

Detektion und Auffindwahrscheinlichkeit (POD) von Oberflächenfehlern in Metallen mittels optischer Inspektionsverfahren

Markus RAUHUT, Martin SPIES, Kai TAEUBNER

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern –Tel +49-63131600-4595 Email Markus.Rauhut@itwm.fraunhofer.de

Kurzfassung. Neben den klassischen ZfP-Verfahren zur Oberflächenprüfung setzen sich verstärkt optische Verfahren durch, da sie berührungslos arbeiten und vielfältige Möglichkeiten zur Online-Fehlererkennung und –klassifikation mittels geeigneter Algorithmen bieten. Abhängig von der Güte und der Komplexität des Beleuchtungs- und (Video-) Kamerasystems werden unterschiedliche Auflösungen im Hinblick auf die Fehlergröße erreicht. Um verschiedene, in der Praxis eingesetzte Systeme quantitativ bewerten zu können, haben wir eine \hat{a} versus a -Analyse zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (POD) an ebenen Testkörpern mit Bohrungen und Nuten unterschiedlicher Dimensionierung und Orientierung durchgeführt. Wir zeigen, dass die Anwendung komplexerer Sensorik und Algorithmik zu einer erheblichen Verbesserung der POD führt und den Einsatz optischer Oberflächeninspektionsverfahren zur quantitativen ZfP im Bereich der automatischen Qualitätskontrolle unterstützt.

1. Einführung

In vielen Bereichen hängt die Güte eines Produkts mit der Qualität seiner Oberfläche zusammen. Bei Erzeugnissen wie beispielsweise beschichteten Metall-Dichtungen oder Triebwerkskomponenten muss die Unversehrtheit der Oberfläche überprüft werden, um das bestimmungsgemäße Betriebsverhalten des jeweiligen Bauteils zu gewährleisten. Neben den klassischen ZfP-Verfahren zur Oberflächenprüfung setzen sich – insbesondere im Rahmen einer automatischen Qualitätskontrolle - verstärkt optische Verfahren durch, da sie berührungslos arbeiten und vielfältige Möglichkeiten zur Online-Fehlererkennung und –klassifikation mittels geeigneter Algorithmen bieten. Abhängig von der Güte und der Komplexität des Beleuchtungs- und (Video-) Kamerasystems werden unterschiedliche Auflösungen im Hinblick auf die Fehlergröße erreicht. Um verschiedene, in der Praxis eingesetzte Systeme quantitativ bewerten zu können, haben wir eine \hat{a} versus a -Analyse zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (englisch: Probability of Detection, POD) an ebenen Testkörpern mit Bohrungen und Nuten unterschiedlicher Dimensionierung und Orientierung durchgeführt.

Dem internationalen Standard MIL-HDBK-1823 in der aktuellen Version von 2007 [1] folgend haben wir aus den digitalisierten und algorithmisch verarbeiteten Daten POD-Kurven ermittelt. Wir zeigen, dass die Anwendung komplexerer Sensorik und Algorithmik zu einer erheblichen Verbesserung der POD führt und den Einsatz optischer Oberflächeninspektionsverfahren zur quantitativen ZfP im Bereich der automatischen Qualitätskontrolle beispielweise von Stanzteilen oder bei der Produktion von Bandstahl unterstützt. Ein nicht zu unterschätzender Aspekt ist dabei auch die Objektivierung der

Qualitätskriterien und die Reduktion der subjektiven Bewertung, des sogenannten menschlichen Faktors.

2. Fehlerauffindwahrscheinlichkeit POD

Das Konzept der ‚Probability of Detection‘ POD spielt eine wichtige Rolle bei der Untersuchung und Evaluierung der Integrität eines Bauteils [1,2]. Die POD bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler im Bauteil zu finden; sie wird in diesem Beitrag als Funktion der Fehlergröße a bestimmt. Die resultierende POD-Kurve liefert zusammen mit den auferlegten Konfidenzintervallen die Fehlergröße, die mit einer ‚vernünftigen‘ Wahrscheinlichkeit detektiert werden kann. Diese Fehlergröße wird dann mit den Anforderungen an die Bauteilintegrität verglichen.

Der prinzipielle Verlauf der POD-Kurve zeigt, dass mit zunehmender Fehlergröße auch die Detektionswahrscheinlichkeit ansteigt. An der Größe $a_{90/95}$ schneidet die untere 95 % Konfidenzgrenze das 90 % POD-Niveau. Diese Größe wird üblicherweise als die Fehlergröße betrachtet, die sicher zu detektieren ist. Um experimentell POD-Kurven zu ermitteln, müssen wohl definierte Inspektionen an geeigneten Testkörpern durchgeführt werden. Die Vorgehensweise, eine POD mittels einer \hat{a} versus a -Analyse zu bestimmen, ist wie folgt: ein Fehler der Größe a erzeugt ein Signal der Amplitude (in unserem Fall einer Metrik) \hat{a} . Üblicherweise wird ein Schwellwert \hat{a}_{th} definiert, der die kleinste vom Prüfsystem aufgezeichnete Amplitude darstellt, d.h. unterhalb dieses Wertes ist das Signal nicht mehr vom Rauschen zu unterscheiden. Die zweite Schwelle ist der Entscheidungsschwellwert \hat{a}_{dec} , oberhalb dessen das Signal als ‚Treffer‘ interpretiert wird. Die Schwellwert \hat{a}_{th} ist immer kleiner oder gleich dem Schwellwert \hat{a}_{dec} . Unter der Annahme, dass die Signalamplituden/Metriken statistisch normalverteilt sind, kann das \hat{a} versus a -Diagramm in eine POD-Kurve überführt werden. Eine detaillierte mathematische Beschreibung dieser Prozedur ist in [1, Appendix G] zu finden.

3. Optische Inspektionsverfahren

3.1 Hintergrund und Problemstellung

Bei optischen Inspektionssystemen, vor allem bei Oberflächeninspektionssystemen, entscheidet hauptsächlich das Erreichen der vom Endanwender vorgegebenen Detektionsrate und Auffindwahrscheinlichkeit darüber, ob ein solches System in der Praxis einsetzbar ist. Typischerweise werden diese Parameter in Form einer Vorstudie empirisch festgestellt, d.h. anhand von Musterteilen wird mehr oder weniger subjektiv entschieden, ob die Kundenanforderungen erfüllbar sind [3].

Die Detektionsqualität wird in der Bildverarbeitung hauptsächlich als Eigenschaft von Bildsensor (Kamera) und Beleuchtung gesehen. Durch die geeignete Wahl der Beleuchtung und dem Aufnahmewinkel zwischen Kamera und Lampe können bestimmte Arten von Defekten auf einer Oberfläche stärker sichtbar und somit detektierbar gemacht werden.

Prinzipiell kann man zwischen homogener und strukturierter Beleuchtung unterscheiden. Mittels homogener Beleuchtung sind Texturfehler wie matte Stellen sehr gut detektierbar. Strukturierte Beleuchtungen zum Beispiel durch Streifenmusterprojektionen ermöglichen die Hervorhebung beispielsweise des Höhenprofils einer Oberfläche. Vereinfacht dargestellt gibt es zwei Möglichkeiten, den Winkel zwischen Kamera und Beleuchtung einzustellen: wenn die Beleuchtung aus Richtung der Kamera kommt und

vom Prüfobjekt zurück in die Beobachtungsrichtung reflektiert wird, spricht man von einer Hellfeldaufnahme. Es ergibt sich ein gleichmäßig helles, gut kontrastiertes Bild. Bei der Dunkelfeldaufnahme geht die Beleuchtung am optischen System vorbei, nur die Streuung durch Defekte an der Oberfläche ist im Kamerabild sichtbar, d.h. Defekte erscheinen hell.

Neben der Beleuchtung ist die Bildqualität (Signal-Rausch-Verhältnis, Pixelgröße, Auflösung) ein wichtiger Parameter bei der Konzeption eines Inspektionssystems. In den letzten Jahren sind die Bildsensoren von digitalen CCD- und CMOS-Kameras immer kleiner geworden. Hinzu kommen immer höhere Auflösungen der Kameras, die dazu führen, dass die Fläche eines Pixels immer kleiner wird. Durch die kleineren Pixelflächen sinkt auch die sog. Full-Well-Kapazität von Pixeln. Die Full-Well-Kapazität beschreibt die Anzahl von Elektronen, die ein Pixelelement aufnehmen kann. Je kleiner die Full-Well-Kapazität, desto schlechter ist jedoch das maximale Signal-Rausch-Verhältnis. D.h. bei einer hohen Pixelauflösung kann die Bildqualität sinken. Deshalb ist es wichtig, Kameras mit unterschiedlichen Sensor- und Pixelgrößen bei gleicher Auflösung zu vergleichen. Ein größerer Sensor mit größeren Pixeln ist in fast allen Fällen technisch gesehen die bessere Wahl.

Die Konfiguration von Beleuchtung und Kameratechnik ist in der Bildverarbeitung ausreichend bekannt und wird dementsprechend systematisch konzipiert (siehe dazu auch [4]). Es ist sicherlich auch wahr, dass die eigentliche Algorithmik, die Detektionsqualität nur bedingt verbessern kann. Wichtig für die Anwendung ist aber auch die Detektionswahrscheinlichkeit von verschiedensten Algorithmen in der Bildverarbeitung, abhängig von Bildeigenschaften wie Kontrast, Bildauflösung und Ausprägung der Defekte. Hier fehlt es jedoch an Verfahren, die quantitative Werte liefern. Dementsprechend hoch ist für den Bildverarbeiter das Risiko, ein praxistaugliches Inspektionssystem realisieren zu können.

3.2 Objektivierungsansatz

Die POD-Analyse stellt nun eine Möglichkeit dar, die minimalen Fehlergrößen zu einer hohen Detektionswahrscheinlichkeit quantitativ zu berechnen. Als Eingabeparameter für die POD-Analyse musste eine Metrik entwickelt werden, die die Detektionswahrscheinlichkeit eines Defektes erfasst. Diese Metrik sollte dabei folgende Eigenschaften haben:

- Die Metrik soll einfach zu berechnen sein, damit schon in der (einer Entwicklung vorgeschalteten) Vorstudie eine quantitative Aussage zur Detektionswahrscheinlichkeit ermittelt werden kann.
- Weiterhin muss die Metrik möglichst unabhängig von den verwendeten Bildverarbeitungsalgorithmen sein, aber dennoch die Eigenschaften typischer Analyseverfahren berücksichtigen.

Für diese Arbeit haben wir uns auf zwei Defekttypen konzentriert: Risse und Löcher, die durch Nuten und Bohrungen simuliert werden.

3.3 Detektionsverfahren

Das einfachste Verfahren zur Detektion von Defekten (eigentlich zur Segmentierung) ist das Schwellwertverfahren. Hier werden alle Pixel innerhalb eines vorgegebenen Intervalls auf einen konstanten Wert gesetzt. Danach folgt eine Regionenerkennung durch ein Labeling-Verfahren auf dem entstandenen Binärbild. Unterscheiden sich die Pixelwerte der Defekte stark von der Oberfläche, dann ist das Verfahren sehr stabil, d.h. es gibt keine Fehldetektionen und es werden alle Defekte gefunden. Ausschlaggebend ist also der Kontrast zwischen Defekt und Nicht-Defekt. Bei schwierigen Bedingungen (z.B.

unterschiedlich ausgeprägte Fehler...) wird dieses einfache Verfahren selten eingesetzt, da es gerade auf texturierten Oberflächen nur bei ganz speziellen Beleuchtungs-Setups funktioniert.

Bessere Verfahren zur Kantendetektion (Risserkennung) sind lokale Verfahren wie der Sobel- oder Laplace-Operator [5]. Der Sobel-Operator berechnet die erste Ableitung der Pixelwerte entweder in x- oder in y-Richtung, die jeweils andere Richtung wird geglättet. Die erste Ableitung (oder auch Gradient) wird durch eine Maske approximiert und dann mittels einer Faltung auf das Eingabebild angewandt. Sei dazu I_{in} eine Grauwertmatrix, die das aufgenommene Kamerabild beschreibt. Dann ergeben sich die Sobel-Ausgabematrizen durch

$$I_{x_{out}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * I_{in} \quad \text{und} \quad I_{y_{out}} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * I_{in} .$$

wobei das Gesamtkantenbild durch $I_{xy}(x, y) = \sqrt{I_{x_{out}}^2(x, y) + I_{y_{out}}^2(x, y)}$ berechnet wird. Der Laplace-Operator approximiert zur Kantendetektion die zweite Ableitung

$$\Delta f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 f}{\partial^2 y} \quad \text{durch eine Faltung mit der Maske} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \text{wobei diese Maske}$$

nur eine Variante ist.

Schaut man sich nun die ausformulierte Faltung an einer Stelle $I(x, y)$ an gemäß

$$\nabla^2 I = [I(x+1, y) + I(x-1, y) + I(x, y+1) + I(x, y-1)] - 4 * I(x, y)$$

dann ist zu sehen, dass das Antwortsignal des Laplace-Operators umso stärker ist, je größer der Abstand zwischen benachbarten Pixelwerten ist. Je höher also der lokale Kontrast ist, desto besser lassen sich Kanten im Bild detektieren. Gleiches kann man für den Sobel-Operator feststellen. Es gibt viele lokale Kantendetektoren, die stabiler arbeiten - ein bekanntes Verfahren ist z.B. der Canny-Algorithmus. Aber alle diese Verfahren arbeiten mit Gradienten oder verwenden in einem Teilschritt Sobel (so im Canny-Algorithmus), Laplace oder ähnliche Approximationen für die Kantendetektion. Häufig werden auch Glättungsverfahren mit einfachen Faltungsmasken kombiniert (z.B. Gauß-Filterung und Laplace). Letztendlich gilt für all diese Algorithmen, dass ein hoher lokaler Kontrast auch zu einer erhöhten Detektionswahrscheinlichkeit führt. Häufig wird den Kantendetektoren ein Schwellwertverfahren nachgeschaltet, das natürlich bei einem hohem Antwortsignal des Kantendetektors stabiler arbeitet.

Neben den lokalen Verfahren gibt es globale Algorithmen zur Kantendetektion wie zum Beispiel die Hough-Transformation, Fourier- und Wavelet-Transformationen sowie Bildpyramiden [5]. Letztendlich gilt aber auch für diese Algorithmen, dass ein lokaler Kontrast zu einem stabilen Antwortsignal führt.

Morphologische Verfahren ermöglichen die Erkennung von anderen Defektypen wie z.B. Löchern. Basisoperationen sind die Erosion und die Dilatation. Beide Operationen nutzen sogenannte Strukturmasken, die dazu verwendet werden, das Eingabebild zu analysieren. Die Erosion trägt dabei Bildregionen ab, während die Dilatation Bildregionen verbreitert. Mit einer kreisförmigen Strukturmaske einer bestimmten Größe können kreisrunde Regionen detektiert oder auch entfernt werden. Es gilt wieder, dass je höher der lokale Gradient eines Defektes ist, desto sicherer können Defekte erkannt werden. Somit ist auch hier der lokale Kontrast eine gute Approximation für die Detektionswahrscheinlichkeit.

3.4 Ausgewähltes Verfahren

Aus diesen Beobachtungen lässt sich eine einfache Metrik zumindest für die Detektionswahrscheinlichkeit von Kratzern, Lunkern, Beulen, Dellen und Löchern ableiten, komplexere Fehler wie Texturabweichungen lassen sich nicht so einfach quantifizieren [6]. Wir definieren den lokalen Kontrast als $K = Abs(Avg_D - Avg_E)$, der Absolutdifferenz des Mittelwertes der Pixel in der Defektregion Avg_D und des Mittelwertes der Pixel in der näheren Umgebung Avg_E , z.B. einer Region in der Breite von vier Pixeln um den Defekt.

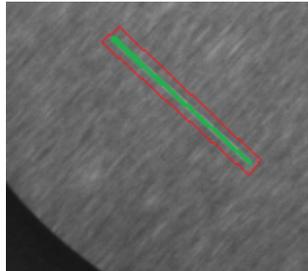


Abb. 1 Defektregion (grün) und lokale Umgebung (rot)

Da mit steigender Größe von Defekten im Bild auch die Detektionswahrscheinlichkeit steigt, muss die Dimension mit in die Gesamtmetriek eingehen. Wir multiplizieren den lokalen Kontrast mit der Breite der gefunden Nutenregionen bzw. mit dem Durchmesser der gefunden Bohrungsregionen, also $M = K \cdot \text{Breite}$ bzw. $M = K \cdot \text{Durchmesser}$. Hier wäre es auch möglich, jeweils die Fläche der Defektregion zu verwenden. Die so berechnete Metrik ist sicherlich nur eine Approximation, aber schnell und einfach zu berechnen.

4. Inspektions-Setup und Durchführung der Messungen

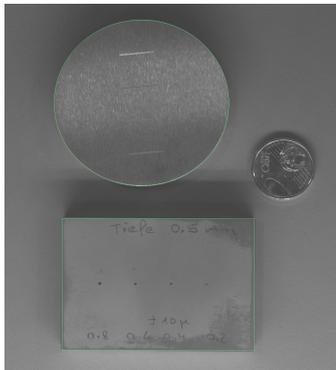
Zur Detektion von Rissen und Bohrungen wurden folgende Komponenten verwendet:

- Kamera Prosilica GC1600M (1620 x 1220 Pixel), Pixelgröße 4.4 μm ;
- Objektive (Schneider Bad Kreuznach):
 - Cinegon 1.4/8 mm Pixelauflösung 0.28 mm,
 - Xenoplan 1.4/17 mm Pixelauflösung 0.14 mm,
 - Xenoplan 1.4/23 mm Pixelauflösung 0.10 mm;
- Beleuchtung:
 - Seitenlicht mit Planistar Lichthaube (rote LEDs),
 - koaxiales Auflicht mit Volpi ILP ACIS (weiße LEDs).

Für die Detektion von Nuten kam ein Messing-Testkörper zum Einsatz, für die Detektion von Bohrungen ein Testkörper aus Titan-6Al-4V (Abbildung 2). Der Messing-Testkörper mit den eingebrachten Nuten wurde mit jedem Objektiv fünfmal mit jeweils einer anderen Beleuchtung aufgenommen, d.h. vier Seitenlichtbeleuchtungen (links, rechts, oben, unten) und einem Auflicht. Es wurden drei Objektive verwendet um verschiedene Pixelgrößen einzustellen: 0.28 mm, 0.14 mm und 0.10 mm. Weiterhin wurde der Testkörper jeweils einmal so aufgenommen, dass die Nuten rechtwinklig zur x-Achse der Kamera verlaufen und ein weiteres Mal mit einem Nutenverlauf von 45°. Der mit Bohrungen versehene Titan-Messkörper wurde mit jedem Objektiv einmal im Auflicht fotografiert.

Durch die beiden Winkel im Nutenverlauf können zwei Situationen bei der Defekt-erkennung simuliert werden. Bei einem Winkel von 90° gibt es mindestens eine Beleuchtung, die optimal für die Nut/Risserkennung ist. Dies simuliert den Fall, dass die Vorzugsrichtung von Rissen bekannt ist (z.B. bei Extruderprozessen). Bei einem Winkel von 45° gibt es keine "optimale" Seitenlichtbeleuchtung. In der Praxis würde dies bedeuten,

dass keine Vorzugsrichtung bekannt ist. Bohrungen lassen sich sehr gut im Auflicht detektieren, deshalb wurde der Titan-Messkörper nur im Auflicht aufgenommen. Beispiel-aufnahmen sind in Abbildung 3 und 4 gezeigt. Ein einfacher Detektionsalgorithmus detektierte in den insgesamt 33 erzeugten Bildern jeweils die vier "Defekte" (Bohrungen, Nuten). Durch einen gradientenbasierten Region-Growing-Algorithmus mit nachfolgendem Labeling wurde die Metrik zur Detektionswahrscheinlichkeit berechnet. Nachfolgend wird dann diese Metrik für die POD-Analyse eingesetzt.



- Messing-Testkörper 50 mm Durchmesser
- Nuten der Länge 10 mm und der Breite 0.3 mm, 0.25 mm, 0.2 mm, 0.12 mm
- Ti-6-4-Testkörper 55 x 40 mm²
- Bohrungen mit Durchmesser 0.8 mm, 0.6 mm, 0.4 mm, 0.2 mm

Abb. 2 Testkörper mit Nuten und Bohrungen

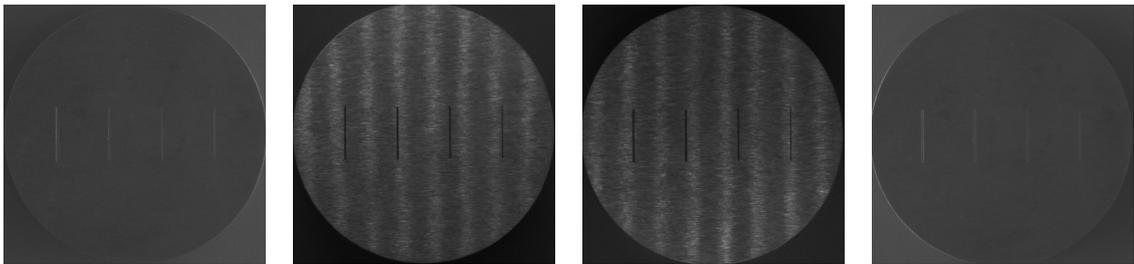


Abb. 3 Aufnahmesequenz mit Seitenlicht - Licht von rechts, oben, unten und links.

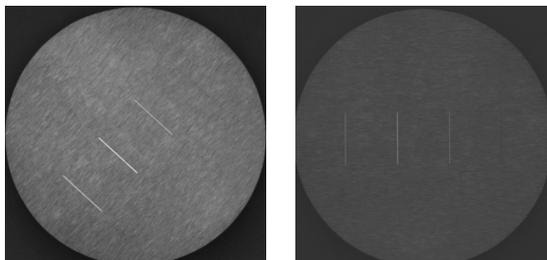


Abb. 4 Aufnahmesequenz mit Auflicht - Nuten in 45° und 90°.

5. POD Berechnung

Die derart verarbeiteten Datensätze haben wir mit der **mh1823 POD-Software** (Version 2.5, 2007 Update des MIL-HDBK-1823 unter <http://StatisticalEngineering.com>) analysiert. Bei der Anwendung der Software ist folgendes zu beachten: (1) das eingesetzte ZfP-Verfahren/-System muss ein quantitatives Signal \hat{a} liefern; (2) die Testkörper müssen ‚Ziele‘ mit messbaren Charakteristiken haben, in unserem Fall als ‚Größe‘ die Nutbreite bzw. den Bohrungsdurchmesser; (3) die Software geht davon aus, dass die Input-Daten korrekt sind, also dass die angegebene Größe die korrekte Größe ist und die zugehörige Response die korrekte Response – ist dies nicht der Fall, liefert die Software ‚nur‘ Näherungsergebnisse. Punkt 2 bedeutet für unseren Fall, dass wir auf Modellfehler mit eindeutig zuzuordnenden Größen für die POD-Bestimmung zurückgegriffen haben.

Der erste Schritt in der POD-Analyse ist die Darstellung der Daten in der Form von \hat{a} vs a -, \hat{a} vs $\log(a)$ -, $\log(\hat{a})$ vs a - und $\log(\hat{a})$ vs $\log(a)$ -Plots und der Auswahl des einen

linearen Zusammenhang am Besten annähernden Modells. Die **mh1823** POD-Software stellt die linearen Approximationen der Daten zur Auswahl dar. Die entsprechenden POD-Kurven werden dann mit den wichtigen Informationen des angewandten Modells dargestellt, nämlich: die Modellparameter und ihre Kovarianzmatrix; die Fehlergröße a_{50} , die Größe mit 50 % POD; a_{90} , die Größe mit 90 % POD; $a_{90/95}$, die 95 % Konfidenzgrenze für die a_{90} -Schätzung; die Gleichung für das POD-Modell wird auch angegeben. Wir haben hier das $\log(\hat{a})$ vs $\log(a)$ -Modell ausgewählt.

Die Abbildungen 5 bis 7 zeigen repräsentative Ergebnisse unserer Auswertung. In den Abbildungen 5 und 6 haben wir die POD-Kurven für die unter 45° und 90° zum Seitenlicht orientierten Nuten denjenigen mit 90° Orientierung jeweils für die Auflösungen 0.28 mm und 0.14 mm gegenübergestellt. Erwartungsgemäß lassen sich bei Beleuchtung unter 90° Nuten geringerer Breite nachweisen: die Größe $a_{90/95}$ beträgt ca. 0.19 mm für die Auflösung von 0.28 mm und ca. 0.13 mm bei 0.14 mm Auflösung. Auch der steilere Verlauf der POD-Kurve spiegelt die verbesserte Detektion wieder. Bei Verwendung des Systems mit der Auflösung 0.10 mm wurde keine weitere Verbesserung in der POD erzielt, was aufgrund der untersuchten Fehlergrößen nicht überrascht.

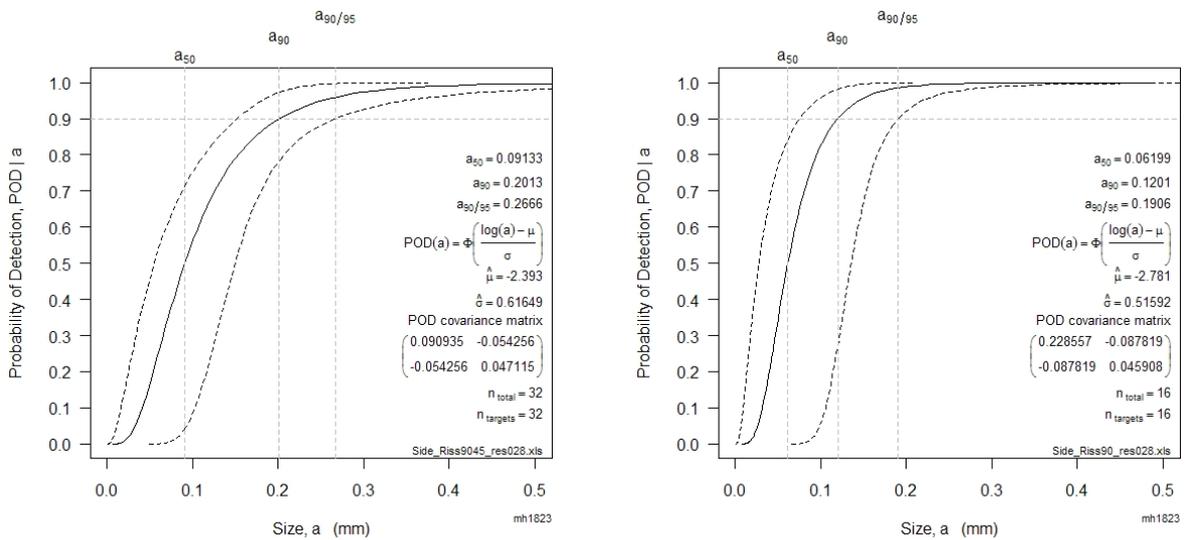


Abb. 5 POD-Kurven: Seitenlicht, Auflösung 0.28 mm (links Nuten $45^\circ/90^\circ$, rechts Nuten 90°).

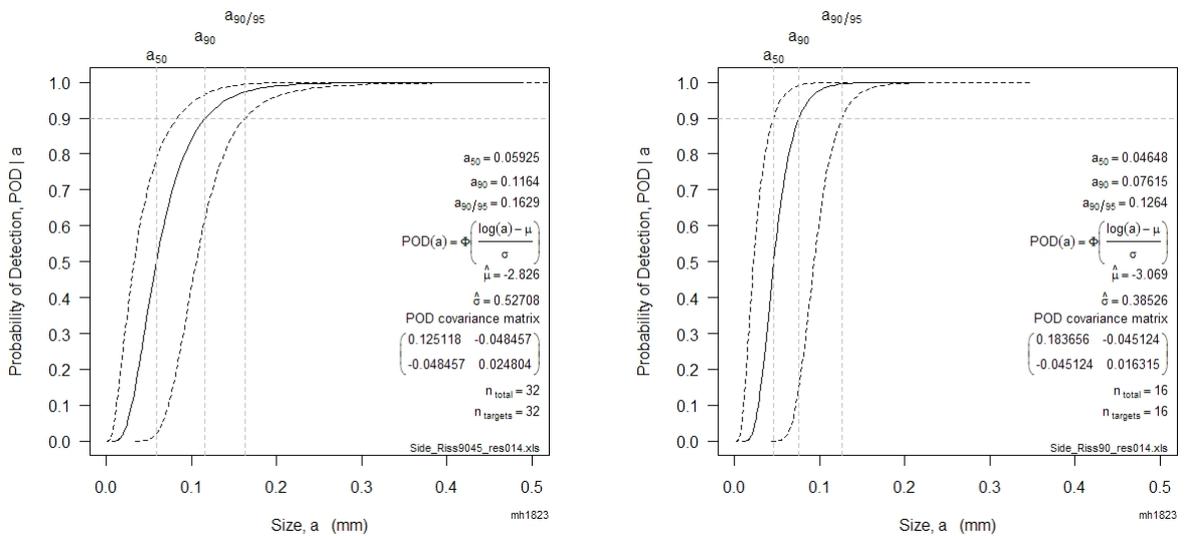


Abb. 6 POD-Kurven: Seitenlicht, Auflösung 0.14 mm (links Nuten $45^\circ/90^\circ$, rechts Nuten 90°).

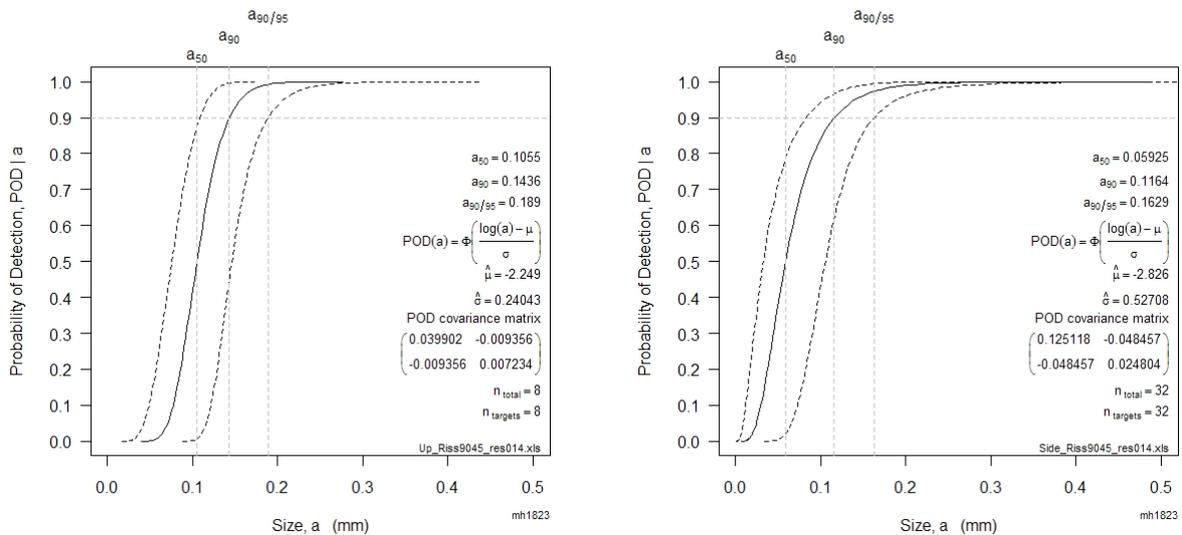


Abb. 7 POD-Kurven: Nuten 45°/90°, Auflösung 0.14 mm (links Auflicht, rechts Seitenlicht).

Abbildung 7 bestätigt, dass Beleuchtung mit Seitenlicht generell besser für den Nachweis von Rissen geeignet ist als Auflicht, das wiederum zum Nachweis von Löchern zu bevorzugen ist. Die am Titan-Testkörper erzielten Ergebnisse zeigen, dass wir kleinere Durchmesser als 0.2 mm nachweisen können. Diesbezügliche Messungen an einem weiteren Testkörper mit kleineren Bohrungen werden wir zu einem späteren Zeitpunkt präsentieren.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführten Versuche zeigen, dass die POD-Analyse ein hilfreiches Verfahren zum Entwurf und zur Validierung von optischen Inspektionssystemen ist. Neben der wichtigen Aussage, ob eine bestimmte Fehlergröße sicher detektiert werden kann, liefert die POD-Analyse vor allem quantitative Werte für die sicher detektierbaren Fehlergrößen zu einem gegebenen Beleuchtungs- und Kamera-Setup. Aufgrund der Einfachheit der vorgeschlagenen Metrik, kann diese Analyse bereits in Vorstudien durchgeführt werden und so das Risiko bei der praxisnahen Realisierung von komplexen optischen Inspektionssystemen stark minimieren. Ein Großteil der in Produktionsanlagen auftretenden Defekte ist mit dieser Metrik abgedeckt. Allerdings ist sie noch nicht für alle Fehlerarten einsetzbar, insbesondere für Texturabweichungen und Oberflächenprofile müssen noch Anpassungen bzw. Erweiterungen stattfinden.

Referenzen

- [1] Department of Defense Handbook Draft 2007. Nondestructive Evaluation System Reliability Assessment, MIL-HDBK-1823, Draft 28 February 2007
- [2] W.D. Rummel. NDE Procedure Validation and Use in NDE System Calibration for NDE Applications. In: Review of Progress in Quantitative NDE (2004), Vol. 24, Melville, New York, American Institute of Physics (AIP Conference Proceedings CP760), 1982-1986 (2005)
- [3] M. Rauhut. Typischer Aufbau eines Online-Oberflächeninspektionssystems. Materialien zum Fraunhofer Vision Seminar ‚Inspektion und Charakterisierung von Oberflächen mit Bildverarbeitung‘, Erlangen (2009)
- [4] J. Beyerer, Th. Längle. Bildgewinnung bei der Oberflächenprüfung. Materialien zum Praktikum der Allianz Vision zur Oberflächeninspektion. Erlangen (2009)
- [5] R. Gonzalez, R. Woods. Digital Image Processing. 2nd Edition, Prentice Hall (2002)
- [6] R. Rösch. Fehlerdetektion in texturierten Oberflächen im praktischen Einsatz. Vortrag auf dem Fraunhofer Vision Technologietag, Kaiserslautern (2009)