

Verifikation potentieller Defekte in kritischen Regionen von 3D-gedruckten Bauteilen mittels robotergestützter Mikro-Computertomographie

Polina DEDYAEVA¹, Katharina BLIEDTNER¹, Frank HEROLD¹

¹ VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH, Stockelsdorf

Kontakt E-Mail: k.bliedtner@visiconsult.de

Kurzfassung

Die Computertomographie (CT) wird häufig als zerstörungsfreie Prüfmethode in der Automobil- oder Luftfahrtindustrie eingesetzt, um die innere Struktur von sicherheitskritischen Teilen zu analysieren. Für die Qualitätssicherung von Metall-3D-Druck-Bauteilen werden Begleitbauteile für eine anschließende zerstörende Prüfung gedruckt. Dies steht in vielen Fällen dem wirtschaftlichen Einsatz von 3D-Druck Technologien, die als besonders energie- und ressourcenschonend gilt, im Weg. In der Herstellung von Metall-3D-Druck-Bauteilen, wo ein Pulverbettsschmelzverfahren verwendet wird, treten drei typische Fehlerarten auf: Poren, Einschlüsse oder Lack-of-Fusion-Fehler (LoF). 3D Drucker haben ein integriertes Überwachungssystem, welches hilft Hinweise darauf zu erkennen, wo ein Defekt entstanden sein könnte. Genau an jeder dieser verdächtigen Positionen wird das CT-System einen Region-of-Interest-Scan (ROI-Scan) durchführen.

Diese Studie untersucht im Rahmen des öffentlich geförderten Forschungsprojektes ENABL3D eine Methode zur Verifikation potentieller Defekte in den vom Überwachungssystem gefundenen kritischen Regionen. Hierfür wird ein Industrieroboter als Manipulator des Bauteils eingesetzt und eine kugelförmige Scantrajektorie verwendet. Zur Reduktion von Scanzeit und Optimierung der Durchstrahlbarkeit wird die Anzahl der Projektionen minimiert, sodass nur die Projektionsrichtungen verwendet werden, die den optimalen Informationsgewinn bieten.

Als Ergebnis wird gezeigt, dass dieser sogenannte Kugelscan geeignet ist, um relevante Defekte der kritischen Größenordnung sicher zu detektieren. Des Weiteren wird die minimale Anzahl an Projektionen bestimmt, die für eine hinreichende Defektrate genügt.

Diese performante und robuste Methode ist somit für die Anwendung dieser Technologie insbesondere in stark regulierten Branchen wie der Medizin-, Luft- und Raumfahrtindustrie sehr gut geeignet.



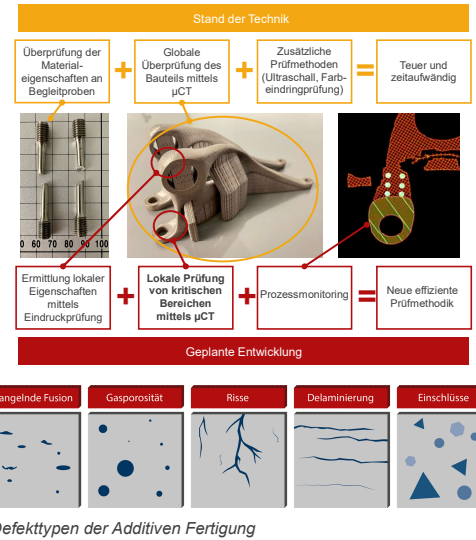
Verifikation potentieller Defekte in kritischen Regionen von 3D-gedruckten Bauteilen mittels robotergestützter Mikro-Computertomographie

Motivation

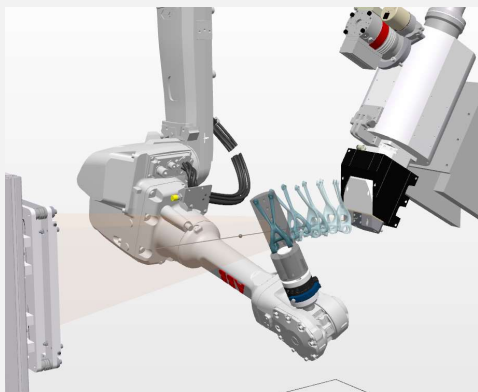
Die Computertomographie (CT) wird häufig als zerstörungsfreie Prüfmethode in der Automobil- oder Luftfahrtindustrie eingesetzt, um die innere Struktur von sicherheitskritischen Teilen zu analysieren. Für die Qualitätssicherung von Metall-3D-Druck-Bauteilen werden Begleitbauteile für eine anschließende zerstörende Prüfung gedruckt. Dies steht in vielen Fällen dem wirtschaftlichen Einsatz von 3D-Druck Technologien, die als besonders energie- und ressourcenschonend gilt, im Weg.

In der Herstellung von Metall-3D-Druck-Bauteilen, wo ein Pulverbett-schmelzverfahren verwendet wird, treten drei typische Fehlerarten auf: Poren, Einschlüsse oder Lack-of-Fusion-Fehler (LoF). 3D Drucker haben ein integriertes Überwachungssystem, welches hilft Hinweise darauf zu erkennen, wo ein Defekt entstanden sein könnte. Genau an jeder dieser verdächtigen Positionen wird das CT-System einen Region-of-Interest-Scan (ROI-Scan) durchführen.

Diese Studie untersucht im Rahmen des öffentlich geförderten Forschungsprojektes ENABL3D eine Methode zur Verifikation potentieller Defekte in den vom Überwachungssystem gefundenen kritischen Regionen.



Methoden

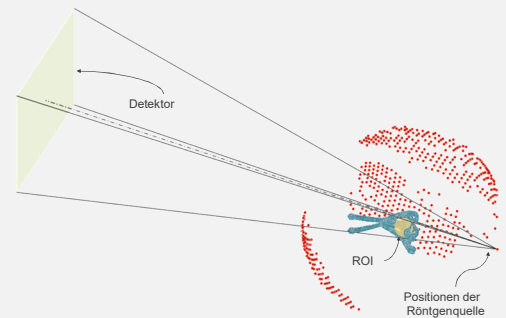


Digitaler Zwilling

Roboter CT & Digitaler Zwilling

Ein Industrieroboter wird als Manipulator des Bauteils eingesetzt und ermöglicht komplexe Trajektorien über die klassischen zirkularen Scans hinaus. Für den digitalen Zwilling werden die Zustände der Röntgenquelle, des Roboters als Manipulator, der AM-Komponente und des DDA im Hintergrund simuliert. Die Simulationen der Röntgenbildgebungskette werden mit dem aRTist der BAM durchgeführt, was die software-seitige Erzeugung realistische Bilder ermöglicht.

Mit Hilfe des Digitalen Zwillings und seines Modells des Systems, einschließlich des zu scannenden Bauteils, wird für die definierte ROI eine Basismenge von Blickrichtungen (z. B. eine gleichmäßig abgetastete Kugel) erzeugt. Zur Reduktion von Scanzeit und Optimierung der Durchstrahlbarkeit wird diese Anzahl der Projektionen danach minimiert, sodass nur die Projektionsrichtungen verwendet werden, die den optimalen Informationsgewinn bieten.



Optimale Trajektorie einer definierte ROI

Trajektorienplanung

Das Ziel dieser Studie ist die ROI-CT von nur wenigen Regionen auf dem AM-Bauteil, in denen das Überwachungssystem des 3D-Druckers potenzielle Defekte wie Poren, Einschlüsse oder LoF erkannt hat. Insbesondere LoF sind umso schwieriger zu erkennen, je dicker das Material ist. Daher werden die Projektionsrichtungen ausgewählt, die die geringste Durchstrahlungslänge durch das Bauteil aufweisen. Darüber hinaus werden nur optimale Projektionen ausgewählt, um eine größtmögliche Datenvollständigkeit für die Rekonstruktion zu gewährleisten, indem ein erweitertes Tuy - Kriterium ermittelt wird

In jedem Optimierungsschritt wird aus einer Grundmenge von Projektionsrichtungen diejenige ausgewählt, die das mittlere gemeinsame Tuy-Kriterium für die aktuelle Trajektorie am meisten reduziert. Dabei wird entweder eine gewünschte Iterationszahl als Abbruchkriterium gewählt oder ein definierter Wert für das Tuy-Kriterium um minimale Anzahl an Projektionen zu erhalten.

Ergebnisse und Ausblick

Mithilfe des digitalen Zwillings für die ROI-CT von AM-Bauteilen ist es möglich, die optimale Trajektorie für definierte ROIs zu finden. Erste sphärische Testscans wurden mit dem Roboter durchgeführt

Für komplexe Bauteile unterscheiden sich die gefundenen optimierten Trajektorien abhängig von der Lage der ROI erheblich. Durch die Verwendung der optimierten Trajektorien an zwei verschiedenen Regionen kann die Sichtbarkeit und die Schärfe von kleinen simulierten Einschlüssen im Vergleich zu einer gleichmäßig verteilten Kugel-Trajektorie sowie einer kreisförmigen Trajektorie bei gleicher Projektionenanzahl deutlich verbessert werden.

Für die nächsten Schritte im laufenden Projekt wird das Roboter CT System mit den tatsächlichen Überwachungsdaten aus dem Druckprozess kombiniert, um komplexere Teile mit echten Defekten zu testen. Darüber hinaus muss auch die Rekonstruktion des ROI-CT bei eingeschränkten Blickrichtungen weiter verbessert werden.

