

Automatisierung der technischen Endoskopie mit Hilfe von Methoden der digitalen Bildverarbeitung

Klaus SPINNLER¹, Tobias BERGEN², Thomas WITTENBERG²
{klaus.spinnler, tobias.bergen, thomas.wittenberg}@iis.fraunhofer.de
¹ Fraunhofer Entwicklungszentrum Röntgentechnik (EZRT), Fürth
² Fraunhofer-Institut Integrierte Schaltungen (IIS), Erlangen

Kurzfassung

Die Sichtprüfung ist eine der am häufigsten angewendeten ZfP-Methoden. Endoskope sind ein wesentliches Hilfsmittel für die Inspektion schwierig zugänglich Oberflächen im Inneren von Prüfobjekten. Die Verwendung von Videotechnik macht bei der Endoskopie die ergonomische Visualisierung des Prüfvorgangs möglich. Der Einsatz digitaler Techniken erlaubt aber weit mehr:

Die Möglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung können zu einer verbesserten Bilddarstellung beitragen. Aus endoskopischen Videosequenzen lassen sich sogenannte Panoramabilder berechnen, die Gesamtansichten von Hohlräumen darstellen und den Verlauf und die Vollständigkeit einer Prüfung auf einen Blick zeigen können.

Durch geeignete Filterung und Maskierung der aufgenommenen Bilder können dabei fehlbelichtete Bildanteile, z. B. unter- oder überbelichtete Stellen, ausgeblendet werden. Dem Benutzer können so Gesamtansichten mit weitgehend homogener Ausleuchtung präsentiert werden. In Bildern fiberoptischer Endoskope kann die überlagerte Wabenstruktur mittels digitaler Bildverarbeitung eliminiert werden und dem Benutzer so eine verbesserte Bilddarstellung präsentiert werden.

Liegt eine derartig aufbereitete, optimierte Ansicht der inneren Oberfläche vor, können nun alle Methoden der digitalen Bildverarbeitung zur automatischen Defekt-erkennung angewendet werden. Diese bestehen in der Regel aus den Verarbeitungsschritten Segmentierung, Merkmalsextraktion, Klassifikation bis hin zur endgültigen Bewertung einer Fehlersituation oder der Oberflächenqualität eines Bauteils.

Zusammen mit der Bewegungsinformation des Endoskops kann auch eine 3D-Rekonstruktion des inspizierten Hohlraumes erfolgen. Solche Berechnungen basieren beispielsweise auf dem Prinzip des „shape-from-motion“. Typische Anwendungsbeispiele sind hydraulische Komponenten aus der Automobilbranche mit Bohrungsdurchmessern im Bereich von 2 – 20 mm.

Mit Hilfe einer automatisierten Förder- und Positioniertechnik kann eine vollständig automatische Oberflächeninspektion von Bohrungen, Hohlräumen in Werkstücken aus Metall, Kunststoffen, etc. erfolgen. Eine 100-prozentige, prozessintegrierte Serienprüfung mit hohen Stückzahlen und kurzen Taktzeiten wird so möglich.

AUTOMATISCHE TECHNISCHE ENDOSKOPIE

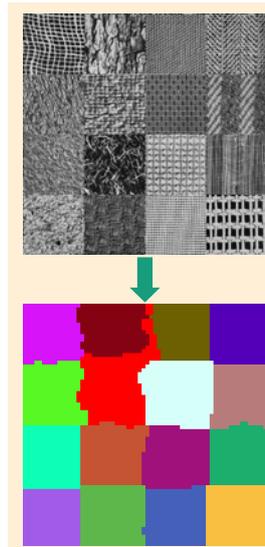
Automatisierung der technischen Endoskopie mit Hilfe von Methoden der digitalen Bildverarbeitung



© Fraunhofer

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

- Einführung
- Bildverarbeitung anhand beispielhafter Verfahren
 - Panoramabilder aus Bildfolgen
 - Hohlräume
 - Bohrungen
 - Artefakt-Reduktion
 - Oberflächenprüfung: Automatische Defekt-Erkennung und -Bewertung
 - 3D-Rekonstruktion



© Fraunhofer

2

 **Fraunhofer**
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Voraussetzung: Videoendoskopie

- Endoskop mit Kamera
 - Optischer Endoskop-Adapter
 - Kamera
 - Kamera-Anschaltung (Digitalisierung)
 - Rechner
- Videoskop
 - Integrierter Systemaufbau
 - Verfügbare Schnittstellen?
- Kapsel-Endoskope



© Fraunhofer

3

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Verfahren und deren Charakterisierung

- Bildverbesserung (»Bild-zu-Bild« Funktionen)
 - Optimierte Bilddarstellung
 - Unterstützung für den Betrachter
- Bildanalyse (»Bild-zu-Daten« Funktionen)
 - Manuelle Systeme, erfordern Bedienung
 - Mess- / Auswertefunktionen
 - Z. B. 2D-, 3D-Messungen
 - Automatische Systeme, »Machine Vision«
 - Automatische Auswertung (und Erfassung)
 - Aufgabenstellungen der industriellen Bildverarbeitung (VDI/VDE-Richtlinien 2628, 2632)
- Bildkomprimierung, -übertragung, -archivierung



© Fraunhofer

4

Fraunhofer
EZRT

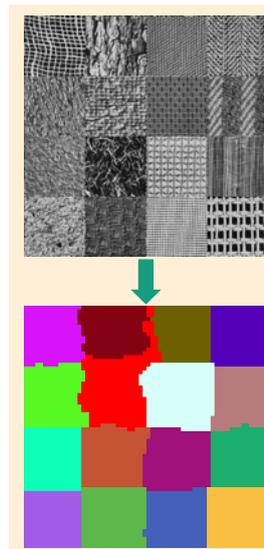
Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Prüfaufgabe: Besondere Herausforderungen

- Bildgewinnung
 - Schwer zugängliche innere Oberflächen
 - Viele Einzelaufnahmen nötig (Bildsequenzen)
 - Anordnung und Intensität der Beleuchtungseinrichtung
 - Lichtschwache und fehlerbehaftete Optiken
- Bildauswertung
 - Texturierte Oberflächen
 - Geringe Bildqualität (Ausleuchtung, Abbildung)
 - Komplexe, Regionen-abhängige Prüfkriterien
- Mechanische Handhabung
 - Prüfsensorik muss in das Prüfobjekt einfahren
 - Bei automatisierten Systemen evtl. hohe Positioniergeschwindigkeit und Beschleunigungen
 - Gefahr von Schwingungen (dünne Endoskope)

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

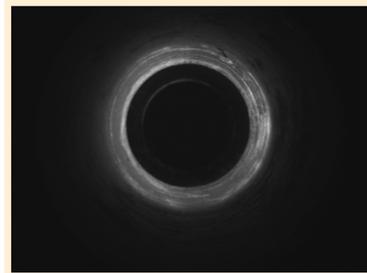
- Einführung
- Bildverarbeitung anhand beispielhafter Verfahren
 - Panoramabilder aus Bildfolgen
 - Hohlräume
 - Bohrungen
 - Artefakt-Reduktion
 - Oberflächenprüfung: Automatische Defekt-Erkennung und -Bewertung
 - 3D-Rekonstruktion



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Hohlraum-Exploration

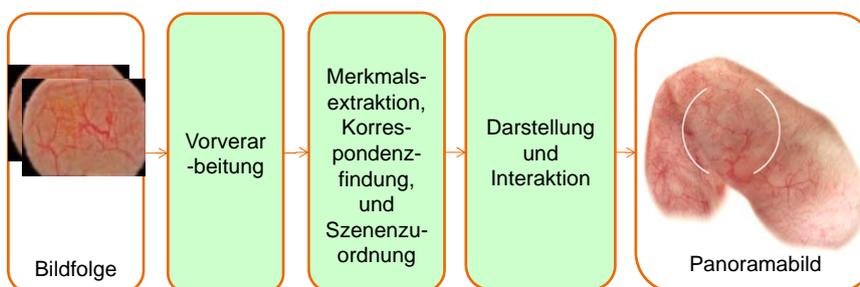
- Beispiele: Pkw-Tank, Bohrung
- Gesamter Hohlraum nicht in einem Bild erfassbar
- Bildausschnitt (zu) klein
- Unzureichende Beleuchtung
- Nur geringer Ausschnitt (Teilfläche) der Bilder auswertbar



Video Kamerafahrt

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

- Panoramabilder aus Bildsequenzen
- »Freihand-geführte« Bewegung des Endoskops
- Echtzeitfähiges Verfahren



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

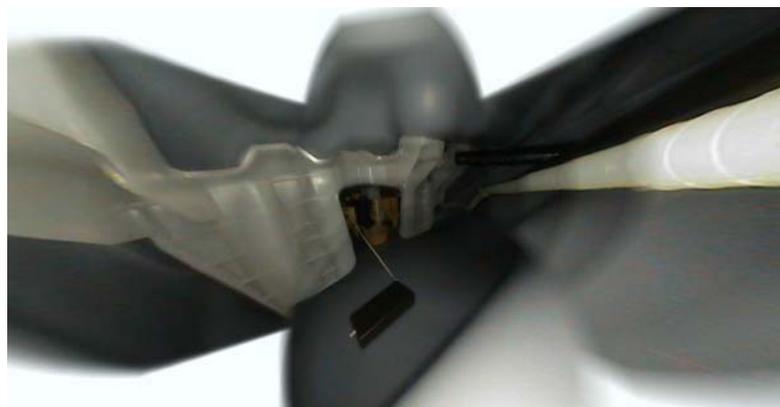
- Exploration von Armaturen und Aggregaten im Tank
- Endoskop-Bewegung zur Erfassung aller interessierenden Details



Video Kamerafahrt

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Resultierendes Panoramabild



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

- Exploration von Armaturen und Aggregaten im Tank
- Endoskop-Bewegung zur Erfassung aller interessierenden Details



Video Kamerafahrt

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

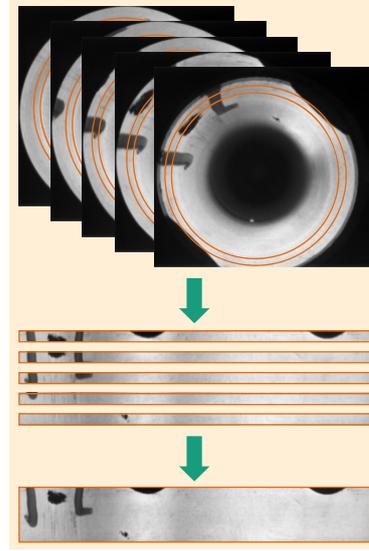
Resultierendes Panoramabild



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

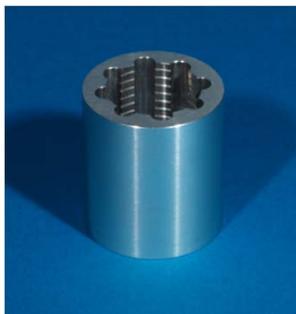
Bohrungen

- Panoramabilder aus Bildsequenzen
- Aufnahme einer Bildfolge
- Extraktion von Ringsegmenten aus einzelnen Bildern
 - Transformation der Ringsegmente
 - Zusammenfügen der Segmente



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Bildaufnahme: Verzerrungen mit Rundum-Blick Endoskop



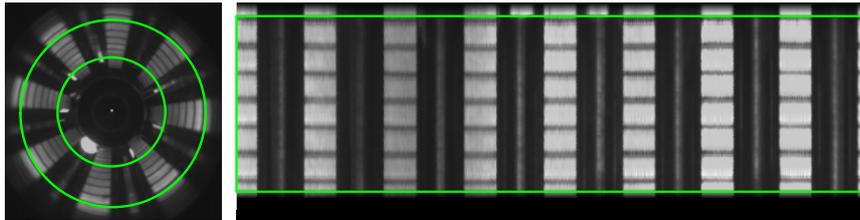
Beispiel: Testkörper mit radial und axial verlaufenden Kanten



Sicht der Kamera mit Panorama-Optik

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Bildaufnahme: Entzerrung (polar zu kartesisch)

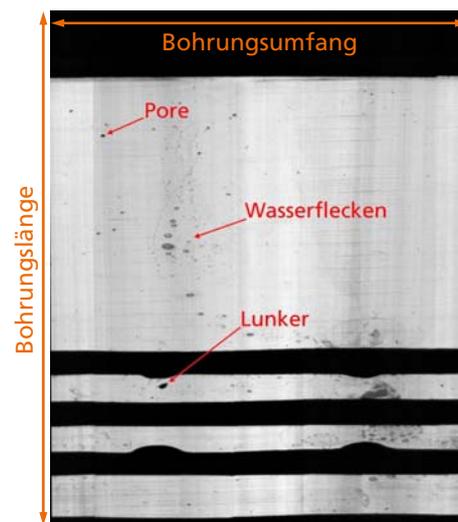


Vom Rundumblick

zur entzerrten Abwicklung

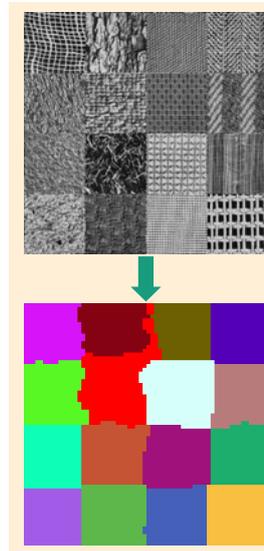
Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

- Aufgenommene Bildfolge
 - Entzerrung
 - Zusammensetzung der Abwicklung
- Komplette Darstellung der abgewickelten Bohrungsoberfläche
- Darstellung von Defekten



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

- Einführung
- Bildverarbeitung anhand beispielhafter Verfahren
 - Panoramabilder aus Bildfolgen
 - Hohlräume
 - Bohrungen
- Artefakt-Reduktion
- Oberflächenprüfung: Automatische Defekt-Erkennung und -Bewertung
- 3D-Rekonstruktion



© Fraunhofer

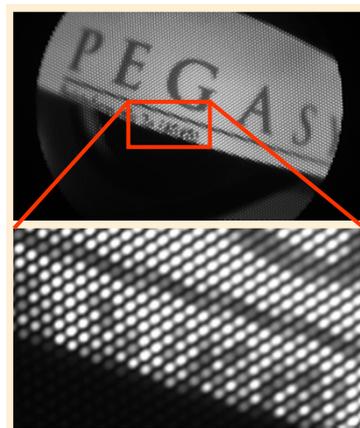
17

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Bildverbesserung durch Artefaktreduktion

- Aufgabe
 - Prüfung »sehr kleiner« Hohlräume mit Durchmessern unter 2 mm
 - Fiberskopische Bildgewinnung
 - Geringe Bildqualität des faseroptischen Bildleiters
 - Überlagerte Wabenstruktur
- Lösungsansatz
 - Bildverbessernde Methoden
 - Eliminierung der Wabenstruktur
 - Echtzeitfähige, automatische Lösung (DeFiberizer)



© Fraunhofer

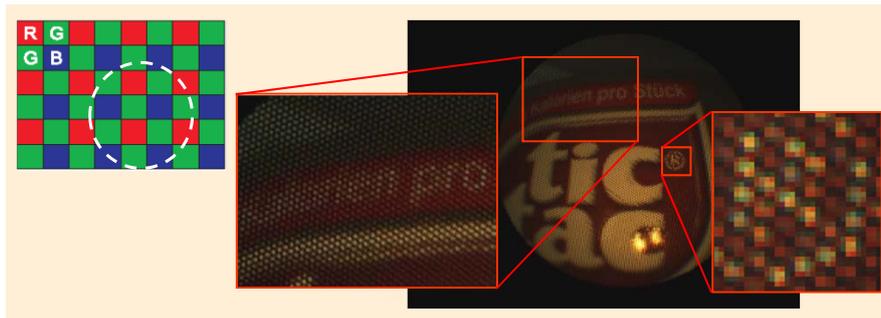
18

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Bildverbesserung durch Artefaktreduktion

- Nur die Zentren der Fasern (Faserkern) übertragen korrekte Intensität
- Beeinträchtigung der Farbdarstellung durch Filterarray bei Farbkameras



© Fraunhofer

19

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Bildverbesserung durch Artefaktreduktion

- Niedrige Auflösung des Bildes aufgrund geringer Anzahl von Fasern
- Detektion von Faserzentren
- Genaue Lokalisation der Faserzentren
- Eliminierung des überlagerten Gitters
- Auswertung von Bildfolgen
- Erhöhung der Auflösung durch »Super-Resolution« Ansätze
- Akkumulation nichtredundanter Informationen bei bewegten fiberskopischen Bildfolgen



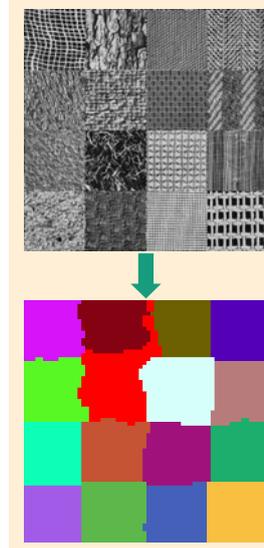
© Fraunhofer

20

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

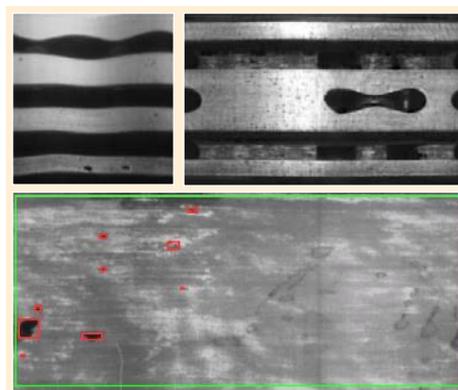
- Einführung
- Bildverarbeitung anhand beispielhafter Verfahren
 - Panoramabilder aus Bildfolgen
 - Hohlräume
 - Bohrungen
 - Artefakt-Reduktion
 - Oberflächenprüfung: Automatische Defekt-Erkennung und -Bewertung
 - 3D-Rekonstruktion



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Bildanalyse: von der Segmentierung zur Bewertung

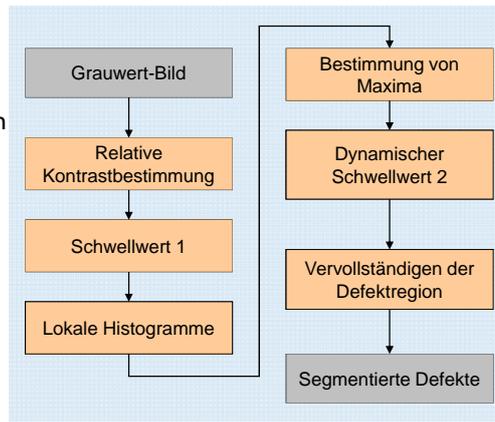
- Auswertungsablauf
 - Bestimmung der Prüfregion
 - Segmentierung
 - Merkmalsberechnung
 - Objekt-Klassifizierung
 - Werkstück-Bewertung
- Auswertungswerkzeuge
 - Bibliothek von ca. 400 Texturmerkmalen
 - Automatische Segmentierungsverfahren



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Bildanalyse: Ein beispielhafter Segmentierungs-Algorithmus

- Deutlich begrenzte Defekte auf strukturiertem Hintergrund
- Defekt-Segmentierung durch geschlossene Konturlinie
- Iteratives, adaptives Verfahren
 - Robust gegen Hintergrund-Variationen
 - Exakte Kontur-Bestimmung



© Fraunhofer

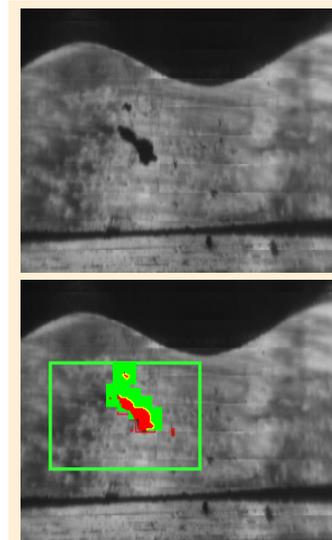
23

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Bildanalyse: Fehlercharakterisierung

- Fehlertypen, z. B.
 - Poren,
 - Lunker,
 - Kratzer,
 - Kantenfehler
- Bewertungskriterien, z. B.
 - Fläche
 - Durchmesser
 - Abstände
 - Anzahl



© Fraunhofer

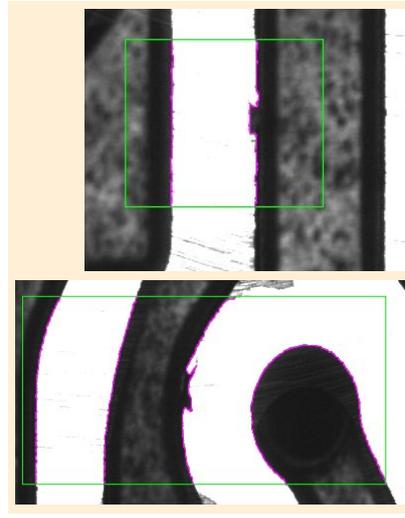
24

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Bildanalyse: Kantenfehler

- Keine geschlossene Konturlinie des Fehlers
- Vergleich aktueller Kantenverlauf mit Referenzkante
- Problem: Bauteiltoleranzen
- Fehlerbestimmung anhand lokaler Krümmung und Referenzkontur
- Robust gegen Variationen des Konturverlaufes

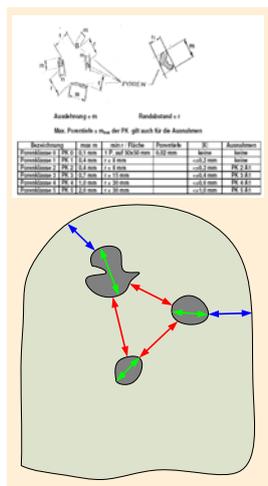


© Fraunhofer

25

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung



- Qualitätsvorschrift
Beispiel: »Porenklassen«
- Frei parametrierbare Kriterien
 - Max. zulässige Ausdehnung
 - Min. zulässiger Randabstand untereinander
 - Min. zulässiger Randabstand zur Bearbeitungsfläche
- Diverse Ausnahmen (Einzelporen, Einzelnester)
- Definition beliebiger Porenklassen

Porenklassen

PK_3

Porenklassendefinition

Porenklasse PK_3

minimale Ausdehnung(mm)

maximale Ausdehnung(mm)

min. zulässiger Porenabstand(mm)

min. zulässiger Randabstand(mm)

Grosse Poren

Erlaubte Anzahl

maximale Ausdehnung(mm)

min. zulässiger Randabstand(mm)

Porennester

Erlaubte Anzahl

max. Anzahl Poren pro Nest

min. zulässiger Randabstand des Porennestes(mm)

neue Porenklasse anlegen...

Porenklasse löschen

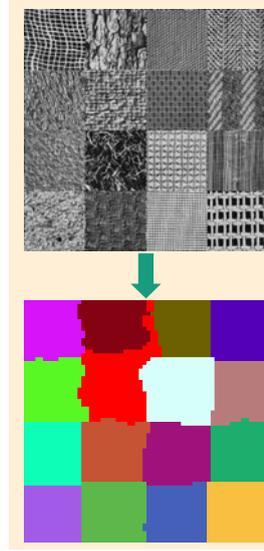
© Fraunhofer

26

Fraunhofer
EZRT

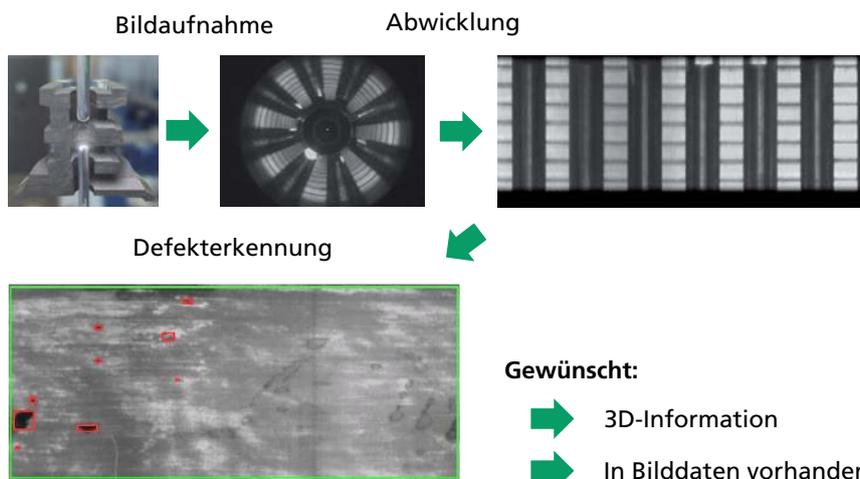
Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

- Einführung
- Bildverarbeitung anhand beispielhafter Verfahren
 - Panoramabilder aus Bildfolgen
 - Hohlräume
 - Bohrungen
 - Artefakt-Reduktion
 - Oberflächenprüfung: Automatische Defekt-Erkennung und -Bewertung
 - 3D-Rekonstruktion



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

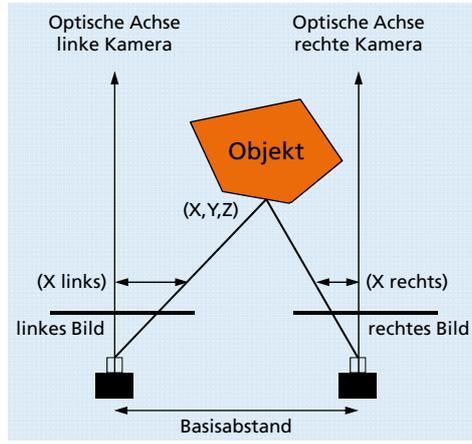
Bisher:



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

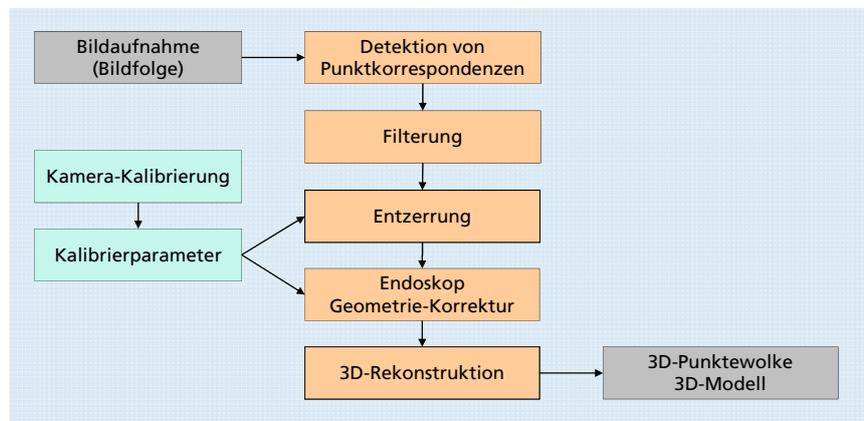
3D-Rekonstruktion nach dem »Shape-from-Motion« Prinzip

- Prinzip des Stereo-Sehens
- »Shape-from-Motion«:
 - Nur eine Kamera
 - Aufnahme 1. Bild
 - Verschieben der Kamera
 - Aufnahme 2. Bild
- In Bohrungen:
Axiale Verschiebung der Kamera



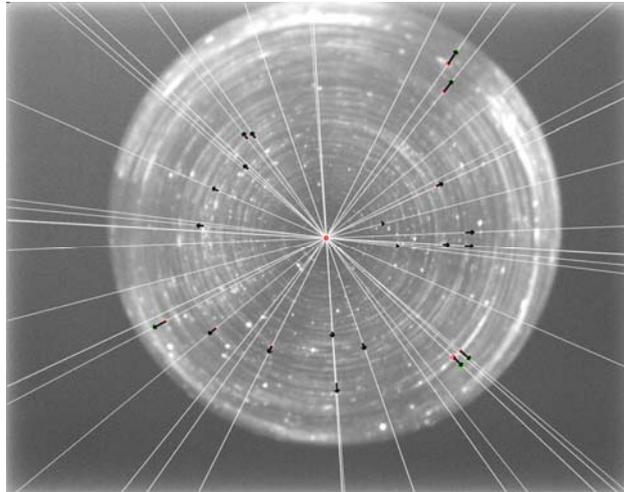
Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

3D-Rekonstruktion nach dem »Shape-from-Motion« Prinzip



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

- Bestimmung von Korrespondenzen
- Filterung



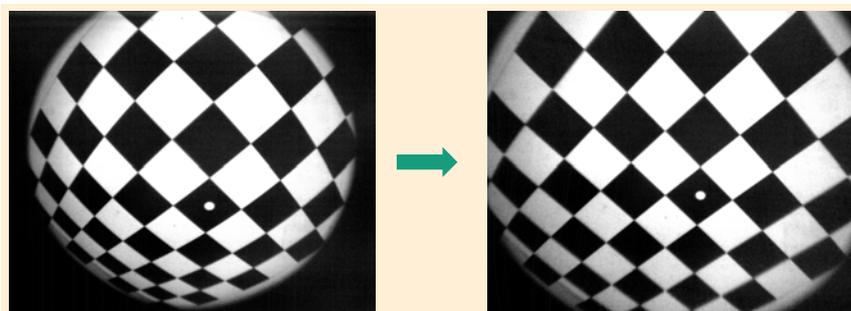
© Fraunhofer

31

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

- Kamera-Kalibrierung
- Entzerrung der aufgenommenen Bilder



© Fraunhofer

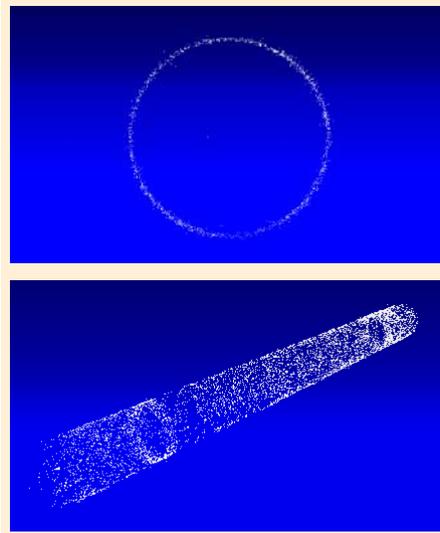
32

Fraunhofer
EZRT

Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Rekonstruktions-Ergebnis

- Punktwolke einer inneren Bohrungsoberfläche
- Bestimmung des Bohrungsdurchmessers



Endoskopie und digitale Bildverarbeitung

Herzlichen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit !

Fragen ?



Klaus Spinnler (klaus.spinnler@iis.fraunhofer.de)
Tobias Bergen (tobias.bergen@iis.fraunhofer.de)
Thomas Wittenberg (thomas.wittenberg@iis.fraunhofer.de)