

Autoren: Thomas Stocker, Steven Oeckl, Thomas Wenzel und Rolf Behrendt, Fotos: Fraunhofer IIS

Einsatz neuer Technologien zur automatischen Inline-Inspektion

Prüfung von Leichtmetallgussteilen mit der Inline-Röntgentechnik

In der Automobilbranche ist der Leichtbau auf Basis neuer Materialien für die Realisierung effizienter und treibstoffsparender Lösungen nicht mehr wegzudenken. Vor allem Aluminium hat sich als Werkstoff im Bereich des Fahrwerks von Fahrzeugen seit vielen Jahren etabliert. Weltweit liefern Gießereien Räder, Lenkgehäuse, Radträger und viele weitere Bauteile, die aus Aluminiumlegierungen bestehen. Bei einem Großteil dieser Gussteile handelt es sich um sicherheitsrelevante Komponenten, die zu 100 Prozent einer zerstörungsfreien Prüfung unterzogen werden müssen. Die hierfür am häufigsten eingesetzte Methode ist die Röntgenprüfung, welche die essentielle Aufgabe übernimmt, fehlerbehaftete Gussteile von einwandfreien zu unterscheiden.

Die derzeit am weitesten verbreitete Methode der Inline-Röntgenprüfung ist die 2-D-Radioskopie. Hierbei werden die mittels Röntgenstrahlung erzeugten Schattenbilder direkt ausgewertet. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit ermöglicht dieses Verfahren eine sogenannte Inline-Prüfung, d. h. die Untersuchung ist Teil der Produktionskette und findet somit für jedes gefertigte Gussteil statt.

Die vollautomatische Auswertung der Daten, die zu einer Bewertung der Bauteile führt, ist für verschiedenartigste Applikationen seit Jahren etabliert. Allerdings können anhand eines 2-D-Röntgenbildes weder die Form noch die Größe oder die exakte Lage eines Defekts im Objekt bestimmt werden. Dieser Mangel an Information führt aus Sicherheitsgründen zur Aussortierung einiger Gussteile, selbst wenn ein Defekt aufgrund seiner genauen Lage oder Ausprägung weder Funktionalität noch Stabilität des Gussteils beein-

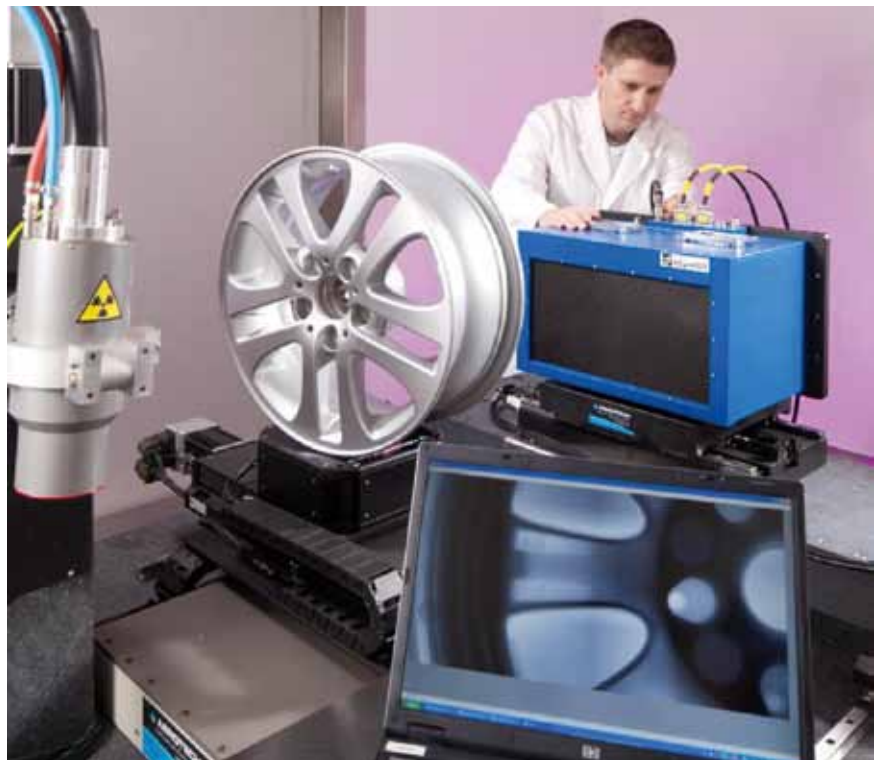


Bild 1: Das Röntgenkammerasystem XEye 4020.

flusst. Ein weiteres Beispiel für die unnötige Ausschleusung eines Bauteils sind Defekte nahe der Oberfläche, die in einer nachfolgenden mechanischen Bearbeitung abgetragen werden.

Daher gewinnt auch die dreidimensionale 3-D-Computertomographie (CT) in der Bauteilprüfung zunehmend an Bedeutung. Hierbei werden viele dieser Schattenbilder aus unterschiedlichen Richtungen aufgenommen. Daraus wird mittels geeigneter Algorithmik ein dreidimensionales Volumen berechnet. Die CT, die als bildgebendes Verfahren aus der medizinischen Diagnostik heute nicht mehr wegzudenken ist, hat sich mittlerweile auch als zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Untersuchung von Prototypen im Laborbereich durchgesetzt. Sie ermöglicht die komplette Erfassung eines

Objekts mit all seinen innenliegenden Strukturen. Bisher haben jedoch lange Messzeiten und die zeitaufwendigen Algorithmen zur Berechnung und Untersuchung der Volumendaten den Einsatz dieser Technologie im Inline-Betrieb erschwert.

Sowohl bei der 2-D- als auch bei der 3-D-Prüfung hat das Fraunhofer IIS, Fürth, neue Technologien entwickelt, die zu einer weiteren Optimierung der 2-D-Technik führen sowie den Einsatz der 3-D-Technik im Inline-Betrieb für viele Bauteile erst ermöglichen.

Neuentwicklungen bei der 2-D-Radioskopie

Im Bereich der Radioskopie wurden die Themen Prüfgeschwindigkeit und Detektionsgüte bei der Räderprüfung sowie die Optimierung von Referenzbild

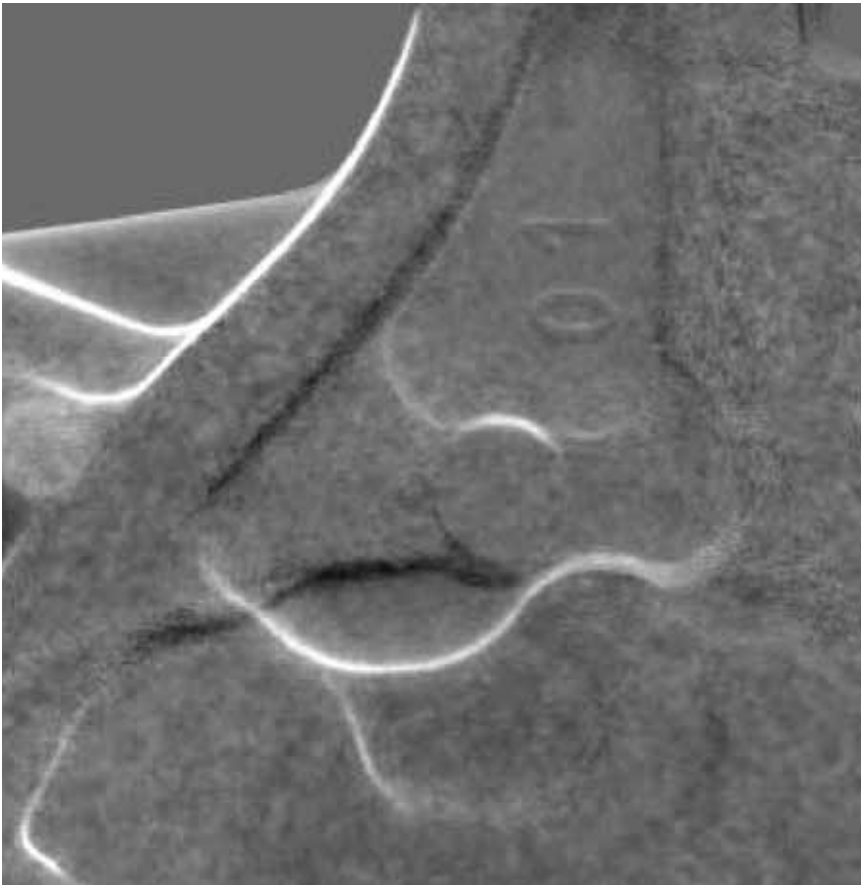


Bild 2: Ein Differenzbild, erstellt mit einem Standardreferenzbild.

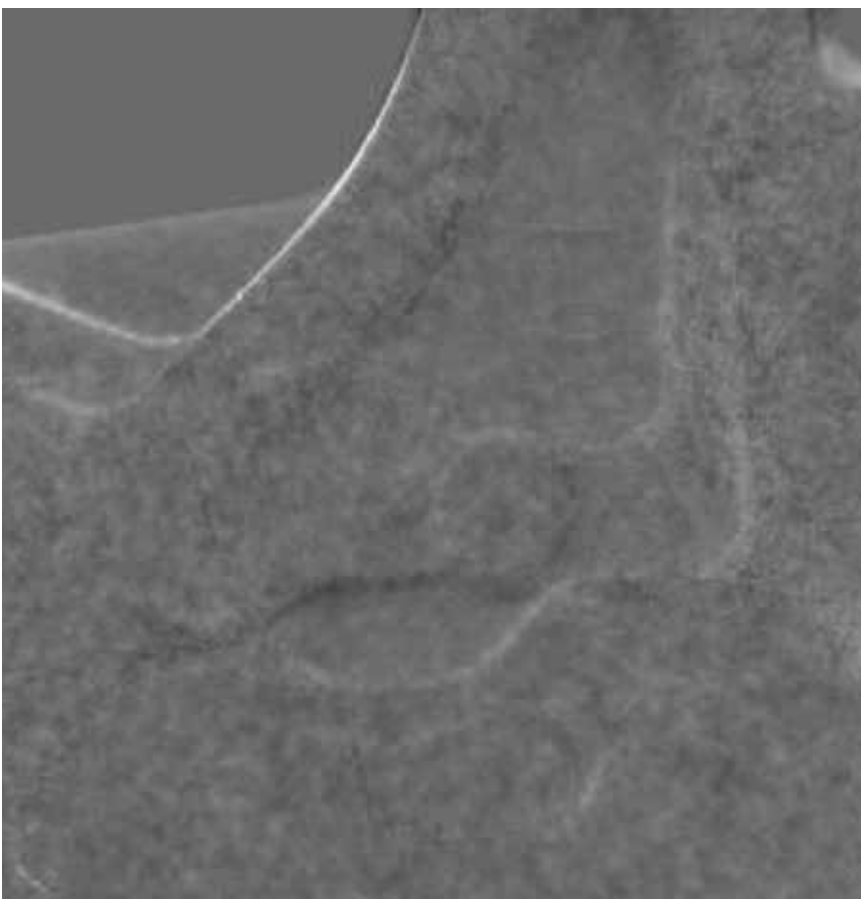


Bild 3: Ein Differenzbild, erstellt mit einem dynamisch berechneten Referenzbild.

basierenden Verfahren, die vor allem bei der Prüfung von Teilen im Fahrwerksbereich eingesetzt werden, weiterentwickelt.

Durch den Einsatz des Fraunhofer-Röntgenkamerasystems XEye (**Bild 1**) bei der Räderprüfung mit dem speziellen, für die Applikation sehr günstigen Bildformat von 40 x 20 cm verringert sich die Messzeit im Vergleich zu den derzeit dort eingesetzten Bildverstärkern um bis zu 50 Prozent. Gleichzeitig ermöglicht die hohe Dynamik der Kamera eine zuverlässigere Auswertung der Bilder, die mit modernen Algorithmen des Fraunhofer-Prüfsystems ISAR umgesetzt wird. Ein zusätzlicher Vorteil dieser Kamera ist die hohe Lebensdauer von voraussichtlich über zehn Jahren. Die erste nach dem XEye-Prinzip gefertigte Kamera ist bereits seit 2006 bei nachweislich gleichbleibend hoher Bildqualität im Einsatz.

Bei der Prüfung von Fahrwerksteilen, bei denen durch den Einsatz von Robotersystemen eine genaue reproduzierbare Positionierung der Bauteile gewährleistet ist, sind Referenzbild basierende Verfahren verbreitet. Die Verwendung von Referenzdaten hat einige Vorteile im Vergleich zu anderen Methoden. So wird ein genauer Soll-Ist-Vergleich ermöglicht, der mit anderen Verfahren nicht zu erreichen ist. Gerade Defekte mit schwachem Kontrast, wie z.B. Oxide, können hiermit erst zuverlässig detektiert werden.

Die größte Herausforderung bei der Verwendung von Referenzdatensätzen ist, dass die zu prüfenden Teile innerhalb der Spezifikation während des Produktionsprozesses abweichen können. Bei der Gussteilprüfung beispielsweise ist mit Abnutzung der Gießformen zu rechnen. Auch das regelmäßig durchgeführte Sandstrahlen der Gießformen kann zu Veränderungen der Wandstärken bei den Prüflingen führen. Diese kleinen Variationen sind auch in den Röntgenbildern sichtbar, was den Vergleich aktueller Prüfbilder mit älteren Referenzbildern erschwert und die Wahrscheinlichkeit von Pseudodetektionen erhöht.

Um dieser Problematik zu begegnen, wurde vom Fraunhofer IIS ein Verfahren entwickelt, das statische Refe-

renzdaten durch dynamische ersetzt. Hierbei werden die Referenzdatensätze aus Bildern von mehreren aktuell produzierten Prüfteilen generiert. Die Verwendung dieser Daten repräsentiert immer den aktuellen Status des Produktionsprozesses und den tatsächlichen Zustand der Gießformen. Es wird für jede Position und jede Gießform ein idealisiertes Referenzbild erzeugt, welches im Mittel zu den aktuell produzierten Bauteilen ähnlicher ist als jedwedes statisches Referenzbild, was die Zuverlässigkeit der Referenzbild basierenden Prüfung weiter erhöht. Die **Bilder 2** und **3** vergleichen die Leistungsfähigkeit des neu entwickelten Verfahrens gegenüber der bisherigen Standardmethode.

Neuentwicklung für die 3-D-Computertomographie (CT)

Bei Bauteilen geeigneter Größe kann die 3-D-CT mit all ihren Vorteilen als prozessintegrierte Prüfmethode eingesetzt werden. Gemeinsam mit der Mahle GmbH, Stuttgart, einem der größten Hersteller von Kolbensystemen für Verbrennungsmotoren, hat das Fraunhofer IIS ein weltweit einmaliges 3-D-CT-System entwickelt. Mit der neuen Technologie kann ein Verbrennungsmotorkolben innerhalb von 30 Sekunden vollautomatisch hinsichtlich Fehlstellen und Maßhaltigkeit geprüft werden.

Die neuentwickelte Kombination von Volumenberechnung und Bildauswertung ermöglicht erstmals eine vollautomatische, detaillierte 3-D-Röntgenprüfung in der Fertigungslinie. Die dreidimensionale Beschreibung der Defekte mit exakter Lageinformation und geometrischen Eigenschaften umfasst die Detektion von Lunkern und Porositäten sowie die Maßhaltigkeit der Wanddicken bezogen auf den innen liegenden Kühlkanal (**Bild 4**) [1]. Dieser hohe Detaillierungsgrad erlaubt eine genaue Analyse und Auswertung aller Fehler. Die Effizienz der Algorithmen und die kurzen Belichtungszeiten der extrem strahlenresistenten XEye-Röntgenkamera erlauben eine äußerst geringe Gesamtmeszeit von 25 Sekunden pro Gussteil.

Das entwickelte CT-System hat vielseitige Vorteile: Der Automatisierungsgrad wird im Vergleich zu bestehenden manuellen Prüfvorgängen am Kolben

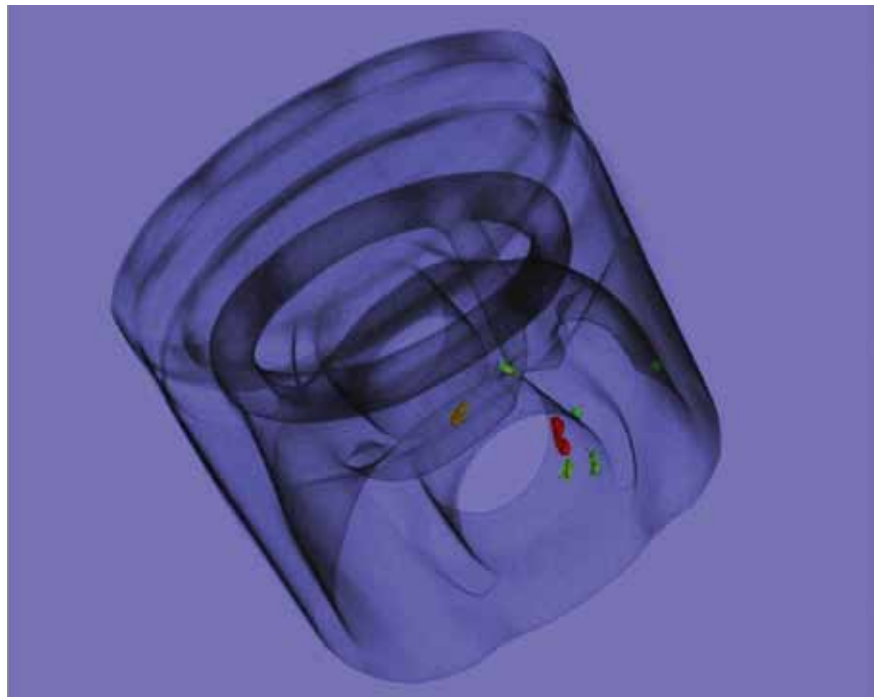


Bild 4: Dreidimensionale Darstellung eines Verbrennungsmotorkolbens mit automatisch detektierten Fehlstellen: Die Farbe beschreibt die Größe der Defekte. (nach [1])

im 100-Prozent-Produktionstakt deutlich erhöht. Zudem wird die konventionelle Röntgenprüfung komplett sowie die Ultraschallprüfung zum Teil ersetzt. Darüber hinaus können Defekte differenziert bewertet und Gussanomalien in funktionsunkritischen Bauteilregionen gezielt zugelassen werden. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung des Ausschusses. „Die Computertomographie in der prozessintegrierten Anwendung wird langfristig zu einem unverzichtbaren Bestandteil des industriellen Produktionsprozesses werden und dort nicht mehr wegzudenken sein“, so Dr. Holger Schnell, Abteilungsleiter Inspection Technology bei der Mahle GmbH.

Die genaue Lagebestimmung der Defekte im Objekt führt auch zu einem besseren Verständnis des gesamten Gießprozesses. Eine automatische Rückkopplung der gewonnenen Informationen über das Gussteil in die Parametrierung und Optimierung des Gesamtprozesses war bislang nur eine Vision. Durch die prozessintegrierte CT des

Fraunhofer IIS rückt sie erstmals in greifbare Nähe.

Ausblick

Je nach Applikation ist entweder die klassische 2-D-Radioskopie oder die 3-D-Computertomographie die beste Lösung für eine 100-Prozent-Qualitätssicherung von Bauteilen. Die neuen Entwicklungen ermöglichen es, die Radioskopie und gegebenenfalls weitere Prüfverfahren für bestimmte Applikationen durch die CT zu ersetzen. Aufgrund von physikalischen und geometrischen Beschränkungen der CT wird es immer eine Daseinsberechtigung der 2-D-Radioskopie geben. Daher werden beide Technologien auch in Zukunft vom Fraunhofer-IIS weiterentwickelt.

Dipl.-Ing. Thomas Stocker, Dipl.-Math. Steven Oeckl und Dr.-Ing. Thomas Wenzel, Fraunhofer IIS Fürth, Dipl.-Ing. Rolf Behrendt, Fraunhofer IIS, Erlangen

Weitere Informationen:
www.iis.fraunhofer.de

Literatur

- [1] Heuberger, A., Elst, G., und Hanke R.: *Microelectronic Systems-Circuits, Systems and Applications*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2010, S. 279.