

# /DER DETEKTOR MACHT DEN UNTERSCHIED

RÖNTGENINSPEKTIONSSYSTEME IN  
DER LEBENSMITTELEINDUSTRIE





## /INHALT

- 1** GEWÄHRLEISTUNG VON  
LEBENSMITTELSICHERHEIT UND  
-QUALITÄT
  - 3** AUFBAU EINES  
RÖNTGENINSPEKTIONSSYSTEMS
  - 6** UNTERSCHIEDE IN DER  
BILDERFASSUNG
  - 6** UNTERSCHIEDE IN DER  
BIT-AUFLÖSUNG
  - 7** UNTERSCHIEDE IN DER  
GEOMETRISCHEN AUFLÖSUNG
  - 8** UNTERSCHIEDE IN DER  
LEBENSDAUER UND DER TOTAL COST  
OF OWNERSHIP
  - 10** FAZIT
-

# /GEWÄHRLEISTUNG VON LEBENSMITTELSICHERHEIT UND -QUALITÄT

Die sogenannten „HACCP-Grundsätze“ (Hazard Analysis & Critical Control Points) werden in der Europäischen Union durch die Verordnung (EG) 852/2004 vorgeschrieben. In Artikel 5 Absatz 2 werden diese sieben Grundsätze genau beschrieben. Sie beinhalten unter anderem die Pflicht, kritische Kontrollpunkte zu suchen und zu observieren. Weiterhin ist es Aufgabe des Lebensmittelherstellers, Grenzwerte zur Sicherstellung entsprechend einwandfreier Produkte festzusetzen.

Zur Umsetzung dieser Grundsätze im Hinblick auf Fremdkörper werden an kritischen Kontrollpunkten häufig Metalldetektoren eingesetzt. Diese erkennen fehlerbehaftete Produkte aufgrund von Veränderungen im elektromagnetischen Feld, welche durch die elektrischen und/oder durch die magnetischen Eigenschaften metallischer Fremdkörper hervorgerufen werden. Dadurch ist jedoch die Detektion lediglich auf diese Fremdkörper beschränkt. Zudem erschweren sogenannte Produkteffekte (z.B. bei hohem Salzgehalt und hoher Feuchtigkeit) und Effekte aufgrund der Verpackung (z.B. Aluminiumfolie) die Detektion. In den vergangenen Jahren haben sich deshalb auch zunehmend Röntgeninspektionssysteme in der Nahrungsmittelindustrie etabliert. Das Röntgeninspektionssystem findet Fremdkörper aufgrund ihrer spezifischen Absorption von Röntgenenergie und dies ist – um es einfach zu halten - abhängig von deren Dichte und Dicke: Grundsätzlich sucht es nach Differenzen hinsichtlich der Absorption. Bei der Untersuchung von Lebensmitteln, die meist eine wasserähnliche Dichte aufweisen ( $1\text{g/cm}^3$ ), kann Edelstahl (Dichte ca.  $8\text{ g/cm}^3$ ) relativ einfach detektiert werden. Durch das Funktionsprinzip ist der Umfang detektierbarer Fremdmaterialien äußerst groß: So ist es möglich, verschiedenste Metalle so wie auch Glas, Keramik, Steine und einige Kunststoffsorten zu detektieren. >>



Darüber hinaus sind Röntgeninspektionssysteme für viele weitere Qualitätssicherungsaufgaben einsetzbar. Alle Prüfaufgaben werden gleichzeitig von einem System durchgeführt, sodass nicht mehrere Systeme hintereinander benötigt werden.

Im Produktraum eines Röntgeninspektionssystems können noch weitere Inspektionssysteme verbaut werden. Auf diese Weise entstehen Multiinspektionssysteme. Der Einbau einer oder mehrerer Wägezellen ermöglicht es dem Röntgeninspektionssystem die Produkte zusätzlich eichfähig zu wiegen. Durch diese Kombination wird die Anzahl unterschiedlicher Maschinen sowie der Platzbedarf verringert. Dies vereinfacht auch die Integration in bereits bestehende Produktionslinien.

Die gleichen Vorteile werden erzielt, wenn ein Röntgeninspektionssystem mit einer optischen Inspektion kombiniert wird. Somit kann z.B. auch der Druck des Verfallsdatums und weitere Eigenschaften des Etiketts inspiziert werden. Dabei kann das Produkt sowohl von oben, als auch von unten untersucht werden. Noch platzsparender ist eine Kombination dieser drei Inspektionssysteme in einer Einheit. ▲

## / QUALITÄTS- SICHERUNGS-AUFGABEN VON RÖNTGENINSPEKTIONS- SYSTEMEN

Abhängig vom Produkt und der Verpackung sind unter anderem folgende Einsatzgebiete denkbar:

- Fremdkörperdetektion
- Füllstandskontrolle (z.B. bei Joghurtbechern)
- Überprüfung der Masse (in kompletten Verpackungseinheit oder in speziellen Zonen, z.B. bei Joghurtbechern mit mehreren Kammern)
- Vollständigkeitskontrolle mittels Zählen (z.B. Pralinen in einer Packung)
- Formkontrolle (z.B. Rundheit von Pizzen)
- Bruch- und Locherkennung
- Automatische Reifegradbestimmung bei kompletten Käseläiben und Käseriegeln
- Clipkontrolle (z.B. bei Brot oder Wurst)



Abb. 1: Tiefgekühlte Quiches werden mit einem Röntgenscanner auf Fremdkörper inspiziert

# AUFBAU EINES RÖNTGEN-INSPEKTIONSSYSTEMS

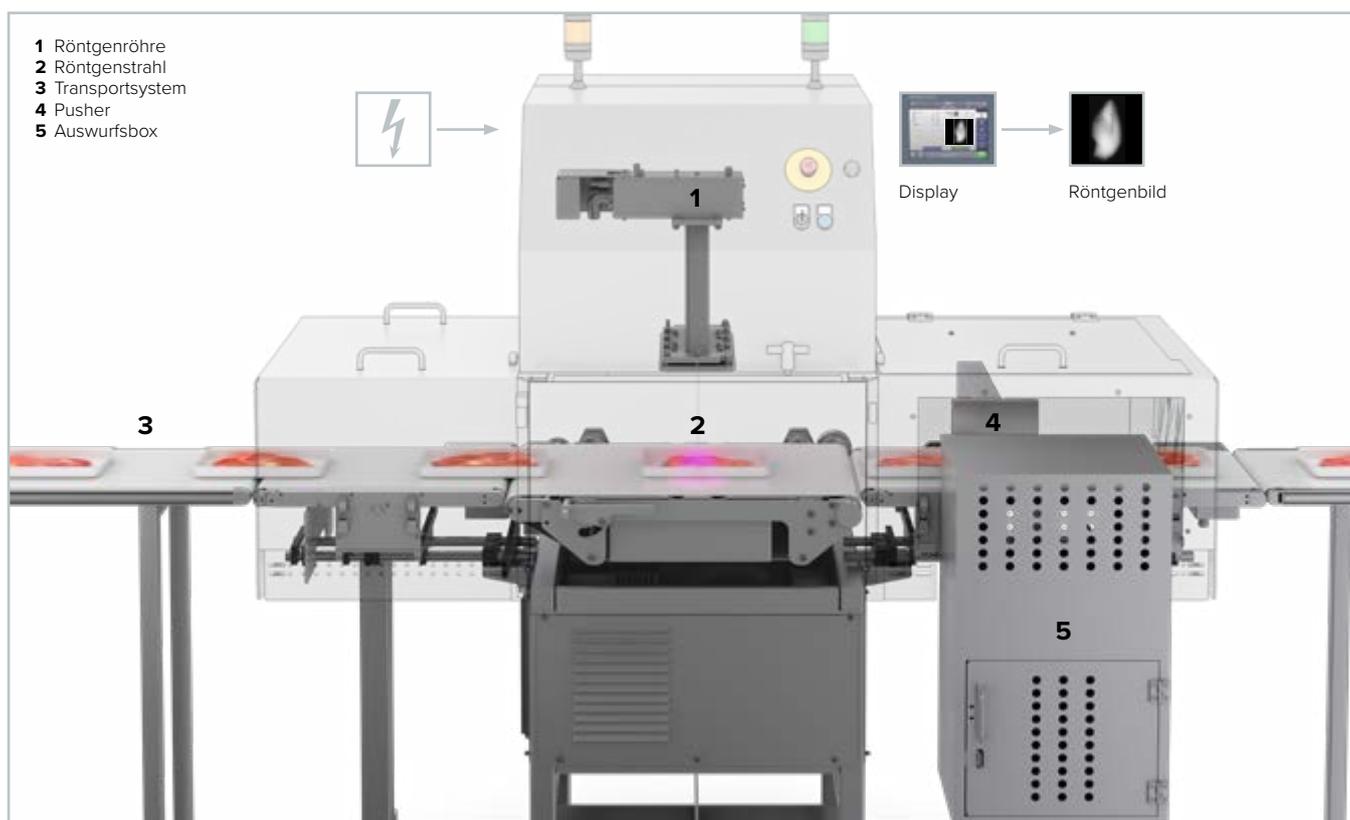


Abb. 2: Aufbau eines Röntgenscanners

## Transportsysteme

In der Regel erfolgt der Transport durch das Röntgeninspektionssystem mit Hilfe von Gurt- oder Kettenförderbändern. Das Transportsystem hat nicht nur einen hohen Stellenwert für korrekte Detektionsergebnisse und einen erfolgreichen Auswurf fehlerbehafteter Produkte. Transportsysteme sind zudem die Basis, um verschiedene Systeme beliebig miteinander zu verketten und damit auch bei hohen Fertigungsgeschwindigkeiten individuellste Zu- und Abführungen realisieren zu können. Fortschrittliche Inspektionssysteme mit einem modularen Aufbau

besitzen häufig mehr als ein Förderband. Die flexible Auslegung der mechanischen Komponenten ermöglicht es dem System auch, die für eine zuverlässige Ausscheidung notwendigen Abstände zwischen den zu prüfenden Produkten selbständig zu erzeugen.

## Komponenten zur Erzeugung der Röntgenstrahlung

Die Röntgenstrahlung wird durch eine Röntgenröhre erzeugt. Die Energieversorgung der Röhre erfolgt über einen Hochspannungsgenerator. In den meisten Systemen werden >>

diese beiden Komponenten in einem Container – dem so genannten Röntgentank – zusammengefasst. Alternativ gibt es auch Ausführungen, bei denen beide Komponenten separat angeordnet sind. Röhren bzw. Tanks sind grundsätzlich Verschleißteile. Bei Systemen mit separater Anordnung von Hochspannungsgenerator und Röntgenröhre sind bei einem Ausfall diese aufgrund geringer Abmessungen und niedrigen Gewichten unkompliziert zu tauschen. Weiterhin sind sie einzeln austauschbar.

### Röntgendetektor

Die Produktinspektion mit Röntgentechnik erfordert ein Bauteil, das für die Aufnahme des monochromen Röntgenbildes zuständig ist – der so genannte Röntgendetektor. Um die unsichtbaren Röntgenstrahlen in sichtbares Licht umzuwandeln, befindet sich zwischen dem Produkt und dem eigentlichen Detektor ein sogenannter Szintillator. Je nach Bauform handelt es sich dabei um eine Folie oder einen speziellen Lack.

Diese Detektoren erfassen desto mehr Licht, je weniger stark Röntgenstrahlung vom Produkt, der Verpackung und potenziellen Fremdkörpern absorbiert wird. Üblicherweise werden Röntgendetektoren als Diodendetektoren oder TDI-Kamerasysteme ausgeführt. Das nächste Kapitel erläutert Details und Unterschiede zwischen diesen beiden Technologien und liefert weitere Informationen zu allgemeinen Detektorparametern.

### Bildverarbeitungsrechner

Die Analyse/Auswertung der vom Detektor erzeugten monochromen Aufnahme erfolgt mittels hochentwickelter Bildverarbeitungsalgorithmen auf einem Bildverarbeitungscomputer. >>

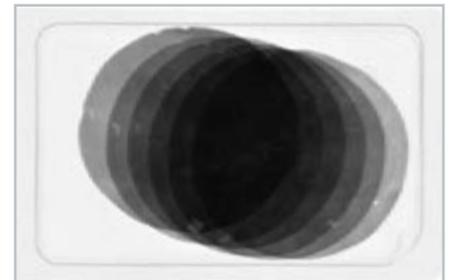


Abb. 3: oben: Röntgenbild Tiefziehpackung mit Aufschnitt; unten: Röntgenbild Wurst mit Clip

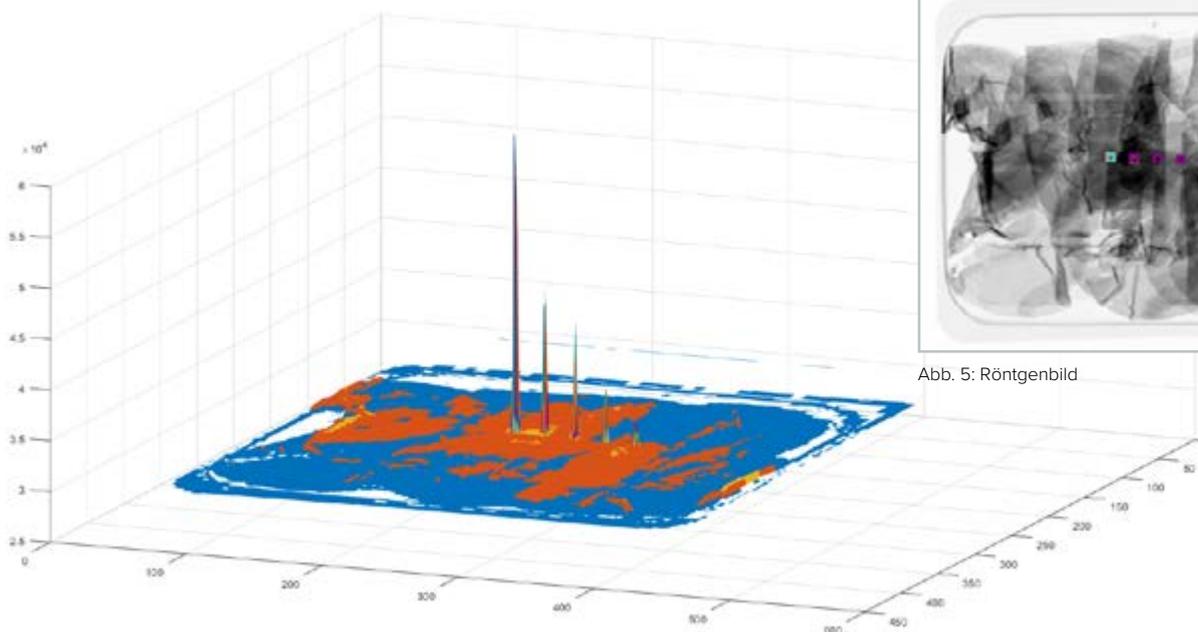


Abb. 5: Röntgenbild

Abb. 4: Grauwerte

In Abbildung 4 sind zusätzlich farbige Markierungen zu erkennen, die die Detektion von fünf Fremdkörpern anzeigen, wobei jede Farbe für einen anderen Algorithmus steht. Jedes Pixel hat einen spezifischen Grauwert, abhängig von der Menge der absorbierten Röntgenstrahlung. Abbildung 4 zeigt die Grauwerte des Röntgenbildes aus Abbildung 5. Die Ausschläge der Edelfahrfremdkörper sind deutlich zu erkennen. Das Bild, und damit das Produkt, wird auf Unterschiede und spezifische Muster im Hinblick auf die Grauwerte untersucht.

Nachdem ein Fremdkörper erkannt wurde, markiert die Software grafisch diese Kontamination und übermittelt einen entsprechenden Befehl für das weitere Vorgehen z.B. für den Auswurf des verunreinigten Produktes an die Steuerung. In vielen Fällen lassen sich Fremdkörper aufgrund solcher klarer Ausschläge wie in Abbildung 5 detektieren. Hierzu werden komplexere Algorithmen eingesetzt.

### Auswurfssystem mit Sammelvorrichtung

Mit Hilfe eines oder mehrerer Auswurfssysteme werden fehlerbehaftete Produkte aus dem Produktstrom aussortiert. Zum Einsatz kommen häufig sogenannte „Pusher“ für schwerere

Produkte und Ausblasseysteme für leichtere Produkte. In vielen Fällen werden an dieser Stelle verschiedene Sensoren eingesetzt, um einen fehlerfreien Prozess sicherzustellen. So prüfen z.B. Gegenkontrollen im Gut- und/oder Schlechtkanal, ob ein als fehlerhaft gekennzeichnetes Produkt korrekt ausgeschleust wurde. Weitere Sicherheitsmerkmale sind Füllstandssensoren und verschließbare Öffnungen an den Sammelboxen. Letztere verhindern eine unkontrollierte Entnahme ausgeworfener Produkte und damit eine (versehentliche) Rückführung in den Gutkanal. Viele Einzelhandelsunternehmen setzen derartige Sicherheitsmerkmale bei den Inspektionssystemen ihrer Lieferanten voraus. ▲

# UNTERSCHIEDE IN DER BILDERFASSUNG

**D**etektoren werden üblicherweise als Diodendetektoren oder TDI-Kamera ausgeführt. Der (klassische) Diodendetektor erfasst dabei jeden Pixel einmal. Die von Wipotec eingesetzte TDI-Technologie VioX erfasst jedes Pixel 128 Mal. Mittels anschließender Integration der Werte aller 128 Einzelaufnahmen wird der finale Grauwert jedes Pixels ermittelt. ▲

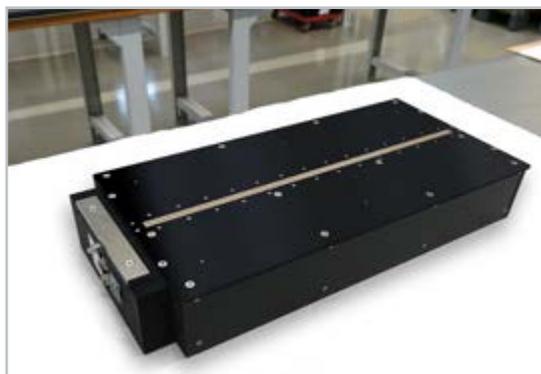


Abb. 6: WIPOTEC VioX Röntgenkamera

# UNTERSCHIEDE IN DER BIT-AUFLÖSUNG

**A**bsorbiert ein Objekt viel Strahlung, kann der Detektor wenig Licht erfassen – die Aufnahme ist verhältnismäßig dunkel. Bei geringer Absorption ist das Bild entsprechend heller. Die Bit-Auflösung eines Detektors beschreibt, wie viele Grauwerte (Abstufungen) von kompletter Dunkelheit, d.h. vollständiger Absorption, (Schwarz) bis komplettem Licht (weiß) unterschieden werden.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Bit-Auflösung werden in Abbildung 7 deutlich: Das Produkt hat im Röntgenbild aufgrund der spezifischen Absorption einen bestimmten Grauwert. Zudem liegt ein Fremdkörper vor, der einen etwas höheren Grauwert als der des Produktes aufweist. Ist ein Röntgeninspektionssystem mit niedriger Bit-Auflösung im Einsatz, zeigt sich das in einer wenig differenzierten Abstufung von hell nach dunkel (braune Linie).

Daraus folgt, dass sich die beiden Grauwerte von Produkt und Kontamination durch eine mangelhafte Differenzierung in der Intensität der Absorption gegebenenfalls nicht unterscheiden lassen. Betrachtet man hingegen Röntgeninspektionssystem mit hoher Bit-Auflösung (rosa Linie), kann der Fremdkörper in diesem Beispiel vom Produkt differenziert und damit detektiert werden.

Eine Vielzahl an Röntgeninspektionssystemen arbeitet mit einer 8-Bit-Technologie. Das bedeutet, dass diese Systeme insgesamt zwischen 256 Grauwerten unterscheiden können. Sämtliche Röntgeninspektionssysteme von Wipotec benutzen eine 16-Bit-Technologie, die zwischen mehr als 60.000 Grauwerten differenzieren kann. ▲

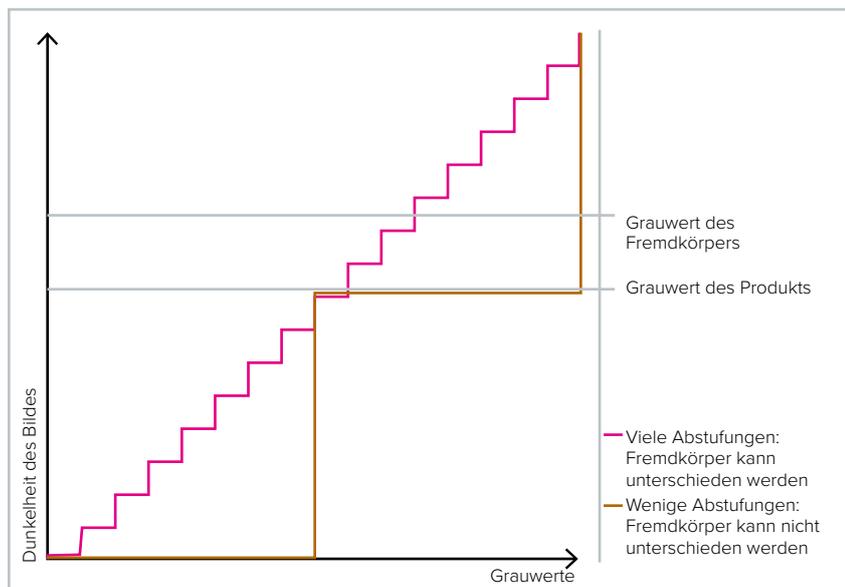


Abb. 7: Vergleich unterschiedlicher Bit-Auflösungen

## UNTERSCHIEDE IN DER GEOMETRISCHEN AUFLÖSUNG

Selbst kleinste Fremdkörperkontaminationen in Lebensmitteln führen zu kostspieligen Rückrufaktionen. Eine massive Schädigung des Markenimages ist nicht selten die Folge. Detektortechnologien mit kleineren Pixelgrößen ermöglichen auch (in Abhängigkeit der Betriebsparameter) die Detektion kleinerer Verunreinigungen. Die Standardauflösung für die Dioden-Detektoren von Wipotec beträgt 0,4 mm. Mit der VioX TDI-Kamera von Wipotec sind Auflösungen bis zu 0,1 mm möglich.

Grundsätzlich muss die Pixelgröße applikationsabhängig gewählt werden. Die Auswahl eines Inspektionssystems mit der entsprechenden Auflösung ist beispielsweise abhängig von der Bandgeschwindigkeit. Je höher die Geschwindigkeit, umso weniger Zeit bleibt, um das für die Inspektion zwingend not-

wendige Licht zu erfassen. Die Folge: die Bildqualität und damit die Detektionsergebnisse können sich verschlechtern. Ein Röntgeninspektionssystem mit sehr kleiner Auflösung ist trotzdem im Vorteil, wenn es das sogenannte „Binning“ beherrscht: Die Kamera kombiniert hier mehrere Pixel, um mit einer höheren Auflösung zu arbeiten. Für Anwender bedeutet das mehr Flexibilität, da die Hardware für verschiedene Einsatzszenarien nicht verändert werden muss. Die Auflösung ist in diesen Fällen lediglich ein Parameter, der über den Touchscreen verändert werden kann. Zudem sind sogenannte Multiresolution-Algorithmen einsetzbar, bei denen Bildverarbeitungsalgorithmen das Bild in verschiedenen Auflösungsstufen gleichzeitig untersuchen. ▲



## UNTERSCHIEDE IN DER LEBENS- DAUER UND DER TOTAL COST OF OWNERSHIP

**D**ie sensible Elektronik von Dioden-Detektoren liegt direkt im Röntgenstrahl, was zu Verschleiß führt. Die TDI-Kameras von Wipotec besitzen hingegen keine elektronischen Komponenten, die direkter Röntgenstrahlung oder Streustrahlung ausgesetzt sind. Daraus ergibt sich, dass diese Kameras eine erheblich höhere Lebensdauer aufweisen, sodass nicht mehr von Verschleißteilen gesprochen werden kann. Kunden erhalten bei Wipotec auf alle VioX-Kameras eine 7 Jahres-Garantie, die frei vom Abschluss von Serviceverträgen oder unabhängig von einer maximalen Betriebsdauer der Kameras ist.

Der Einsatz langlebiger Kameratechnologien schlägt sich in den Total Cost of Ownership (TCO) nieder. Dies hängt insbesondere mit geringeren Produktionsausfällen zusammen. Wenn ein Diodendetektor ausgetauscht werden muss, steht im Zweifelsfall die komplette Produktionslinie still. Kann nicht direkt ein Ersatz eingebaut werden, kann die Produktion aus Gründen der Lebensmittelsicherheit nicht fortgesetzt werden. Es findet keine Überwachung des kritischen Kontrollpunktes statt. Hohe Stillstandszeiten erhöhen aufgrund des gesunkenen Outputs automatisch die Kosten, bzw. sorgen für ent- >>



gangene Einnahmen und damit für Opportunitätskosten. Der Einsatz langlebiger Wipotec TDI-Kameras senkt dieses Stillstandsrisiko und steigert damit die Produktivität der ganzen Produktionslinie. Zudem entfallen dadurch Kosten für Reparaturen, Ersatzteilbeschaffung und gegebenenfalls deren Bevorratung.

Im Rahmen der Kalkulation der Total Cost of Ownership muss zudem auch der Werterhalt der Anlage bedacht werden. Die Wipotec TDI-Kameras bleiben langfristig ein wertiges Element innerhalb des Röntgeninspektionssystems. Plant ein Verwender den Weiterverkauf eines Röntgeninspektionssystems auf dem Gebrauchtmachinesmarkt, ist zu vermuten, dass mit einer langlebigen Kamertechnologie der Wiederverkaufspreis höher ausfallen wird. Dies sollte schon in der Kostenvergleichsrechnung vor Anschaffung des Röntgeninspektionssystems berücksichtigt werden.

Schlussendlich können beim Einsatz qualitativ hochwertiger Detektoren die Gesamtkosten reduziert werden, da die Zahl fälschlicherweise ausgeschleuster Produkte signifikant reduziert werden kann. Diese

Produkte können in den Verkauf gegeben werden. Eine höhere Fehlauwurfrate führt nicht nur zu Verlusten an Gutprodukten, sondern es entstehen auch zusätzliche Kosten für die Abfallentsorgung sowie ein erhöhter Personalaufwand.

Außerdem ist es empfehlenswert, die gesamte geplante Betriebsdauer des Röntgeninspektionssystems zu berücksichtigen.

Eine Betrachtung von beispielsweise lediglich 5 Jahren ist hingegen nicht zielführend, wenn die Einsatzzeit sowie die Lebensdauer des Komplettsystems und einzelner Komponenten, wie etwa der Detektoren, deutlich länger ist. So werden beispielsweise Röntgeninspektionssysteme von Wipotec 10 Jahre und länger eingesetzt. ▲

# / FAZIT

**Z**usammenfassend handelt es sich bei Wipotec TDI-Kameras um eine äußerst fortschrittliche Inspektionstechnologie, die mit einer hohen Bit-Auflösung bei sehr kleiner geometrischer Auflösung kleinste Fremdkörper detektieren kann. Das so genannte „Binning“ ermöglicht einen sehr flexiblen Einsatz der Scanner, da ohne Hardwaremodifikationen die Auflösung der Anlage umgestellt werden kann. Eine optionale herstellerseitige 7 Jahres-Garantie für die VioX-Kamera ist nicht an Vorbedingungen geknüpft und steht damit für eine herausragende Prozesssicherheit und höchste Produktivität, auch über sehr lange Zeiträume. ▲