmen. Saki löst dieses Problem, indem Echtzeit-Positionsdaten aus einem extrem präzisen Linearmaßstab ausgelesen werden und bei der CT-Berechnung berücksichtigt werden. Dank des neuen Bildgebungsverfahrens erreicht Saki's CT AXI sowohl eine hohe Bildqualität als auch eine hohe Aufnahmegeschwindigkeit.

Darüber hinaus werden die Möglichkeiten durch die Einführung einer erweiterten Detektoroption noch weiter verbessert. Die Integration der neuen Wide-Area-Detektoroption ermöglicht es dem System, die Inline-Zykluszeiten nahtlos anzupassen.

### 3.6 Erstellen und Verwalten der Prüfbibliothek zeitsparend und mühelos

Im Gegensatz zu herkömmlichen Röntgeninspektionssystemen ist die Programmierung des Saki-3D-AXI-Systems nicht aufwendiger als die Programmierung von 3D-AOI und 3D-SPI Systemen. Das System liefert ein vollständiges, nahtloses sowie durchbiegungsfreies 3D-Bild

in X, Y und Z Richtung für die gesamte Baugruppe mit getrennter Ober- und Unterseite. Mit anderen Worten, das verzerrungsfreie Bild reduziert den zusätzlichen Aufwand einer weiteren FOV-Positionierung, speziell bei solchen Bauteilen, die größer als der FOV-Ausschnitt sind. So werden Zusatzarbeiten in der Programmierung vermieden, die durch ein nicht kompensiertes verzerrtes Bild verursacht wird. Die Vorteile dieser weiterentwickelten Bildverarbeitungstechnologie bleiben auch bei der Bibliotheksverwaltung auf Basis der Gehäusebauformen erhalten. Das spart Zeit und minimiert den Aufwand bei der Verwaltung von Prüfprogrammen.

### **3.7 Qualitätssteigerung durch fortschrittliches Debugging und Optimierung**

Die Offline-Debugging-Funktion ermöglicht eine verbesserte Fehlererkennung in Prüfbibliotheken und gewährleistet die Prüfpräzision für aktualisierte Bibliotheken, ohne den Betrieb der Fertigungslinie zu unterbrechen. Das Inline-Inspektionssystem überträgt automatisch die tatsächlichen Fehler- und Falsch-Positiv-Bilder an die Offline-Programmiersstation. Es ist möglich, die Prüfbibliothek offline zu optimieren, indem man die gespeicherten Bilder des Inspektionssystems nutzt. Da die Bilder der Bauteile im 3D-CT-Format vorliegen, ist es möglich, eine weitere Inspektion durchzuführen und zu bestätigen. Auch Querschnittshöhenbilder und 3D-Darstellungen sind verfügbar. Die Erkennungsfähigkeit nach einer Bibliotheksänderung wird durch diese Funktion gewährleistet, ohne die Fertigungslinie zu unterbrechen.

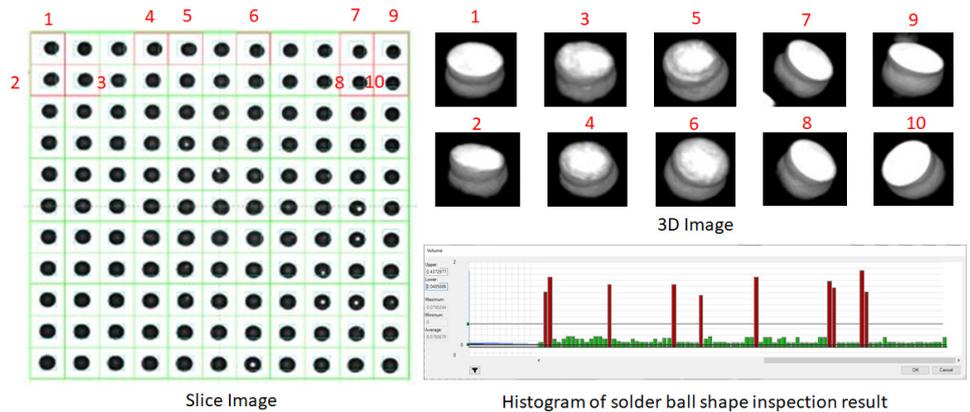
## **4 | Spezielle Inspektionslogik: Mit erweiterten Erkennungsfunktionen und Fehlermustern**

Saki hat sehr spezielle Inspektionsalgorithmen entwickelt, die die Erkennung von solchen Fehlern verbessern, die sonst schwer zu finden sind. Dazu gehören Fehler wie Head-in-Pillow (HiP) bei BGA-Lotkugeln, verursacht durch eine schlechte Benetzung. Zudem Lotpastenabweichungen bei Lötstellen an anderen Komponenten wie QFN-Pads und Lotmenisken an Chip-Komponenten, sowie Voidbildung in Land-Grid-Array-Verbindungen (LGA) und durchkontaktierten (PTH) Lötstellen.

### **4.1 Verstärkte HiP Aufdeckungsfähigkeiten**

Die Inspektionslogik für BGA-Komponenten umfasst mehrere Algorithmen, die für eine gute Fehlererkennung sowohl die Formen als auch das Volumen des Lotpastendepots analysieren. Diese Analysen können solche Konstellationen identifizieren, in denen beispielsweise die BGA-Lotkugel und die Lotpaste auf dem PCB-Pad nicht miteinander verschmolzen sind und eine falsch geformte Lötstelle bilden. Man kann auch länglich ausgeprägte oder nicht kreisförmige Lotkugeln erkennen, die auf Brückenbildung hinweisen, sowie Probleme mit unzureichendem Volumen der Lotpastendepots durch verstopfte Schablonenöffnungen. In Bild 10 ist ein Vergleich der 2D-Bilder von nicht akzeptierbaren Lötstellen (links) mit dazugehörigen 3D-Bildern (rechts) dargestellt. Die fehlerhaften Verbindungen sind mit der konventionellen 2D-Inspektion schwierig zu erkennen, während die 3D-Bilder ermöglichen, die Form der Lotkugel und jede Art der Verformung zu erkennen. Das Histogramm klassifiziert die guten (OK) und nicht guten (NG, not good) Ergebnisse eindeutig.

Bild 10.  
Die 3D-Inspektion der Lotkugelform gewährleistet eine zuverlässige Erkennung von BGA-Lötfehlern.



### 4.2 BGA-Voids

Durch die Analyse der Schnitte, die durch jede Lotkugelverbindung vorgenommen werden, quantifizieren die speziellen Algorithmen von Saki das Ausmaß aller internen Voids. Sowohl das Flächenverhältnis als auch das Volumenverhältnis der Voids (Lunker) werden berechnet. Dadurch lässt sich die Qualität und Zuverlässigkeit aller Lötstellen genau bewerten.

Bild 11.  
Der BGA-Void-Algorithmus quantifiziert die Fehlstellen Schicht für Schicht.

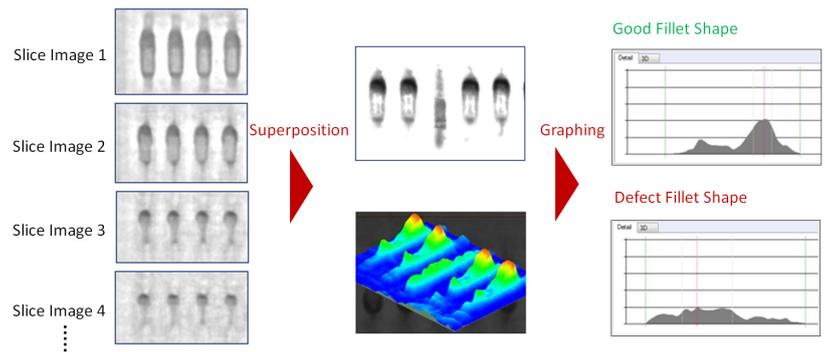
	Pin210	Pin600	Pin682
Slice image			
3D image			
Value	Void Ratio 26.552 %	Void Ratio 24.138 %	Void Ratio 20.312 %

### 4.3 Verbesserte Erkennung von Fehlern an Lötstellen

Diese Inspektionslogik wird für fast alle Formen der Lotmenisken verwendet. Bild 12 zeigt ein Beispiel an einem IC. Die Bilder auf der linken Seite des Displays sind Querschnitte. Das Schnittbild 1 zeigt die Oberfläche des Boards und die Unterseite der Lötstelle. Ein integriertes Image wird aus mehr als 10 dieser Querschnitte erstellt. Die integrierte Darstellung zeigt die Dicke der Lötstelle. Der schwarze Bereich deutet auf eine dicke Lotauflage hin, der weiße Bereich auf eine dünne Lötung. Verwendet man die Kontrastinformationen dieses integrierten Bildes kann die Form des Lötstellenmeniskus in 3D nachgebildet werden, wie in dem farbigen Bild unten in der Mitte zu sehen ist.

Diese Inspektionsmethode wandelt die Form der Menisken in eine Graphik um, wie auf der rechten Seite in Bild 12 dargestellt. In diesen Darstellungen ist nur der Meniskus zu sehen, nicht das Lot. Der kleine Hügel auf der linken Seite ist die vordere Lotkehle, die mit AOI-Technik geprüft werden kann. Die große Anhäufung auf der rechten Seite ist die hintere Kehle, die nur mit einem Röntgensystem inspiziert werden kann. Das AXI-System erfasst die Position, die Lotdicke, den Anstieg und das Lotvolumen am hinteren Meniskus. Verglichen mit der Lotkehle unten rechts wird offensichtlich, dass sie unterschiedlich ausgeformt sind. Auf diese Weise wird eine zuverlässige automatische Inspektion erreicht, weil 3D-Informationen für nicht oder ungenügend benetzte (nicht gute) Lötstellen verfügbar sind.

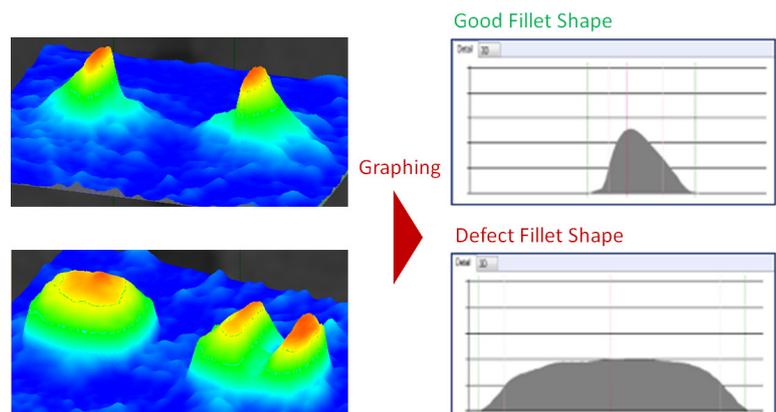
Bild 12.  
Erfassung der Form von  
Lotkehle/Lotmeniskus/  
Lotfillet.



#### 4.4 Verbesserte Erkennung der Lotkehlenform von SMD-Chips

Wie Bild 13 zeigt, funktioniert die Inspektionslogik für die Form der Lotkehlen/Menissen an SMD-Chips nach den gleichen Prinzipien wie bei der Prüfung der IC-Lotkehlen. Mehr als 10 Schnittbilder werden erfasst und dann die Form der Menissen in eine Graphik umgesetzt. Die automatische Inspektion analysiert die Position der Lotkehle, die Lotdicke, den Lotanstieg und das Lotvolumen. Der Unterschied zwischen guten (OK) und nicht guten (NG) Filletformen wird angezeigt.

Bild 13.  
Bei der Inspektion der  
SMD-Chip-Lotfillets wird  
das gleiche Prinzip wie  
bei der Prüfung der IC-  
Menissen angewandt.

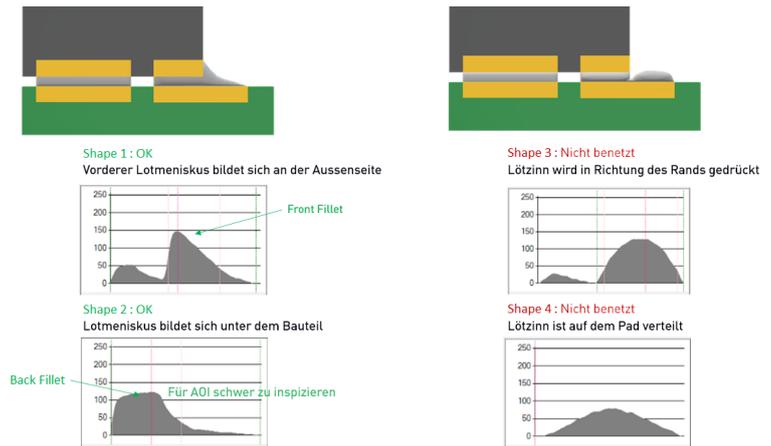


#### 4.5 Erkennungsfunktion der QFN-Lotmenissen

Elektronik-Baugruppen mit QFN-ICs werden derzeit häufig in Anwendungen der Automobilindustrie eingesetzt. In diesen Boards wird auf der Unterseite ein freiliegendes Wärmeleitpad direkt auf die Systemplatine gelötet, um die Wärmeableitung vom Chip zu unterstützen. Während des Lötvorgangs bewirkt dieses große Pad, dass das Gehäuse nach unten auf die Leiterplatte angezogen wird. Dadurch wird das Lötzinn von der Unterseite der äußeren QFN-Anschlüsse bei all diesen Lotpads in Richtung des Rands gedrückt. Ist das Lot an den QFN-Anschlüssen gut benetzt, bildet sich ein vorderer Lotmeniskus an der Außenseite des Gehäuses sowie eine hintere Lotkehle unterhalb des IC-Gehäuses (Bild 14). Diese Lotmenissen sind mit den herkömmlichen Inspektionsmethoden nur schwer zu kontrollieren.

Bild 14 zeigt, wie die Algorithmen von Saki sowohl das obere als auch das hintere Lotfillet analysieren, um korrekt verlötete Verbindungen, wie links dargestellt, zu unterscheiden. Fehler wegen ungenügender Benetzung neigen dazu, Formabweichungen zu erzeugen, wie rechts zu sehen ist.

**Bild 14.**  
Die QFN-Inspektionslogik von Saki vergleicht akzeptierbare (OK) und nicht-benetzte Formen von Lotkehlen.



### 4.6 Inspektionslogik für Voids in durchkontaktierten Lötstellen

Die Prüflogik für durchkontaktierte Lötstellen misst das Lotvolumen der Durchkontaktierung (Barrel) von oben nach unten (Bild 15). Diese 3D-Volumeninformationen der gesamten Zylinderöffnung werden mit dem akzeptierten Grenzwert verglichen, um unzureichende Lötungen zu erkennen. Die Inspektion der Brückenbildung erfolgt auf beiden Seiten des Boards simultan innerhalb des erforderlichen Abstands zur Oberfläche.

**Bild 15.**  
Inspektionslogik für durchkontaktierte Lötstellen zum Erkennen von unzureichender Lotfüllung oder Brückenbildung.

Measurement	Algorithm	Defect Kind
Solder Volume	PTH Volume	Less Solder 
Bridge Connection	Distribution	Bridge 



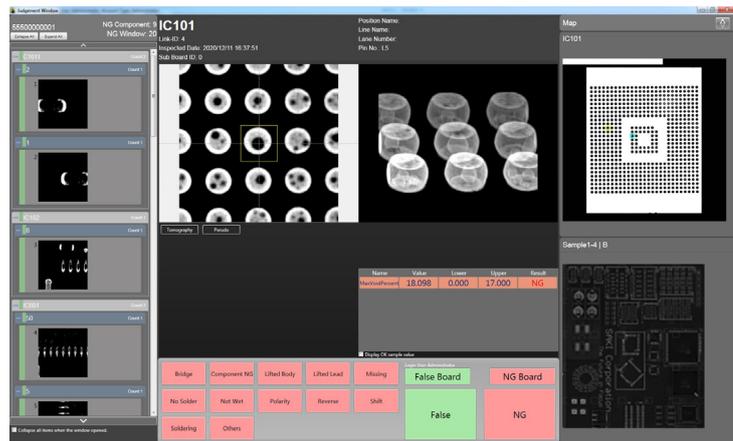
## 5 | Judgement Station (Verifikationsmonitor)

Mit der eigens entwickelten 3D-Bildrekonstruktionssoftware kann Saki Ihren Kunden eine einzigartige Möglichkeit zur Beurteilung der Röntgenbilder in Echtzeit ermöglichen (Bild 16).

Dank der großen Vorteile der Planar-CT-Technologie unterstützt das klare und hochaufgelöste 3D-Bild der inspizierten Objekte am Verifikationsplatz die Mitarbeiter auf hervorragende Weise bei der exakten Beurteilung der aufgenommenen Bilder. Üblicherweise erfordert dieser Arbeitsschritt sonst in der Regel jahrelange Erfahrung und Training. Dies ist einer der großen Vorteile der Planar-CT-Technologie in der Fertigungsprüfung und somit eine sehr große Hilfe für die Mitarbeiter. Die Darstellungen werden gleichzeitig auf der Maschine und auf einem angeschlossenen Computer zur Verfügung gestellt. Sie können für weitere Analysen bereits durchgeführter Inspektionen sowie als Hilfe zur Optimierung von Programmen gespeichert werden.

Bild 16.

Die Judgement Station (Verifikationsmonitor) stellt umgehend eine visuelle Bestätigung für Entscheidungen bei nicht akzeptierbaren Abweichungen (NG) bereit.



## 6 | Eine effiziente Workflow-Optimierung

Mit der integrierten Softwareplattform von Saki können Sie die betriebliche Effizienz steigern und Prozesse optimieren. Die einheitliche AOI/SPI-Software gewährleistet eine nahtlose Kompatibilität zwischen verschiedenen Dateiformaten, vereinfacht die Programmerstellung und sorgt für reibungslose Abläufe. Durch die gemeinsame Nutzung der Leiterplatten-ID-Daten aus der AOI werden Zwischengeräte überflüssig, was Platz und Kosten spart. Durch die nahtlose Integration von AOI- und AXI-Bewertungsschnittstellen werden die Prüfergebnisse aus beiden Systemen konsolidiert und auf einem einheitlichen Bildschirm dargestellt. Eine kontinuierliche Linienqualitätskontrolle kann Ihre betrieblichen Möglichkeiten erweitern.

## 7 | Hohe Produktsicherheit, geringer Wartungsaufwand und Selbstdiagnosefunktion

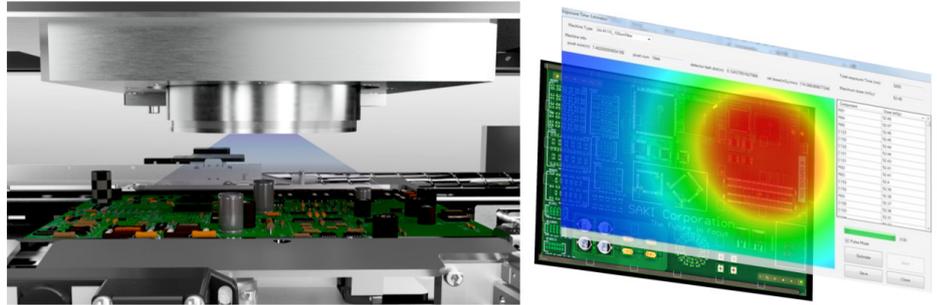
Damit die Röntgeninspektion in der Fertigungslinie mit höchster Zuverlässigkeit angewendet werden kann, ist die Sicherstellung des Systembetriebs von größter Bedeutung.

Mit der Entwicklung des neuartigen Systems 3Xi-M110 leistete Saki herausragende Pionierarbeit in der Anwendung einer innovativen Röntgenröhrentechnik, die die Strahlungsbelastung um bis zu 70 % reduzieren kann, weil die Röntgenquelle nur kurz während der Bilderfassung in Betrieb geht. Darüber hinaus kann sowohl die Röntgenstrahlung als auch der Vergrößerungsfaktor für eine optimale Bildaufnahme eingestellt werden und somit eine geringe Strahlenbelastung für Bauteile erreicht werden. Daneben weist das System auch noch einen Belichtungssimulator auf, der die Bedingungen der Bilderfassung entsprechend der überwachten Strahlendosis optimieren kann.

Zusätzlich sind die Röntgensysteme von Saki mit diversen innovativen Funktionen für die Selbstdiagnose ausgestattet. Das System überwacht selbstständig Parameter wie das Motordrehmoment, die Alterung der Röntgenröhre und meldet sich aktiv bei Problemen wie zum Beispiel abnormale Helligkeit bei Bildaufnahmen. Die Maschine gibt ein Warnsignal aus, wenn die Ist-Daten die vorher definierten Grenzwerte erreichen sollten. Damit ist ausgeschlossen, dass Fehlfunktionen, Schäden an der Maschine oder Schlupf bei der Prüfung auftreten können. Die Kunden können somit die Wartung und den Austausch von

Verschleißteilen rechtzeitig einplanen. Ausfallzeiten können dadurch reduziert und unnötige Kosten für den Austausch von noch funktionstüchtigen Teilen vermieden werden.

Bild 17.  
Neue Röntgenröhre und  
Dosissimulator.



Neben einer erhöhten Systemsicherheit durch Minimierung der für die Inspektion notwendigen Strahlendosis reduziert die neue Technik der Röntgenröhre auch die Betriebskosten für den Kunden deutlich. Darüber hinaus werden durch diese innovative Röhrentechnologie auch die Wartungskosten deutlich reduziert.

Sicher zu stellen ist, dass das System ohne unnötige Verzögerungen umgehend weiter betrieben werden kann, sollte die aktuell eingesetzte Röntgenröhre aufgebraucht sein. Die beste Vorgehensweise für diesen Fall ist, eine Röhre als Ersatz stets bereit zu halten. Während herkömmliche Ersatzröhren im Lager auch während dieser Zeit zur Kontrolle regelmäßig kurz eingeschaltet werden müssen, um sie in gutem Zustand und bei Bedarf einsatzbereit zu halten, macht die innovative Röntgenröhrentechnik von Saki während der Lagerung eine regelmäßige aufwendige Wartung dieser Art unnötig.

## 8 | Fazit und Ausblick

Damit Röntgeninspektionssysteme die zunehmend hohen Anforderungen aus dem Markt adäquat erfüllen können, müssen sowohl die Hardware als auch die Software praktisch uneingeschränkte Inspektionsmöglichkeiten für High-Density-Baugruppen und miniaturisierte Komponenten bereitstellen. Nur so werden die gestiegenen Anforderungen an die Inspektion der fortlaufend weiter miniaturisierten Komponenten zuverlässig erfüllt. Zudem muss das System natürlich auch sehr hohen Ansprüchen an die Qualitätssicherung der Produkte genügen.

Die Nutzung fortschrittlicher PCT-Scantechnologie auf der Basis von robustem Hardware-design, hoch entwickelten Bildverarbeitungsmethoden und leistungsfähigen proprietären Analysealgorithmen kennzeichnet die Röntgeninspektionssysteme der nächsten Generation von Saki. Diese Maschinen lokalisieren Defekte, die andere Systeme, einschließlich der herkömmlichen Röntgenanlagen aus dem Markt, möglicherweise nur sehr schwer identifizieren können. Dazu gehören unter anderem die fehlende oder ungenügende Benetzung von BGA-Lotkugeln, QFN- oder LGA-Pads sowie versteckte Voids in Lotkugeln und in Lotfüllungen von Durchkontaktierungen.

Die Röntgeninspektionssysteme von Saki mit ihrer speziellen PCT-Technologie reduzieren den Aufwand und die Zeit für die Programmierung und helfen den Benutzern, mit hochauflösenden 3D-Bildern zur Kontrolle und Bestätigung von Defekten die angemessenen Entscheidungen rasch zu treffen.

Darüber hinaus reduziert die innovative Röntgenröhrentechnik von Saki die Strahlung bis zu 70 %, und auch der Wartungsaufwand sinkt erheblich. In Kombination mit einem geringen Platzbedarf in der Fertigung aufgrund der kompakten Bauweise sowie einer leichten Hardware, die dennoch optimale Stabilität offeriert, sind die Systeme einfach zu installieren und haben deutlich niedrigere Betriebskosten zur Folge.

## | Die Saki Corporation

Seit seiner Gründung im Jahr 1994 hat Saki eine führende Position in der Entwicklung von Systemen der automatisierten Inspektion mit Robot-Vision-Technologie. Die automatisierten 3D-Lotpasten-, Optischen- und Röntgeninspektions- und Messsysteme (SPI, AOI, AXI) von Saki sind als stabile Maschinenplattformen sowie für ihre hoch entwickelte Technologie der Datenerfassung -verarbeitung bekannt, die eine echte M2M-Kommunikation unterstützen und die Fertigung, Prozesseffizienz sowie Produktqualität verbessern. Die Saki Corporation hat ihren Hauptsitz in Tokio, Japan, mit Niederlassungen, Vertriebs- und Supportzentren auf der ganzen Welt.

## | Kontakt

### **Saki Corporation Zentrale**

Email: [sales-overseas@sakicorp.com](mailto:sales-overseas@sakicorp.com)

### **Saki Corporation Korea Repräsentanz**

Email: [sales.kr@sakicorp.com](mailto:sales.kr@sakicorp.com)

### **Saki Shanghai Co., Ltd.**

Email: [sales.cn@sakicorp.com](mailto:sales.cn@sakicorp.com)

### **Saki Asia Pacific Pte, Ltd.**

Email: [sales.ap@sakicorp.com](mailto:sales.ap@sakicorp.com)

### **Saki Europe GmbH**

Email: [sales.eu@sakicorp.com](mailto:sales.eu@sakicorp.com)

### **Saki America, Inc.**

Email: [sales.us@sakicorp.com](mailto:sales.us@sakicorp.com)

**Für Fragen und Beratung, sowie weitere technische Informationen wenden Sie sich bitte an Ihr nächstgelegenes Saki-Büro oder besuchen Sie [www.sakicorp.com/en](http://www.sakicorp.com/en)**