
Auslegung und Performance von berührungslosen Verfahren zur Inline-Oberflächeninspektion

Dach-Jahrestagung 2012, Graz
17. – 19. September 2012

Fraunhofer Institut
für Techno- und Wirtschaftsmathematik

Dr. Martin Spies POD-Analyse

Kai Taeubner Bildaufnahme und optischer Aufbau

Dipl. Inf. Markus Rauhut Bildanalyse und Datenauswertung

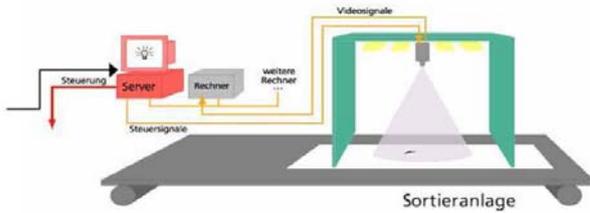
Auslegung und Performance von berührungslosen Verfahren zur Inline-Oberflächeninspektion

■ Einleitung/Motivation

- Warum ist Oberflächeninspektion so schwierig?
- Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Versuch 1: Bestimmung der optimalen Beleuchtung
- Versuch 2: Welche Algorithmik ist besser?
- Ausblick und Zusammenfassung

Einleitung/Motivation

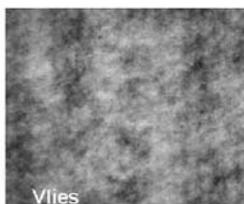
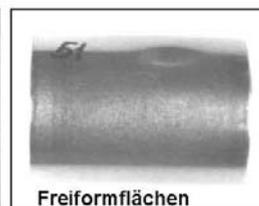
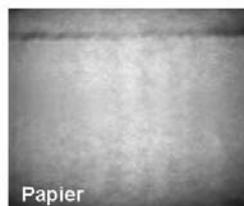
Modular Algorithms for Surface Control - MASC



Einleitung/Motivation Unterschiedliche Materialien

Zum Beispiel:

- Metall,
- Kunststoff,
- Textilien,
- Papier,
- Holz,
- Vliesstoffe,
- Gummi,
- ...



Einleitung/Motivation Gussteile - Kombination von Vermessung und Oberflächeninspektion



Fehlertypen:

- Kaltlauf
- Schlagstellen
- Formfehler
- Lunker
- ...



Einleitung/Motivation

Was ist ein optisches Oberflächeninspektionssystem?

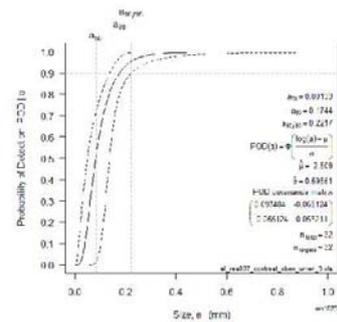
- Optische Prüfung mit Kameras oder Laserscanning-Verfahren
- berührungs- und zerstörungsfreie Prüfmethode
- Oberflächenprüfung der sichtbaren Hülle eines Produkts
- Häufig inline in der Produktion
- Vollautomatische Prüfung
- 100%-Kontrolle zur Qualitätssicherung



Motivation

Kann die Qualität eines Inspektionssystems geschätzt werden?

Bzw. kann die Qualität eines **Algorithmus** oder einer **Beleuchtung** geschätzt werden?



Berechnung der Detektionswahrscheinlichkeit

- Vollautomatische Berechnung
- Quantitative Werte
- Statistische Auswertung



POD-Analyse gemäß MIL-HDBK-1823

Auslegung und Performance von berührungslosen Verfahren zur Inline-Oberflächeninspektion

- Einleitung/Motivation
- Warum ist Oberflächeninspektion so schwierig?
- Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Versuch 1: Bestimmung der optimalen Beleuchtung
- Versuch 2: Welche Algorithmik ist besser?
- Ausblick und Zusammenfassung

Warum ist Oberflächeninspektion so schwierig?

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.
- Ist der Aufbau der Sensorik perfekt kann es trotzdem noch zu Fehldetektionen kommen (falsch positive). Aufwändige Algorithmen kann dieses Problem lösen.

Werden alle Defekte unter den gegebenen Randbedingungen gefunden?

Auslegung und Performance von berührungslosen Verfahren zur Inline-Oberflächeninspektion

- Einleitung/Motivation
- Warum ist Oberflächeninspektion so schwierig?
- Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Versuch 1: Bestimmung der optimalen Beleuchtung
- Versuch 2: Welche Algorithmen ist besser?
- Ausblick und Zusammenfassung

Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes

Wie läuft ein typisches Oberflächeninspektions-Projekt ab?

1. Der Kunde liefert Probeteile
2. Die Machbarkeitsstudie
 - Einfache Aufnahmen im Labor
 - Einfache Algorithmen
 - Prinzipielle Aussage: machbar/nicht machbar

Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes

Wie läuft ein typisches Oberflächeninspektions-Projekt ab?

1. Der Kunde liefert Probeteile
2. Die Machbarkeitsstudie
3. Vorstudie
 - Konzept für Beleuchtung und Kameratechnik
 - Aufwandsabschätzung
 - Erstellung eines Fehlerkatalogs
 - Projektplan & Kosten

Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes

Wie läuft ein typisches Oberflächeninspektions-Projekt ab?

1. Der Kunde liefert Probeteile
2. Die Machbarkeitsstudie
3. Vorstudie
4. Entwicklung
 - Installation von Kamertechnik/Beleuchtung/Aktorik
 - Implementierung der Algorithmen und Systemsoftware

Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes

Wie läuft ein typisches Oberflächeninspektions-Projekt ab?

1. Der Kunde liefert Probeteile
2. Die Machbarkeitsstudie
3. Angebot Vorstudie
4. Entwicklung
5. Prozeßbegleitende Optimierung
 - Anpassung der Fehlerauswertung (niO/I0)
 - Feintuning in der Produktion

Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes

Wie läuft ein typisches Oberflächeninspektions-Projekt ab?

- | | |
|----------------------------------|-------------|
| 1. Der Kunde liefert Probeteile | Akquise |
| 2. Die Machbarkeitsstudie | |
| 3. Vorstudie | Entwicklung |
| 4. Entwicklung | |
| 5. Prozeßbegleitende Optimierung | |

Unser Ziel:

Risikominimierung so früh wie möglich!

Finden wir alle Defekte unter den gegebenen Randbedingungen?

➡ POD-Analyse

Auslegung und Performance von berührungslosen Verfahren zur Inline-Oberflächeninspektion

- Einleitung/Motivation
- Warum ist Oberflächeninspektion so schwierig?
- Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Versuch 1: Bestimmung der optimalen Beleuchtung
- Versuch 2: Welche Algorithmik ist besser?
- Ausblick und Zusammenfassung

Auffindwahrscheinlichkeit (POD)¹

- POD: Wahrscheinlichkeit, einen Fehler zu detektieren
- Funktion der Fehlergröße a
- Maximum-Likelihood Schätzer
- POD-Kurve mit Konfidenzintervallen beschreibt Fehlergröße, die mit einer „vernünftigen“ Wahrscheinlichkeit detektiert werden kann
- An $a_{90/95}$ schneidet die untere 95% Konfidenzgrenze das 90% POD-Niveau
- $a_{90/95}$ ist Fehlergröße, die sicher zu detektieren ist
- **\hat{a} versus a -Analyse:**
ein Fehler der Größe a erzeugt ein Signal der Amplitude (Metrik) \hat{a} .

¹ Department of Defense Handbook Draft 2007. Nondestructive Evaluation System Reliability Assessment, MIL-HDBK-1823, Draft 28 February 2007

Auffindwahrscheinlichkeit (POD)

Für die \hat{a} vs a bzw. $\log(\hat{a})$ vs $\log(a)$ Analyse ist ein Metrik notwendig die beschreibt wie sicher ein Defekt erkannt wurde.

Leider ist es aufgrund des unterschiedlichen Erscheinungsbildes von Defekten nicht möglich eine einheitliche Metrik zu definieren.

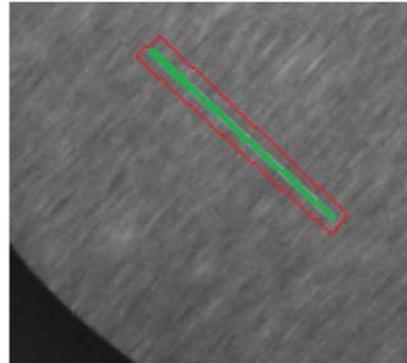
Es folgen Metriken für:

- Kratzer, Risse und Bohrungen
- Texturen
- Oberflächenrauheiten

Auffindwahrscheinlichkeit (POD) Metrik für Kratzer, Risse und Bohrungen

Der Kontrast als Basis für a

- Mittlerer Grauwert des Defektes
 1. Defekt labeln L_D
 2. Mittelwert : $Avg_D = \frac{1}{N} \sum_1^N L_D(x, y)$
- Mittlerer Grauwert der Umgebung
 1. 8er-Nachbarschaft
 2. Umgebung um L_D
 3. Mittelwert Avg_E berechnen



Defekt und Umgebung

$$d = |Avg_D - Avg_E| \quad a = d * F$$

Auffindwahrscheinlichkeit (POD) Metrik für Texturfehler

Variante 1: Sliding Window und quadratischer Abstand
Gegeben: Solltextur T

$$Dist_i = \sqrt{\sum_{x,y} (T(x, y) - I(x, y))^2} \quad d = \text{Min}(Dist_i) \forall i \in N$$

- $a = d * F$
- Einfaches Verfahren
- Keine Invarianz zu affinen Transformationen (Rotation, Skalierung etc.)
- Abhängig vom Kontrast

Auffindwahrscheinlichkeit (POD) Metrik für Texturfehler

Variante 2: Feature basiertes Matching

Gegeben: Solltextur T

1. Finde *Interest Points* mittels Detektor (Wiederholbarkeit)
2. Berechne *Deskriptor* je Interest Point (Beschreibung der Nachbarschaft)
3. Matche die Deskriptoren von Template und Bild durch Abstandsmaß d

- $a = d * F$
- Es gibt verschiedenste Deskriptoren: SIFT, ASIFT, SURF
- POD ändert sich je nach Abstandsmaß & Deskriptor
- Je nach Deskriptor: Invarianz zu Transformationen (Rotation, Skalierung etc.) und Beleuchtungsschwankungen

Auffindwahrscheinlichkeit (POD) Metrik für Oberflächenrauheiten

Variante 1: Rauheit in 2D

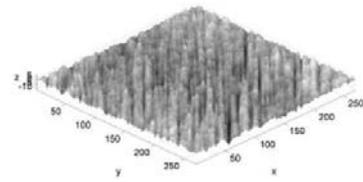
Gegeben: Sollvarianz Var_s

1. Berechne Varianz Var_i für Bild I
2. Berechne Abstand $d = |Var_s - Var_i|$

$$Var(I) = \sum_{x,y \in I} (I(x,y) - \mu)^2$$

- $a = d * F$
- Varianz als Approximation für die Rauheit
- Setzt entsprechende Beleuchtung voraus
- Funktioniert nur für hohe bzw. geringe Rauheit

Auffindwahrscheinlichkeit (POD) Metrik für Oberflächenrauheiten



Variante 2: Rauheit in 3D

Berechnung z.B. durch Photometric Stereo

Gegeben: Soll-Amplitudengrößen R_z oder S_z oder räumliche Kenngrößen(AKF)¹

Berechnung der Distanz d zwischen Soll und Ist-Größen

- $a = d * F$
- Aufwändige Aufnahmetechnik
- In 3D sehr genau
- POD ändert sich je nachdem welche Größen verwendet werden

¹ Autokorrelation gemäß ISO 25178

Auslegung und Performance von berührungslosen Verfahren zur Inline-Oberflächeninspektion

- Einleitung/Motivation
- Warum ist Oberflächeninspektion so schwierig?
- Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Versuch 1: Bestimmung der optimalen Beleuchtung
- Versuch 2: Welche Algorithmik ist besser?
- Ausblick und Zusammenfassung

Versuch 1: Bestimmung der optimalen Beleuchtung

1. Verschiedene Beleuchtungen
2. Verschiedene Kameraauflösungen
3. Quantitative Werte für noch sicher zu erkennende Defekte
4. Nuten -> Risse/Kratzer
5. Bohrungen -> Löcher/Schlagstellen

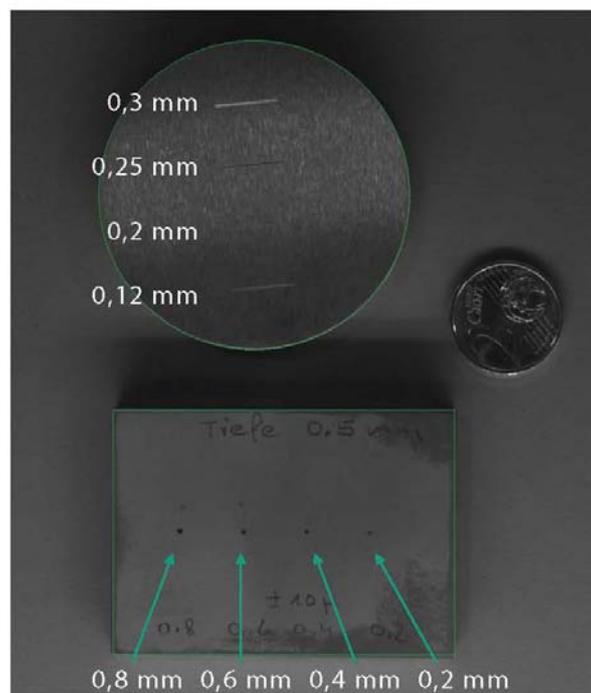
Prüfkörper

Nutendetektion

- Trägermaterial Messing
- Durchmesser 50mm
- Fa. SCHODER GmbH

Bohrungsdetektion

- Trägermaterial Titan-6-4
- Maße 55x40mm
- MTU Aero Engines, München



Aufnahmesequenz

Vier Aufnahmen mit Seitenlicht

- Planistar Lichthaube
- rote LEDs

Eine Aufnahme mit Auflicht

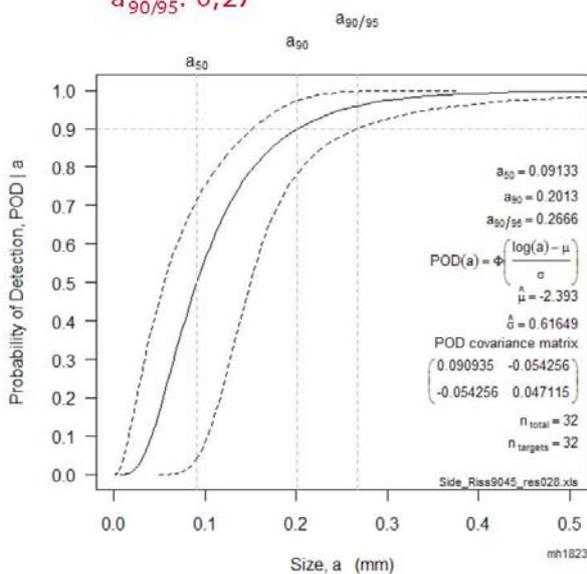
- Volpi ILP ACIS koaxiales Auflicht
- weiße LEDs



POD-Kurve – Seitenlicht – Auflösung 0.28 mm

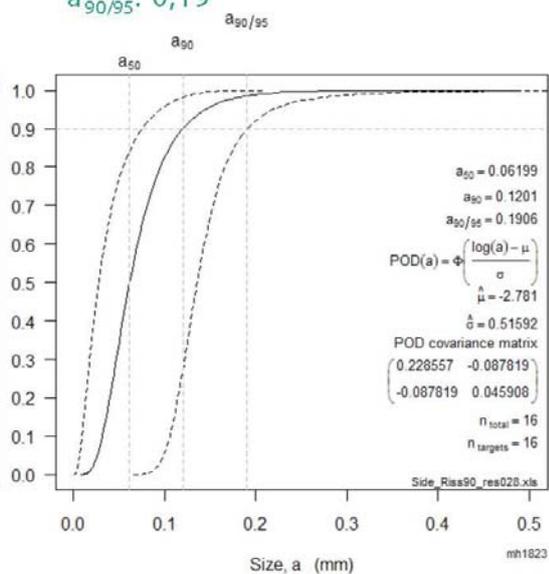
Nuten 45°/90°

$a_{90/95}$: 0,27



Nuten 90°

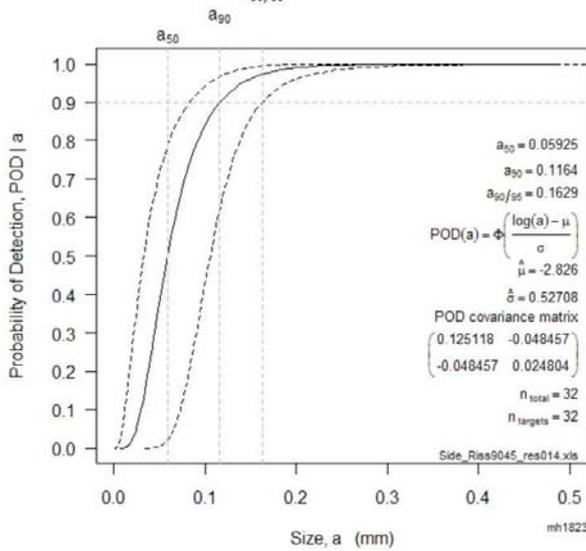
$a_{90/95}$: 0,19



POD-Kurve – Seitenlicht – Auflösung 0.14 mm

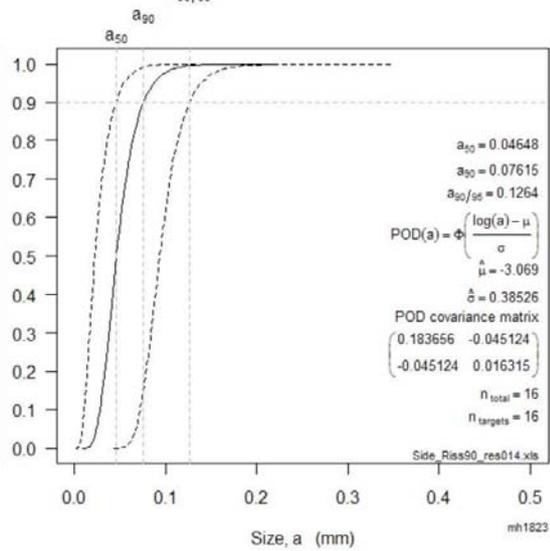
Nuten 45°/90°

$a_{90/95}: 0,16$



Nuten 90°

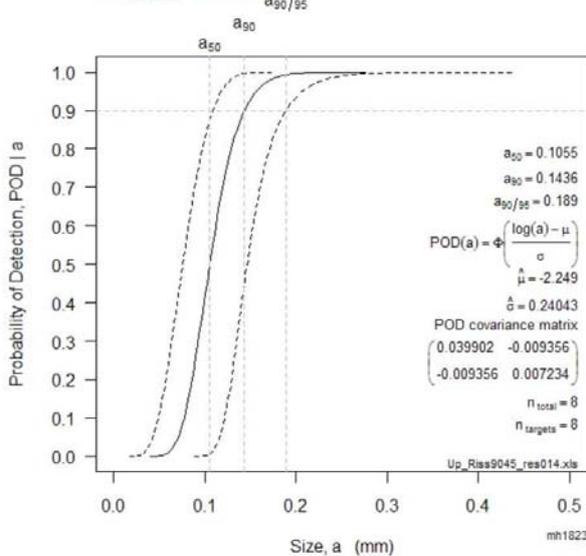
$a_{90/95}: 0,12$



POD-Kurve – Nuten 45°/90° – Auflösung 0.14 mm

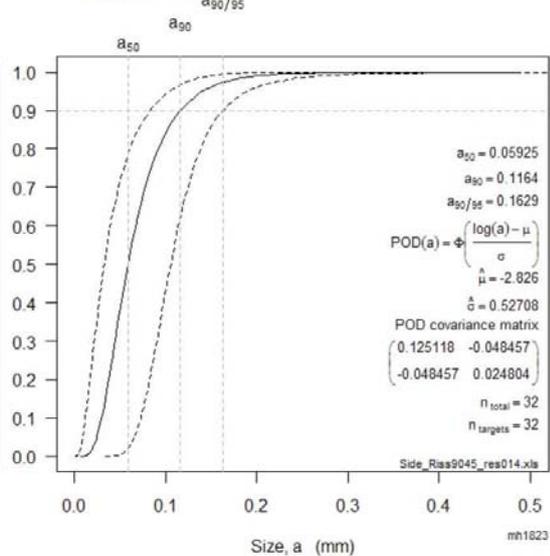
Auflicht

$a_{90/95}: 0,18$



Seitenlicht

$a_{90/95}: 0,16$



Auslegung und Performance von berührungslosen Verfahren zur Inline-Oberflächeninspektion

- Einleitung/Motivation
- Warum ist Oberflächeninspektion so schwierig?
- Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Versuch 1: Bestimmung der optimalen Beleuchtung
- **Versuch 2: Welche Algorithmik ist besser?**
- Ausblick und Zusammenfassung

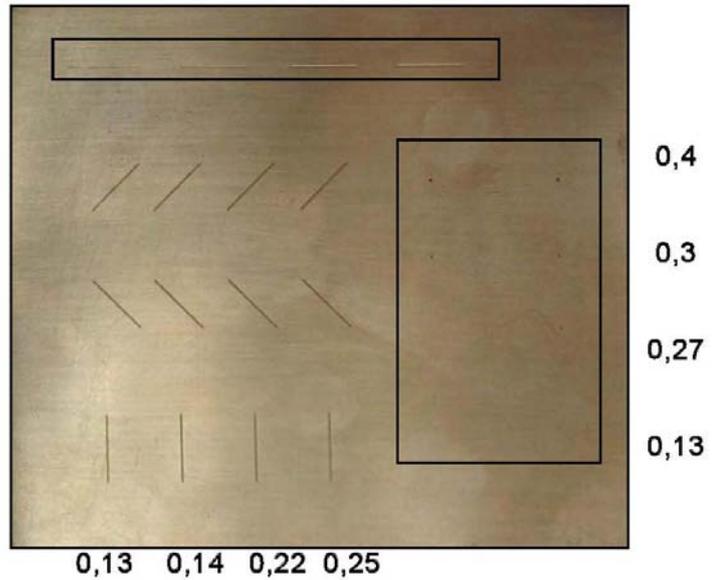
Versuch 2: Welche Algorithmik ist besser?

1. Zwei Verfahren
2. Verschiedene Kameraauflösungen
3. Quantitative Werte für noch sicher zu erkennende Defekte
4. Nuten -> Risse/Kratzer
5. Bohrungen -> Löcher/Schlagstellen

Prüfkörper

Nuten und Bohrungen

- Trägermaterial Messing
- Maße 85x75mm
- Fa. SCHODER GmbH
- 16 Nuten
- 8 Bohrungen



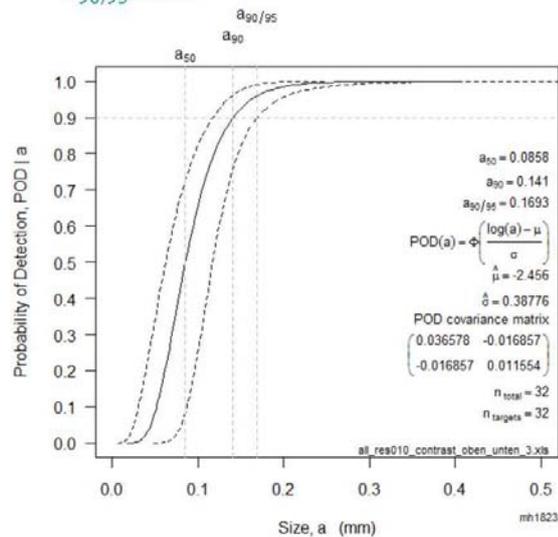
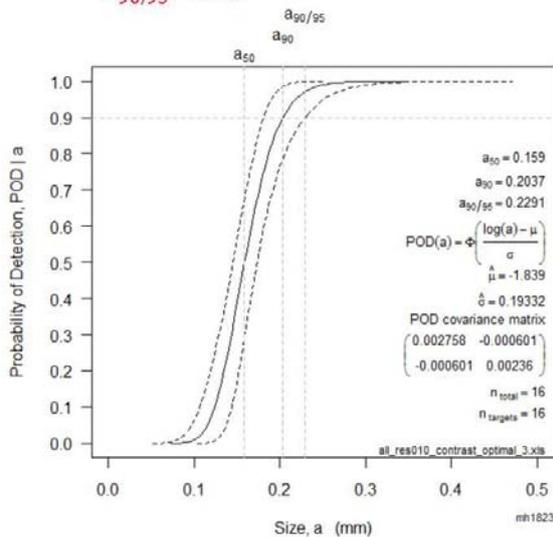
POD-Kurve –Nuten – Auflösung 0.1 mm

Variante 1: Verrechnung

Variante 2: Zwei Algorithmen

$a_{90/95}$: 0,22

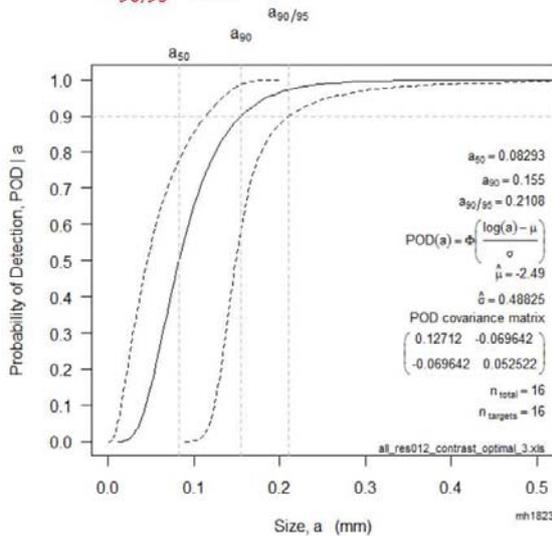
$a_{90/95}$: 0,16



POD-Kurve –Nuten – Auflösung 0.12 mm

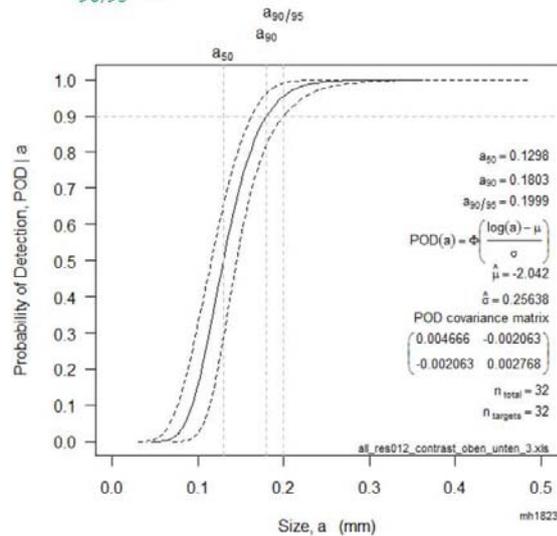
Variante 1: Verechnung

$a_{90/95}$: 0,21



Variante 2: Zwei Algorithmen

$a_{90/95}$: 0,19



Auslegung und Performance von berührungslosen Verfahren zur Inline-Oberflächeninspektion

- Einleitung/Motivation
- Warum ist Oberflächeninspektion so schwierig?
- Ablauf eines typischen Oberflächeninspektions-Projektes
- Auffindwahrscheinlichkeit (POD)
- Versuch 1: Bestimmung der optimalen Beleuchtung
- Versuch 2: Welche Algorithmik ist besser?
- Ausblick und Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Die POD-Analyse ist ein gutes Werkzeug zur Evaluierung von
 - Bildverarbeitungsalgorithmen
 - und Beleuchtungskonfigurationen
- Die POD-Analyse liefert quantitative, statistisch abgesicherte Werte zur Detektionswahrscheinlichkeit
- POD für optische Verfahren ist abhängig von Aufnahmetechnik & Algorithmik (→ Metriken)
- Erweiterung der POD-Analyse auf andere Defekttypen

Zusammenfassung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt: markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de