Simulation von Oberflächenveränderungen und –defekten zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (POD)

Markus RAUHUT [1], Falco HIRSCHENBERGER [1], Martin SPIES [2]
[1] Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern
[2] Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Kurzfassung

Bei optischen Prüfsystemen entscheidet das Erreichen der vom Endanwender vorgegebenen Detektionsrate und die Auffindwahrscheinlichkeit darüber, ob ein solches System in der Praxis einsetzbar ist. Eine Möglichkeit, diese Parameter quantitativ zu bestimmen, bieten â versus a-Analysen zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (englisch: Probability of Detection, POD). Die POD-Analyse erlaubt, die sicher detektierbaren minimalen Fehlergrößen quantitativ zu berechnen.

Eine Möglichkeit, die POD-Analyse für optische Systeme zu evaluieren, ist die Simulation von Oberflächendefekten mittels Raytracing. Die bereits am Fraunhofer ITWM entwickelte Simulation von Rissen auf flachen Bauteilen wurde um realistischere Bauteile (Zylinder) erweitert. Das einfache Lochkameramodell wurde durch ein realistisches Kameramodell mit Linsensystem erweitert. Die so erzeugten Bilddaten ermöglichen eine POD-Analyse auf Basis einer großen Anzahl von Defekten wenn noch eine Abdeckungsanalyse hinzugenommen wird.

Lizenz: http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/de/

Simulation von Oberflächendefekten zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit

Dach-Jahrestagung 2015, Salzburg
11.– 13. Mai 2015, **Mi.2.C.2**

Fraunhofer Institut
für Techno- und Wirtschaftsmathematik

Markus Rauhut Simulation, Bildanalyse und Datenauswertung

Dr. Martin Spies POD-Analyse

Falco Hirschenberger Raytracing, Abeckungsanalyse

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation von Oberflächendefekten zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit

- Einleitung/Motivation
- Die Simulation von Rissen auf Rohren
- Bestimmung der Abdeckung
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Ausblick und Zusammenfassung

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Einleitung

Die Oberflächeninspektion verwendet eine indirekte Messmethode:

- Je nach Beleuchtung und Kamerawinkel verändert sich die Erscheinung von Defekten und Geometrieabweichungen.
- Im schlimmsten Fall sind bei schlechtem Aufbau von Sensor und Beleuchtung Defekte gar nicht sichtbar.
- Bei komplexen Geometrien muss die Kamera bzw. die Beleuchtung ständig so bewegt werden, dass der Winkel zur Oberfläche optimal ist.

Werden alle Defekte unter den gegebenen Randbedingungen (komplexe Geometrie, Reflektanz) gefunden?

Kann das gesamte Oberflächeninspektionssystem virtuell dargestellt und getestet werden?

© Fraunhofer ITWM

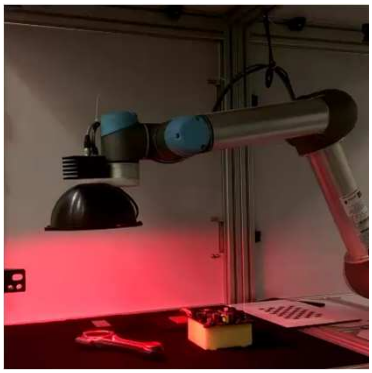
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Motivation

Um komplexe Geometrien zu prüfen ist es notwendig, dass:

- das gesamte Aufnahmesetup im Rechner simuliert wird,
- aufwändige 3D- oder Lichtfeld-Rekonstruktionsverfahren implementiert sind,
- Und die Aufnahme über einen Roboter (oder mehrere Kameras/Beleuchtung) durchgeführt wird.

Dabei muss nachgewiesen werden, dass die Simulation „reale“ Ergebnisse wiederspiegelt.



© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Motivation

Zur Zeit existieren keine quantitativen Maße, um die Qualität eines optischen Inspektionssystems zu messen.

→ Neben der Simulation sind quantitative Maße notwendig.

Ein in der Luftfahrtindustrie verbreitetes Verfahren für die zerstörungsfreie Prüfung ist die POD-Analyse.

Wir haben diese Methode so angepasst, dass sie auch für die Optik anwendbar ist.

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation von Oberflächendefekten zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit

- Einleitung/Motivation
- Die Simulation von Rissen auf Rohren
- Bestimmung der Abdeckung
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Ausblick und Zusammenfassung

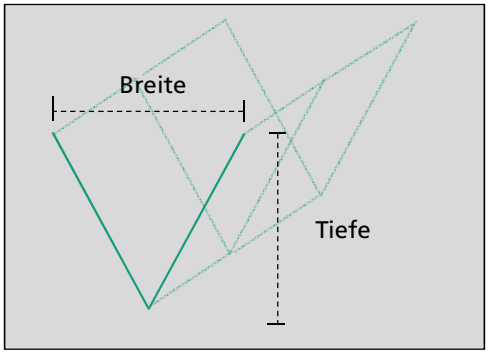
© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

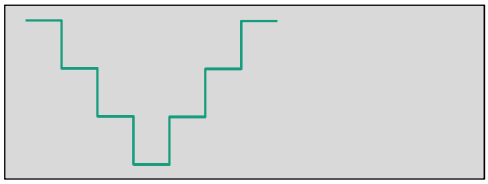
Simulation von Defekten

Konstruktion von Rissen

- Basisform für Riss



- Diskrete Darstellung



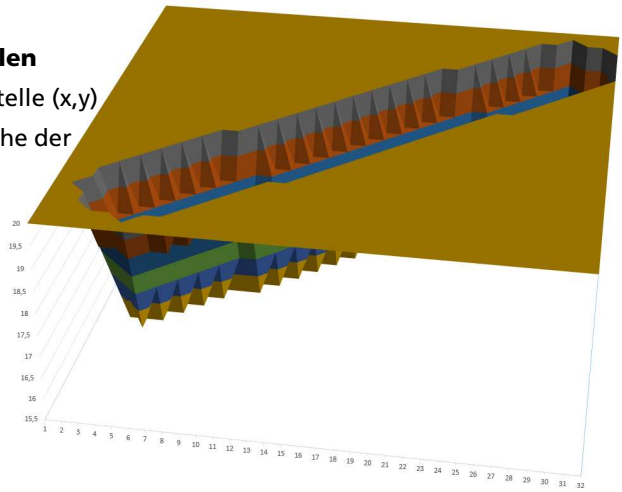
© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation von Defekten

Höhenkarte erstellen

→ Ein Pixel an der Stelle (x,y) beschreibt die Höhe der Karte an der Position (x,y)



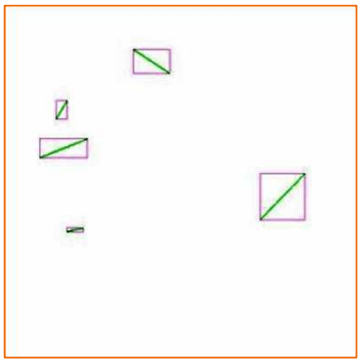
© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation von Defekten

Datenerzeugung/Ground Truth

- Erzeuge zufällig jeweils 5 Risse pro Bild
- Variiere Breite und Tiefe
- Generiere Ground Truth



© Fraunhofer ITWM

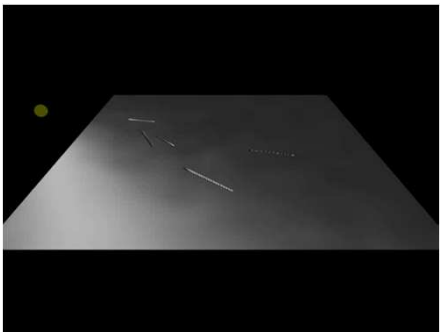
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation von Defekten

Anzeige der Risse in einem Höhenfeld

→ Unrealistisch bei komplexen Geometrien

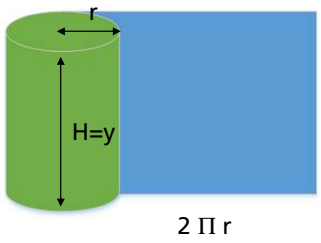
→ Projektion des Höhenfeldes auf die komplexe Geometrie des Prüfobjektes

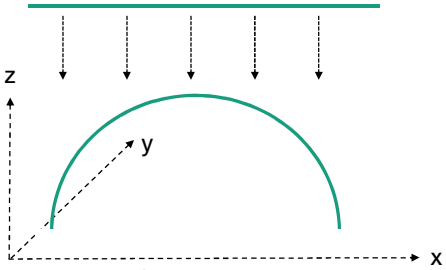


© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation von Defekten
Projektion auf Zylinder



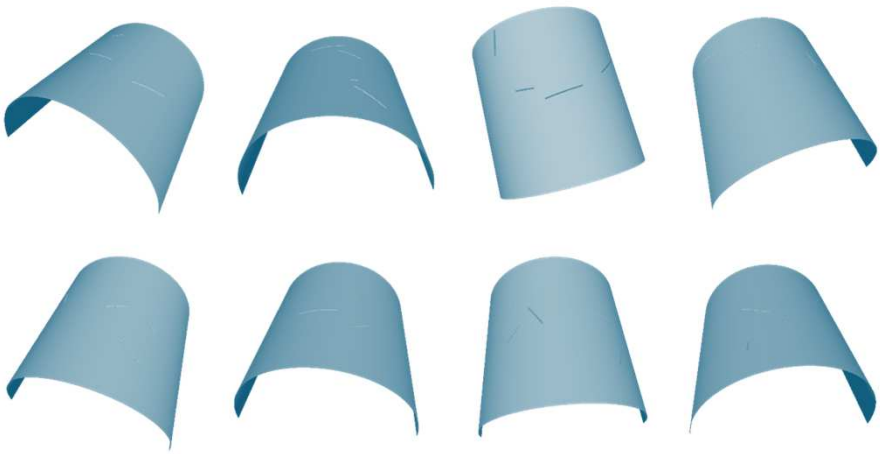


$$x' = r\cos\partial$$
$$y' = y$$
$$z' = r\sin\partial + z$$

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation von Defekten
Projektion auf Zylinder



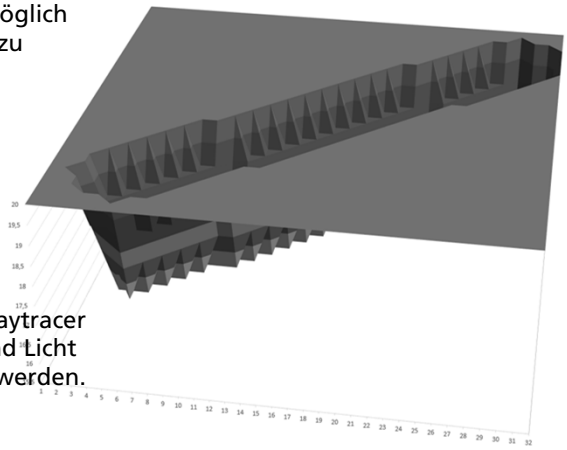
© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Raytracing

Durch Raytracing ist es möglich künstliche Kamerabilder zu generieren.

- Aus den Höhenkarten werden Dreiecksnetze erzeugt,
- auf einen Zylinder projiziert
- und dann durch den Raytracer dargestellt. Kamera und Licht können dabei variiert werden.



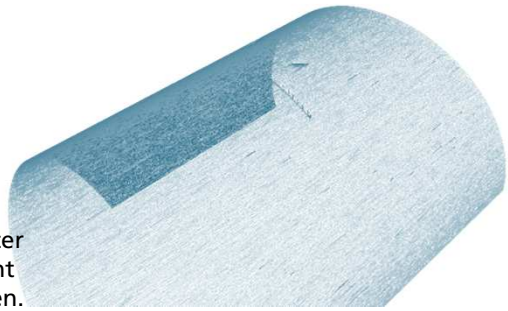
© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Raytracing

Durch Raytracing ist es möglich künstliche Kamerabilder zu generieren.

- Aus den Höhenkarten werden Dreiecksnetze erzeugt,
- auf einen Zylinder projiziert
- und dann durch den Raytracer dargestellt. Kamera und Licht können dabei variiert werden.



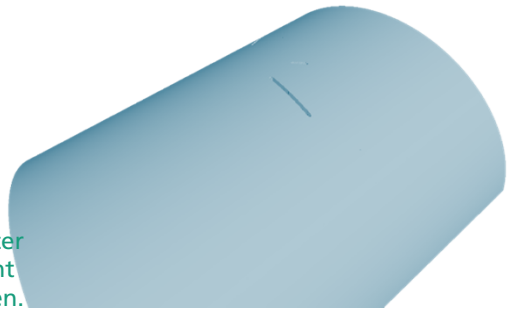
© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Raytracing

Durch Raytracing ist es möglich künstliche Kamerabilder zu generieren.

- Aus den Höhenkarten werden Dreiecksnetze erzeugt,
- auf einen Zylinder projiziert
- und dann durch den Raytracer dargestellt. Kamera und Licht können dabei variiert werden.



© Fraunhofer ITWM

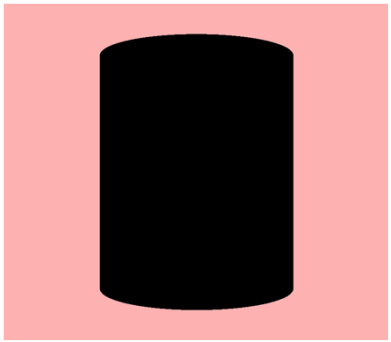
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation

Eigenschaften

- Je nach Beleuchtung und Kamerawinkel verändert sich die Erscheinung von Defekten und Geometrieabweichungen.
- Ist das Rendering physikalisch korrekt, dann sollten verschiedene Aufnahmesituationen auch verschiedene Bildqualitäten erzeugen.

→ Es sollte sich die quantitative Beurteilung (z.B. durch die POD) je nach Winkel des Lichts zur Oberfläche verändern.



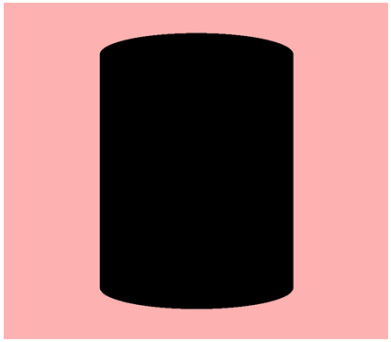
© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation

Ablauf

1. Die Ground-Truth wird berechnet.
2. Diese Daten (Zylinder mit Rissen) unter unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln gerendert.
3. Auf den künstlich erzeugten Bildern werden Standard-Algorithmen zur Defektdetektion ausgeführt.
4. Letztendlich kann dann die POD zur Bestimmung des besten Winkels des Lichts genutzt werden.



© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation von Oberflächendefekten zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit

- Einleitung/Motivation
- Die Simulation von Rissen auf Rohren
- Bestimmung der Abdeckung
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Ausblick und Zusammenfassung

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

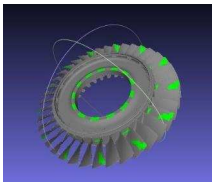
Bestimmung der Abdeckung

Bei der optischen Inspektion von komplexen Geometrien ist die Detektion der Abdeckung unabdingbar.

1. Detektion der Regionen die durch die Kamera(s) inspiziert werden.
2. Detektion der Regionen die **sicher** durch die Algorithmik geprüft werden können.

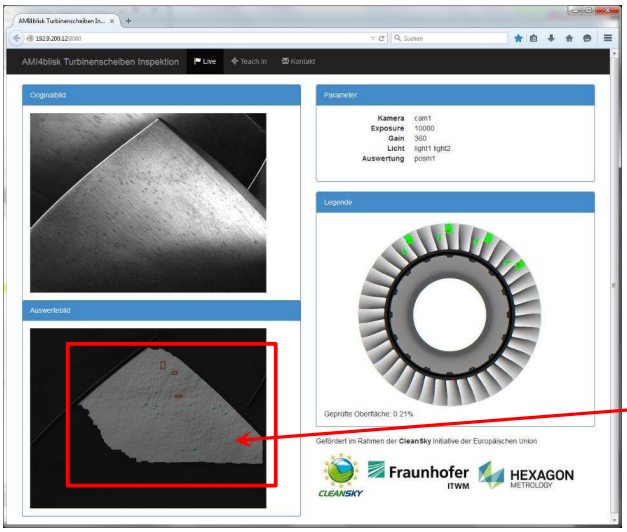
Voraussetzungen

- CAD-Modell des Bauteils vorhanden
- 3D-Koordinaten der Kamera(s) bekannt



Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Bestimmung der Abdeckung



Algorithmus detektiert sicher

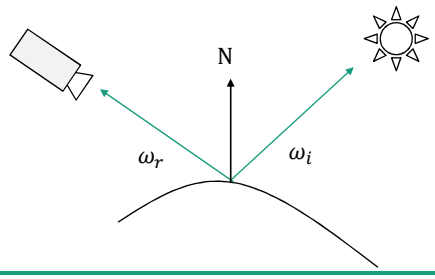
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Bestimmung der Abdeckung

Die optimale Abdeckung ist nicht nur von der Geometrie abhängig sondern auch von den optischen Materialeigenschaften:

Bidirectional Reflection Distribution Functions

$$f_r(\omega_i, \omega_r) = \frac{dL_r(\omega_r)}{dE_i(\omega_i)} = \frac{dL_r(\omega_r)}{L_i(\omega_i)\cos\theta\, d\omega_i}$$



© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Bestimmung der Abdeckung

Die optimale Abdeckung ist nicht nur von der Geometrie abhängig sondern auch von den optischen Materialeigenschaften:

Lokales Modell: Cook-Torrance

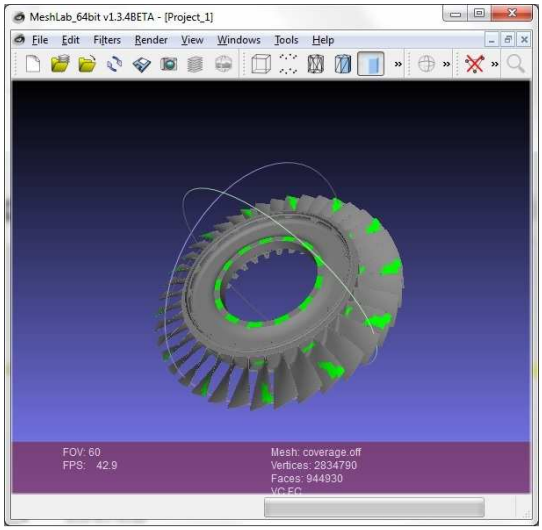
$$k_{\text{spec}} = \frac{DFG}{4(V \cdot N)(N \cdot L)}$$

D Verteilung der Rauhigkeit
F Fresnel-Verteilung
G Beschreibung der Selbstschattierung
V Sichtvektor

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Bestimmung der Abdeckung



© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

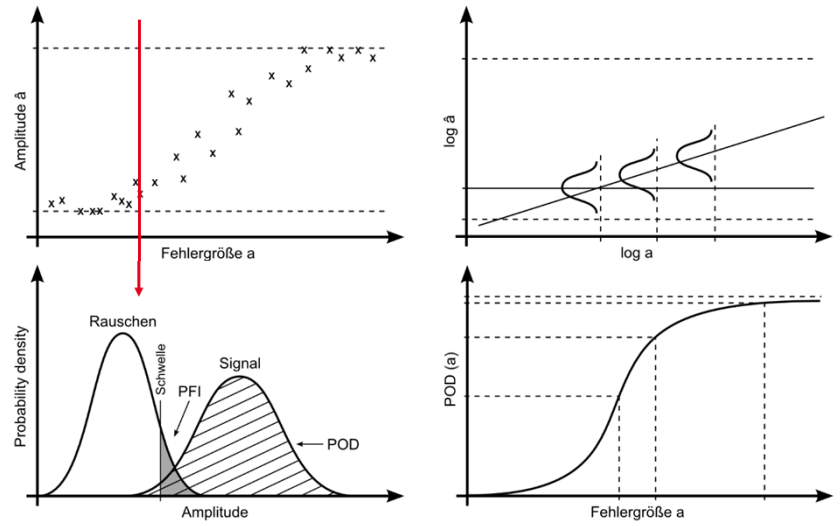
Simulation von Oberflächendefekten zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit

- Einleitung/Motivation
- Die Simulation von Rissen auf Rohren
- Bestimmung der Abdeckung
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Ausblick und Zusammenfassung

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

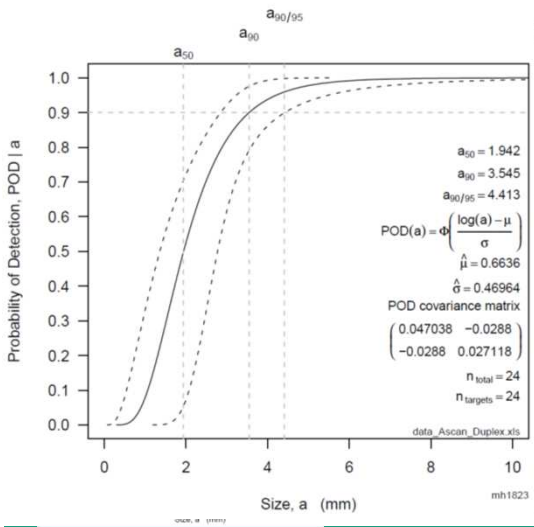
Wie kommt man zu einer POD-Kurve? â-vs-a-Analyse



© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

MIL-HDBK-1823 – Software mh1823



© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

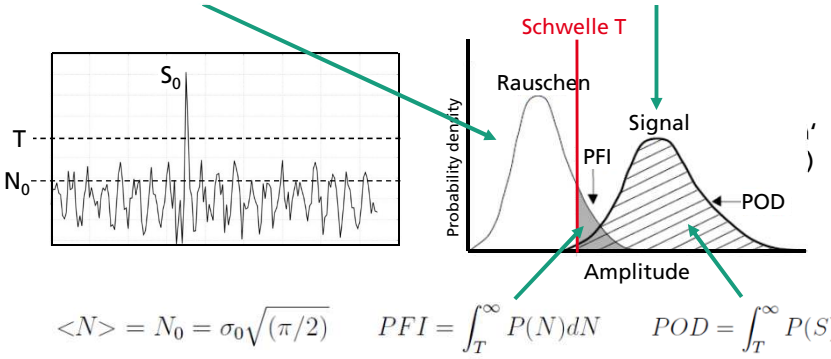
POD-Modell - Wahrscheinlichkeitsverteilungen, POD und PFI

Rauschen: Rayleigh

$$P(N) = \frac{N}{\sigma_0^2} \exp\left[-\frac{N^2}{2\sigma_0^2}\right]$$

Signal: Rice

$$P(S) = \frac{S}{\sigma_0^2} \exp\left[-\frac{(S^2 + S_0^2)}{2\sigma_0^2}\right] I_0\left(\frac{SS_0}{\sigma_0^2}\right)$$



$$<N> = N_0 = \sigma_0\sqrt{(\pi/2)} \qquad PFI = \int_T^\infty P(N)dN \qquad POD = \int_T^\infty P(S)dS$$

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit (POD)

Die POD kann quantitative Aussagen zur Qualität einer optischen Prüfung liefern.

Für die Analyse ist ein Metrik (*die Amplitude*) notwendig die beschreibt wie sicher ein Defekt erkannt wurde.

Hier:

Metrik = $\#Pixel_{Found}$

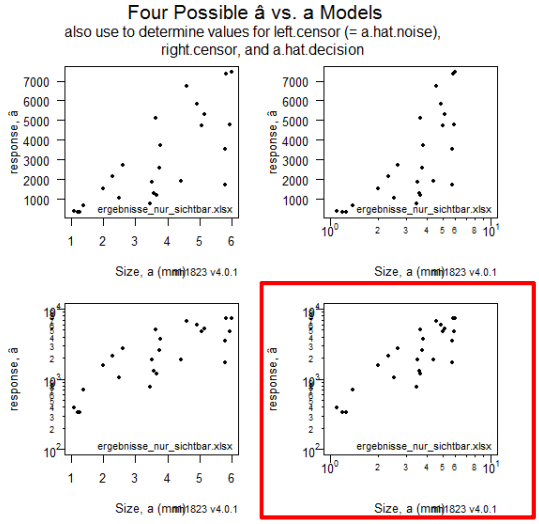
Entspricht dem „normalen“ Verhalten von Bildverarbeitungsalgorithmen, die basierend auf Schwellwerten und Flächen entscheiden.

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit – mh1823

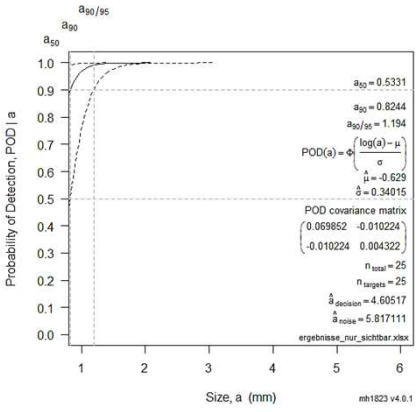
Modellauswahl



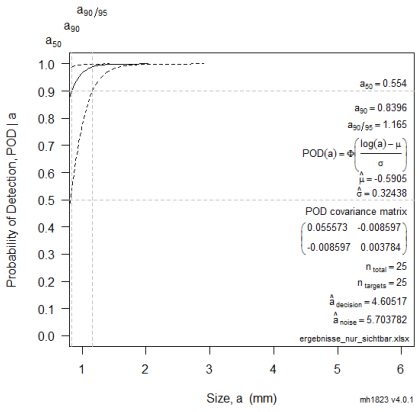
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit – mh1823

Beleuchtung 20 Grad



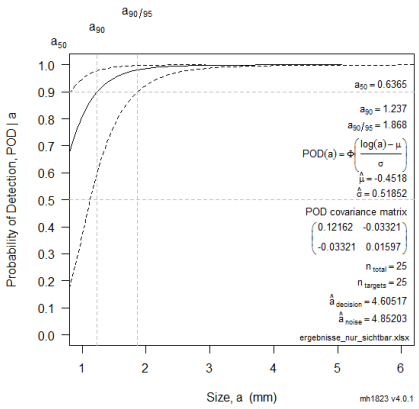
Beleuchtung 40 Grad



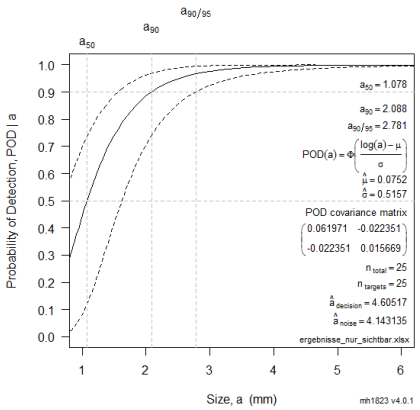
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit – mh1823

Beleuchtung 60 Grad



Beleuchtung 80 Grad

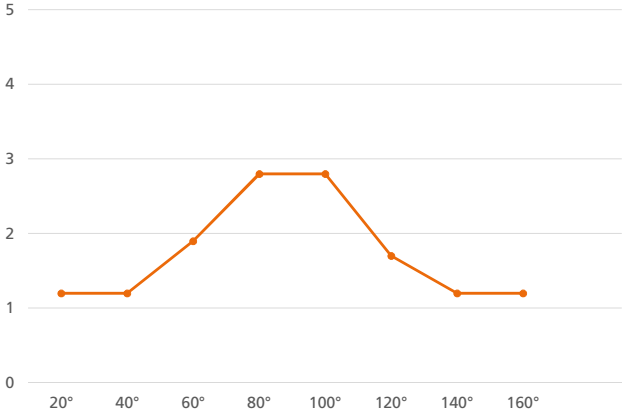


© Fraunhofer ITWM
31

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit – mh1823

Zusammenfassung $A_{90/95}$ Werte

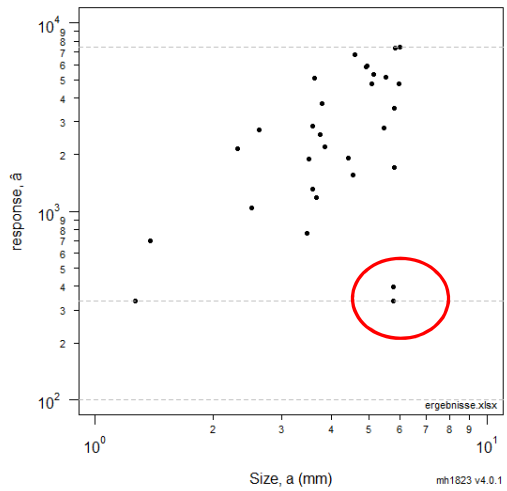


© Fraunhofer ITWM
32

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit – mh1823

POD nicht korrigiert

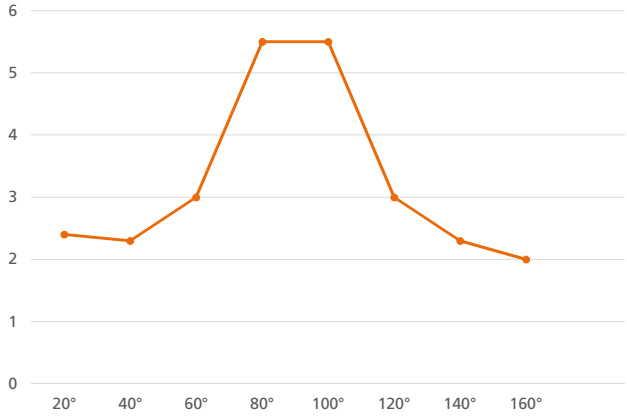


© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit – mh1823

Zusammenfassung $A_{90/95}$ Werte (nicht korrigiert)



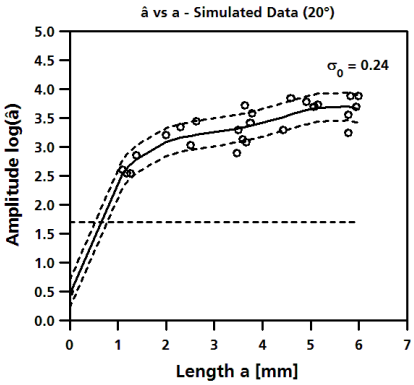
© Fraunhofer ITWM

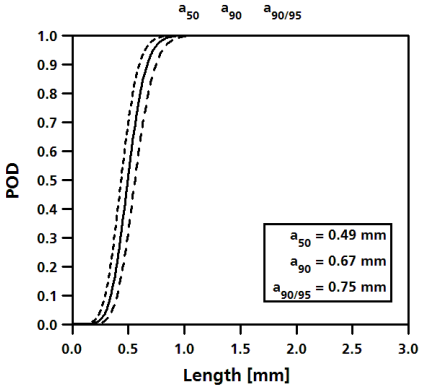
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit - Rice

Beleuchtung 20°

(Log(â) vs Lin(a) Rauschen = log(10), Schwelle = log (50), Varianz σ0)





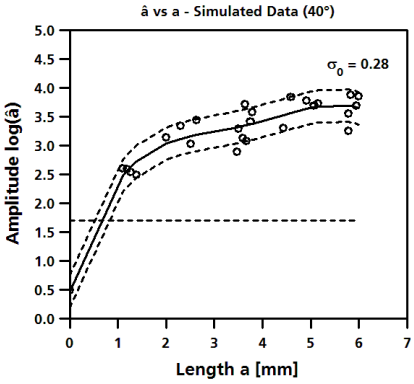
© Fraunhofer ITWM

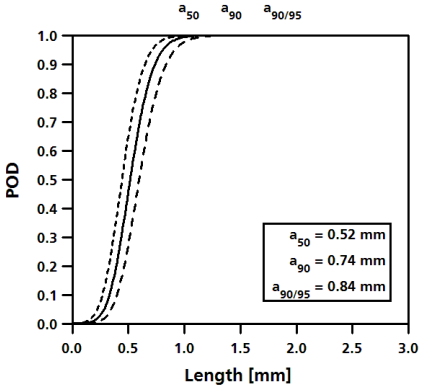
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit - Rice

Beleuchtung 40°

(Log(â) vs Lin(a) Rauschen = log(10), Schwelle = log (50), Varianz σ0)





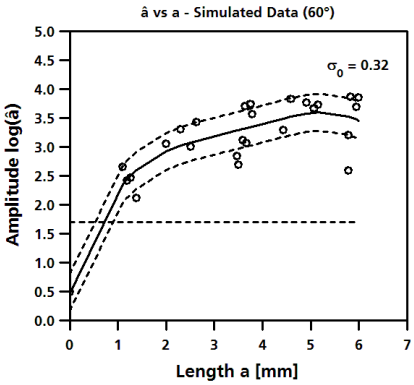
© Fraunhofer ITWM

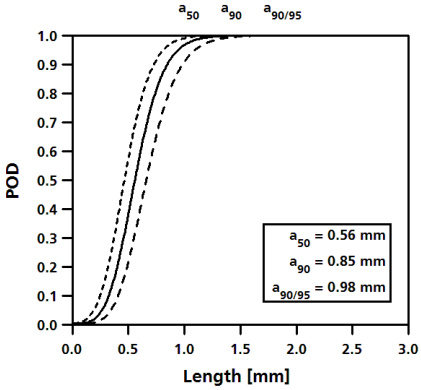
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit - Rice

Beleuchtung 60°

(Log(â) vs Lin(a) Rauschen = log(10), Schwelle = log (50), Varianz σ0)





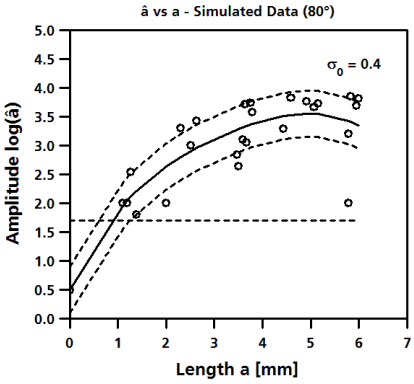
© Fraunhofer ITWM

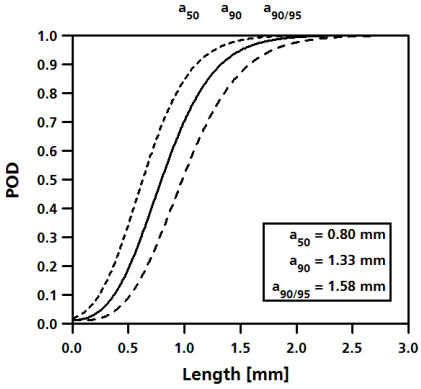
Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit - Rice

Beleuchtung 80°

(Log(â) vs Lin(a) Rauschen = log(10), Schwelle = log (50), Varianz σ0)



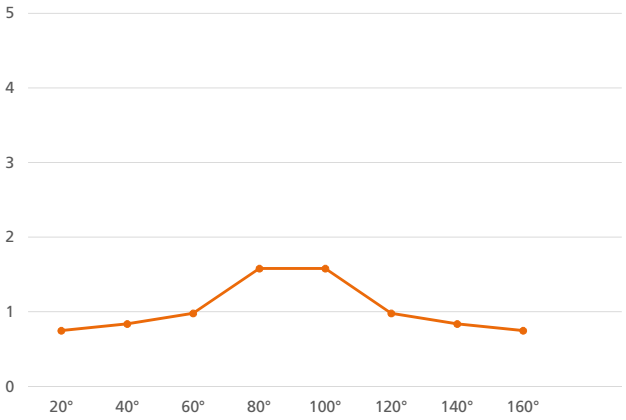


© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Auffindwahrscheinlichkeit – Rice

Zusammenfassung $A_{90/95}$ Werte



Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Simulation von Oberflächendefekten zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit

- Einleitung/Motivation
- Die Simulation von Rissen auf Rohren
- Bestimmung der Abdeckung
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Ausblick und Zusammenfassung

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Zusammenfassung

- Die Ergebnisse des Simulation entsprechen den Erfahrungen aus der Praxis.
- Die POD ist zur Bestimmung des optimalen Aufnahmesetups (Kamera/Beleuchtung) nur im Zusammenhang mit der Abdeckungsanalyse sinnvoll.
- Die Rice-Verteilung erscheint für die optische Inspektion sinnvoller als die mhl1823-POD.
- Für die optische Inspektion von komplexen Prüfobjekten ist eine automatische Bahnplanung unerlässlich.
- Die Bestimmung der BRDF für die jeweiligen Materialien ist notwendig.

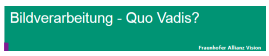
© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM

Ausblick

»Die Herausforderung besteht darin, virtuelle Bilder mit einem Realitätsgrad zu erzeugen, der zur Bildverarbeitung geeignet ist« Quo-Vadis Bildverarbeitung

Fraunhofer-Allianz Vision



- Verknüpfung von Abdeckungsanalyse mit POD
- Die Simulation von verschiedenen Defekttypen
- Projektionen auf realistische/komplexe Prüfobjekte
- Bestimmung der BRDF für typische Materialien (Metall/Kunststoff etc.)
- Vollständige Simulation des Inspektionssetups

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer IZFP Fraunhofer ITWM