

Porenerkennung in 2D und 3D CT-Daten in Metallbauteilen mittels Segmentierung

R. Höhne, 8. TUM Expertenforum, München, 08.09.2022



www.microvista.de



robin.hoehne@microvista.de

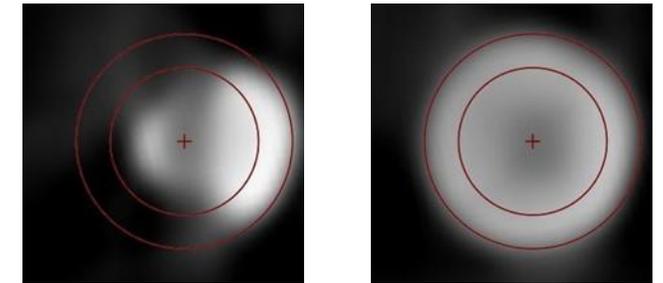


+49 3944 950 33

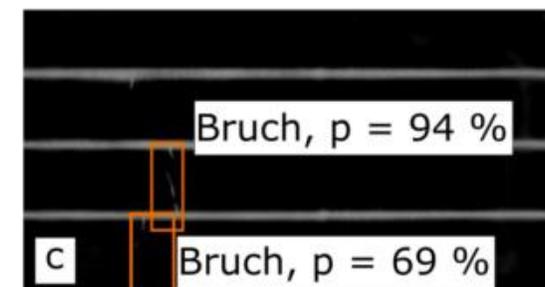
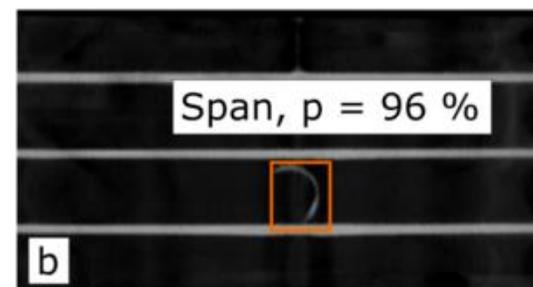
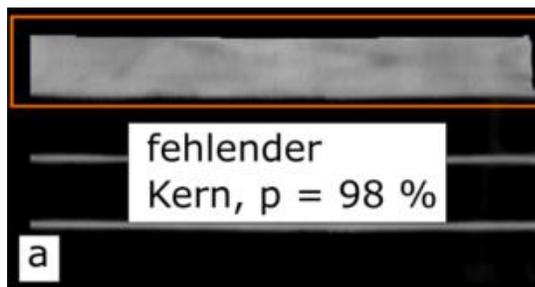


- Spezialist für die effektive CT-Inspektion großer Stückzahlen
- Labor- und Inline-Systeme für luftgekoppelten Ultraschall

- Steigender Bedarf zur Inspektion der Produktqualität erkennbar
- Geschwindigkeit des Prüfprozesses hat wesentlichen Einfluss auf Inspektionskosten, insbesondere bei großen Stückzahlen
- Einsatz von KI kann zur Kostenreduktion bei der Auswertung beitragen
- KI als Werkzeug, eingebunden in Softwarepakete für Teilaufgaben



Beispiel: IO/ NIO Klassifizierung von Lötstellen



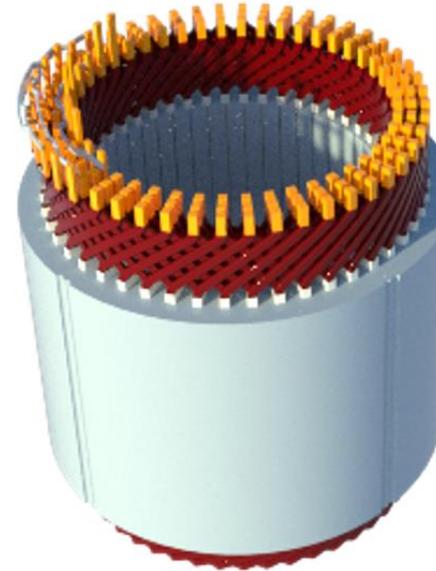
Beispiel: Detektion von Fehlstellen in Kühlkanälen

Zielstellung

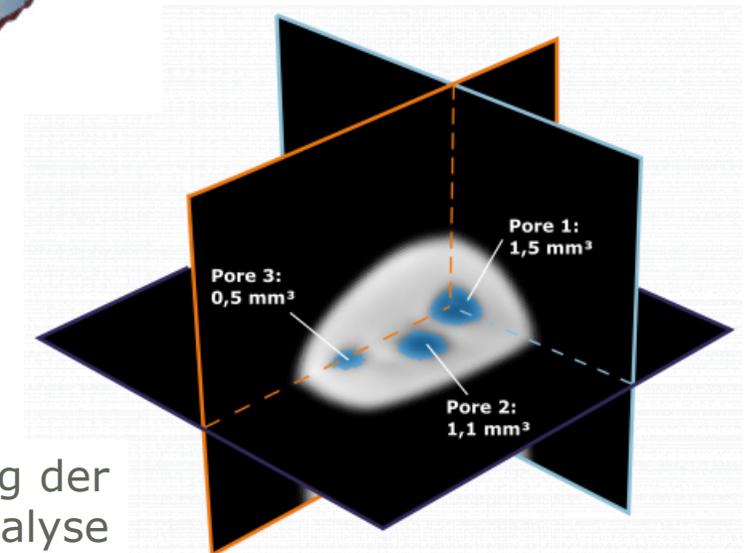
Analyse von Hairpin Statoren

- 3D-Quantifizierung von Poren in Hairpin Verschweißungen
 - Einzelporenvolumen
 - Größte Einzelpore
 - Anzahl Einzelporen
 - Gesamtporenvolumen
- Visualisierung und Identifizierung von Poren
- Inspektion von 40 Statoren am Tag

- Kundenforderung: Angabe und Einhaltung der Messunsicherheit
 - Erstellung eines Referenzdatensatzes
 - Erzeugung von „Masterstatoren“
 - Aufwändiger Prozess für Qualitätsnachweis und Vertrauensbildung in KI



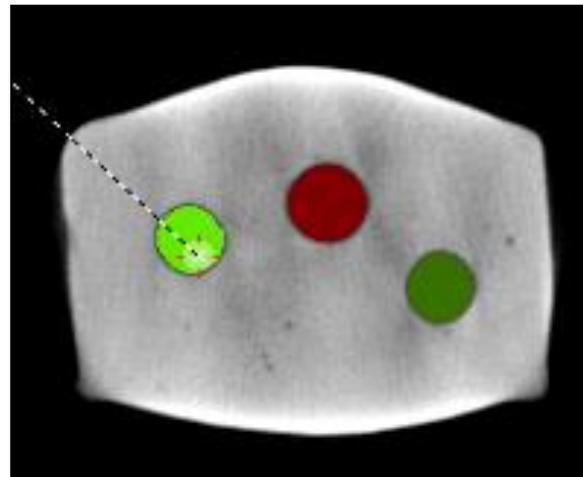
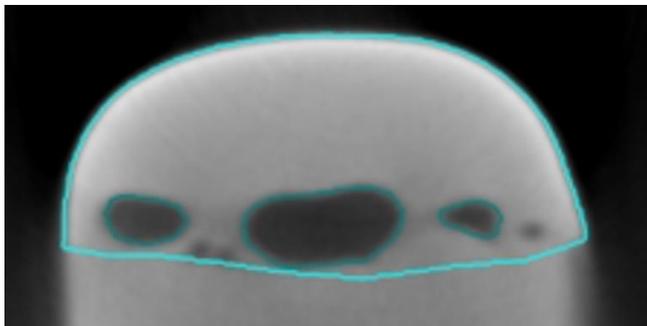
Hairpin Stator und verschweißte Hairpins



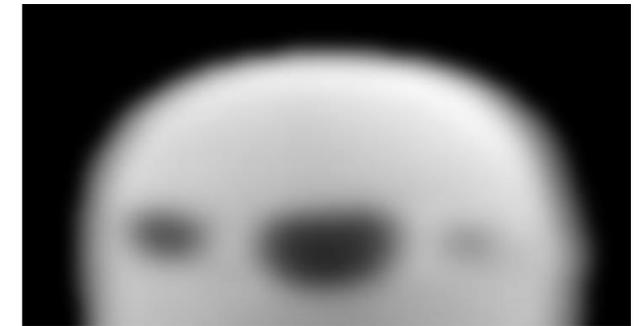
Referenzdaten

Validierung als Herausforderung

- Forderung: Referenzdaten möglichst übereinstimmend mit tatsächlichen Porengrößen
- Scans herausgetrennter Pins mit $\sim 40 \mu\text{m}$ Auflösung
- Erzeugung eines Referenzdatensatzes auf Basis von 200 Einzelpinauswertungen
- Manuelle, schwellwertbasierte Porenanalyse mittels VisualGraphics Studio
- Erneutes Anbringen der Pins am Stator für Produktionsscans \rightarrow Erzeugung von Masterstatoren



Auflösung

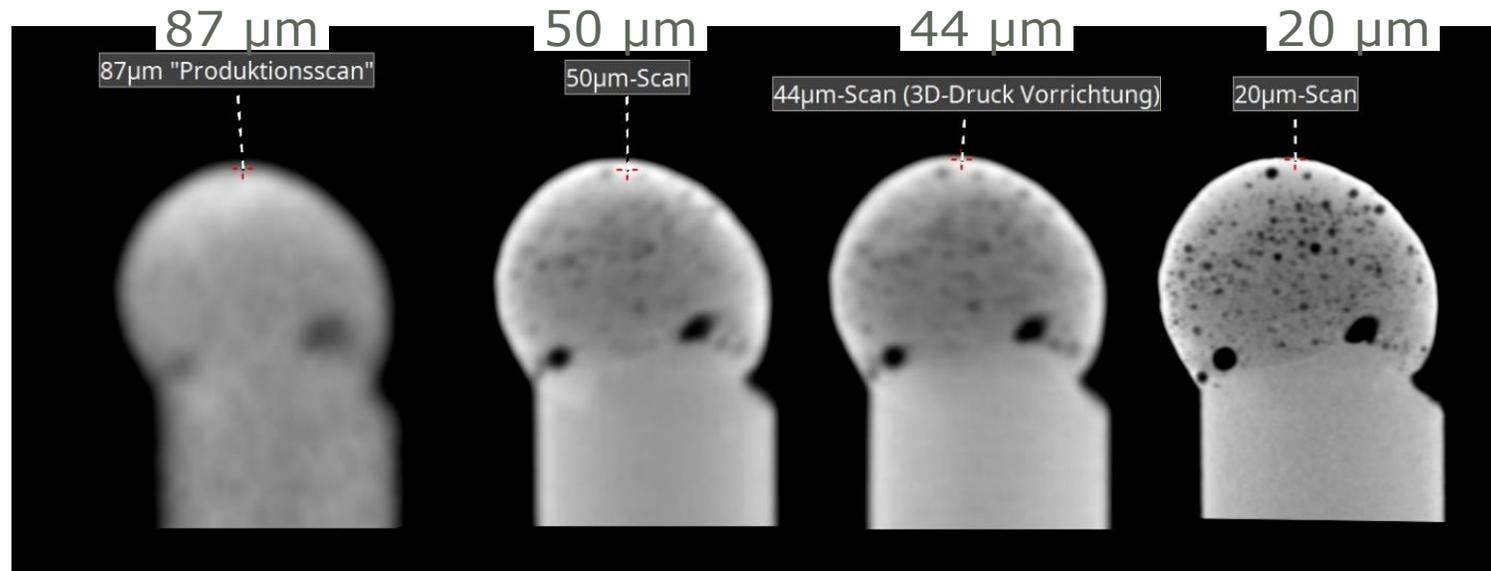
Referenzdaten (SOLL) auf Basis
eines Einzelscan ($40 \mu\text{m}$ Auflösung)

Analysedaten aus Produktionsscan
($88 \mu\text{m}$ Auflösung)

Einfluss der Auflösung

Scanqualität bei unterschiedlichen Auflösungen

- Auswertung erfolgt nicht auf gleicher Datenbasis wie Referenzdatenerfassung!
- Quantisierungsfehler infolge Auflösungsunterschiede in Abhängigkeit von Porengröße
- Definition eines Vorgehens zur manuellen Analyse erforderlich
 - Minstdurchmesser
 - Schwellwertbasierte Analyse: Vorgabe zu Pin oder Poren spezifischer Auswertung erforderlich



Im Produktionsscan:

- Unscharfe Porenränder
- Kleine Poren werden im Produktionsscan nicht abgebildet
- Nah beieinander liegende Poren können nicht getrennt werden

Produktionsscan

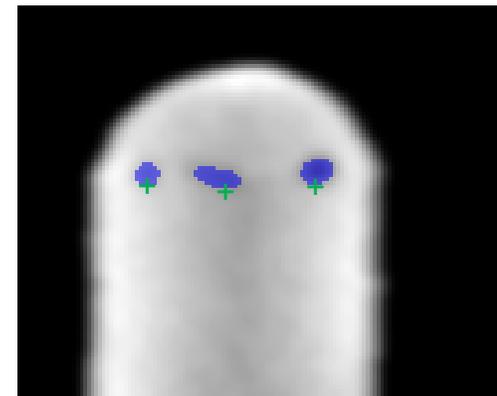
Scan Einzelpins mit unterschiedlichen Auflösungen

2D Segmentierung

Vorgehen zum Anlernen eines CNN

- Umsetzung erfolgt in MatLab mit entsprechenden Toolboxen
- Labeln von ~1200 Bildern zur Erzeugung des Trainingsdatensatzes (Variation Reihen, Scans, Positionen)
- Transfer Learning für unterschiedliche CNN und Vergleich gegenüber Referenzdaten
 - DeepLab, inceptionv2, resnet, AlexNet + je mit zusätzlicher Pixel Segmentation Layer
 - Augmentation: Translation, Rotation, Spiegeln, Helligkeit, Kontrast
 - Iteratives Finden der Confidences für Porenbewertung
- Rechenpower: NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti, Tesla T4, Google Cloud, AWS, leaderGPU

Pin mit gelabelten Poren und Material

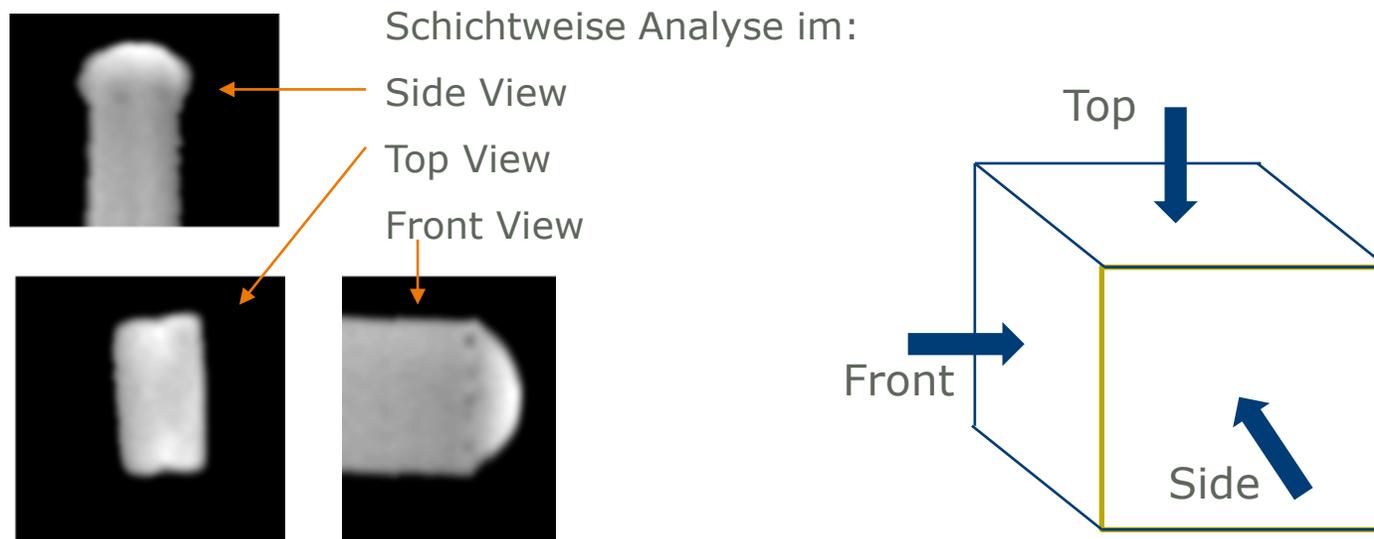


Ergebnis einer Segmentierung

3D-Segmentierung

Vorgehensweise – 1. Implementierung

- Verwendet wird das gleiche CNN wie für die 2D Segmentierung
- Schichtweise Analyse des Pinvolumens aus 3 Raumrichtungen
- Kombination der 3 Volumenergebnisse ergibt das Endergebnis
- Bedingung für finales Porenlabeling: alle drei Einzelanalysen müssen Voxel als Pore segmentiert haben
→ sehr robuste Analyse



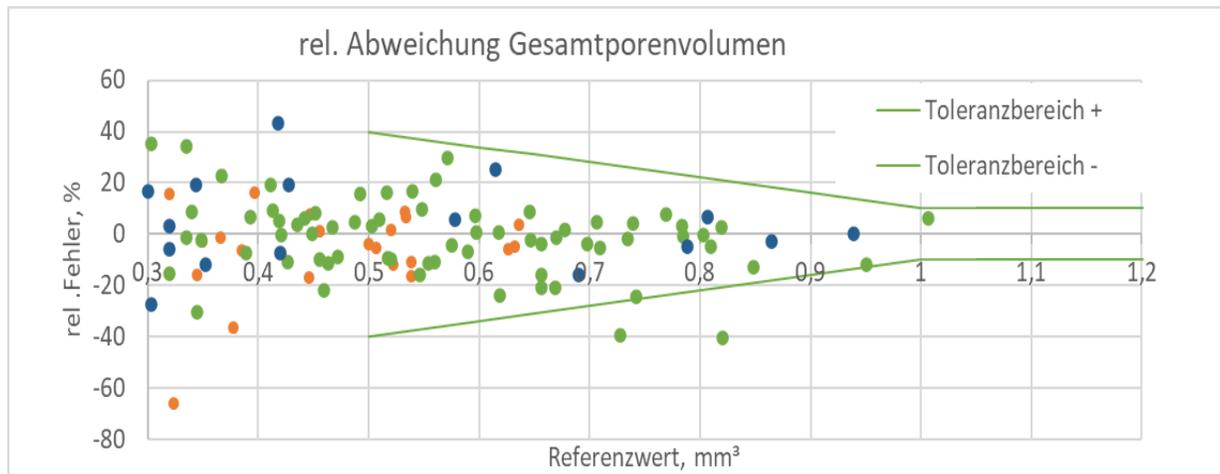
	Voxel X	Voxel Y
Analyse- richtung	Label	Label
Side	1	1
Top	1	0
Front	1	1
Ergebnis 3 aus 3 Verfahren	1	0

Beispiel für einen Voxel

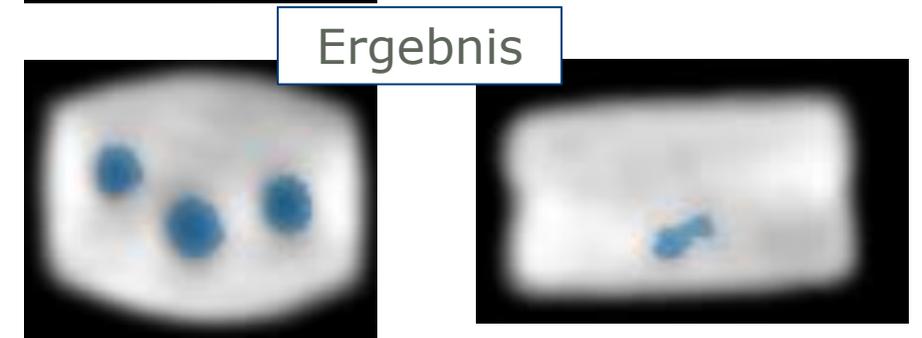
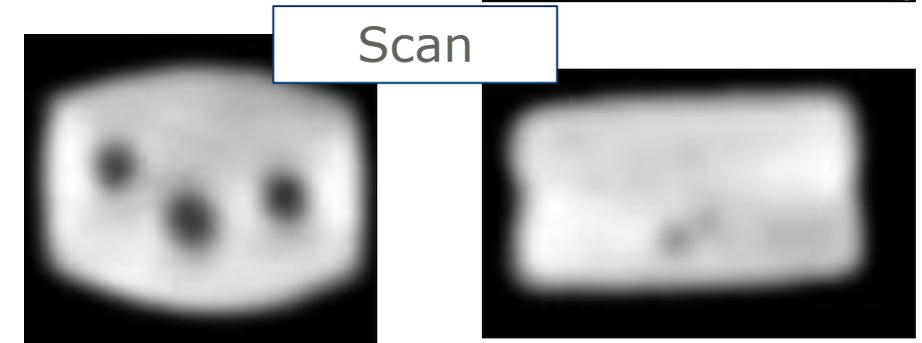
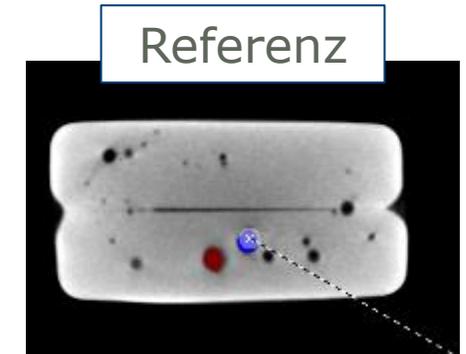
Validierung der 3D-Segmentierung

Qualität und Vertrauen

- Gegenüberstellung mit Referenzdatensatz für 200 Einzelpins
- Kontrolle gegenüber definiertem Toleranzbereich
- Betrachtung der statistischen Verteilung der Messabweichungen
- Erläuterungen zu Ausreißer, um Vertrauen in Leistungsfähigkeit der KI zu schaffen
- Messunsicherheit in Abhängigkeit von Porenvolumen genügt Kundenanforderungen
- Iteratives Verfahren mit Beginn bei 2D-Segmentierung!



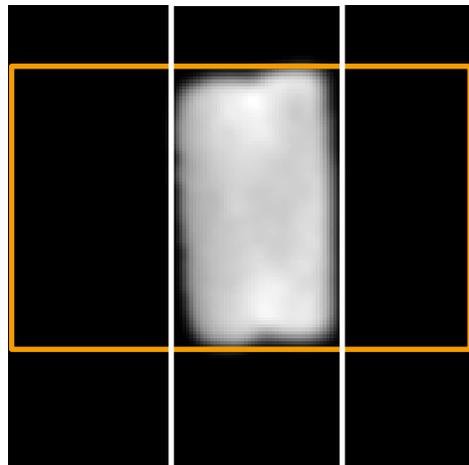
Referenz-IST Vergleich



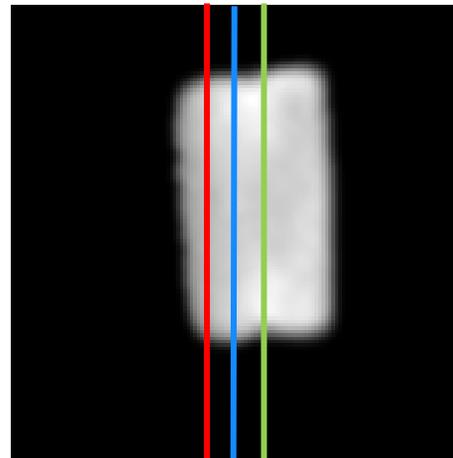
Optimierungen

Umgesetzte Implementierungen

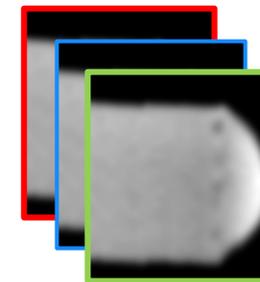
- Generelles Ziel: Auswertzeit $<$ Scanzeit
- Nur Schichtbilder mit Pininformation werden analysiert \rightarrow Zeitaufwand um ca. 30% reduziert
- Verwendung eines RGB-Bilds als CNN Input: 3-schichtiges Teilvolumen pro CNN-Durchlauf \rightarrow Zeitaufwand um 1/3 reduziert



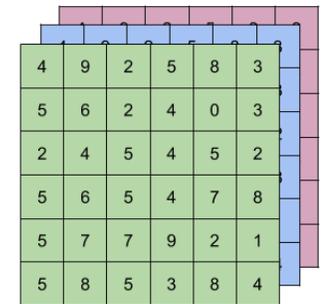
Reduktion der Analyse von ROI auf Pinmaterial



Auswahl benachbarter Schichtbilder



Zuweisung zu RGB-Kanälen



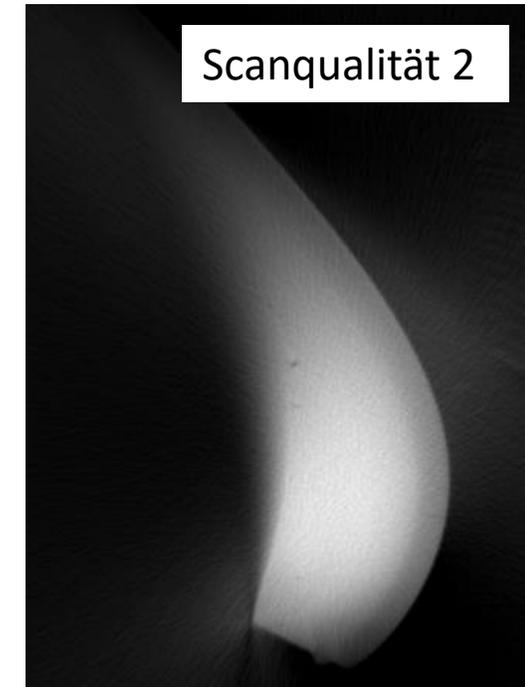
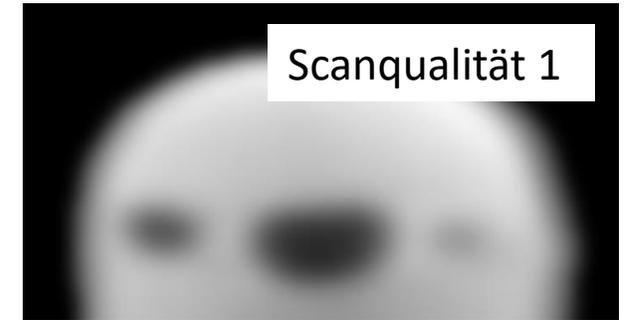
RGB-Bild als CNN Input

Verwendung von RGB-Bildern als Teilvolumen

Herausforderungen

Punkte zur Diskussion

- Aufgabenspezifisches Neutrainieren von Netzen derzeit erforderlich, da
 - Scanqualitäten abhängig von Bauteil und Scantyp (Auflösung, Kontrast, Helligkeit, Artefaktausbildung)
 - Unterschiedliche Verhältnis Pixel pro Pore zu Auflösung
- Nachtrainieren von „ähnlichen“ Netzen
- KI unterstütztes Labeln mit „ähnlichem“ Netz
- Methode zur automatischen Zuweisung geeigneter Netze?
- Labeln erfolgt derzeit „subjektiv“
- Labeln unterstützt mit ISO-Werten für Poren und Material?
- Einsatz von 3D-Netzen? (Einsatz bekannt aus der Medizin)
- Labeln mit überblendete Referenzdaten



Microvista

... makes the difference



Contact

Microvista GmbH

Prof. Dr. Lutz Hagner (CEO)
Robin Höhne (Head of NDT)
Am Moenchenfelde 12
38889 Blankenburg (Harz)
Germany

Phone: +49 3944 950 50

E-Mail: lutz.hagner@microvista.de
robin.hoehne@microvista.de

Website: www.microvista.de

