Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil I Kurzbericht

Forschungseinrichtung: SKZ – KFE gGmbH

Unternehmen: iFactory 3D GmbH

Förderkennzeichen: 16IS23050B

Vorhabensbezeichnung: Künstliche Intelligenz zur Automatisierten Fehlerkorrektur in der Additiven Fertigung (KI2AF)

Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2023-31.03.2026

Aufgabenstellung

Ziel des Verbundvorhabens **KI2AF – Künstliche Intelligenz zur Automatisierten Fehlerkorrektur in der Additiven Fertigung** war die Entwicklung eines KI-gestützten Systems zur Erkennung, Bewertung und Korrektur typischer Fehler während der additiven Fertigung nach dem Fused-Layer-Modeling-Verfahren (FLM). Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob sich aus Bild- und Prozessdaten Rückschlüsse auf die späteren mechanischen Eigenschaften der gefertigten Bauteile ziehen lassen, um einen ersten Demonstrator für eine KI-basierte Inline-Qualitätsbewertung zu entwickeln.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt wurde als Verbundvorhaben zwischen der iFactory3D GmbH und der SKZ – KFE gGmbH durchgeführt. Während iFactory3D die notwendige Anlageninfrastruktur sowie die Versuchsplattform bereitstellte, übernahm das SKZ die wissenschaftlichen Arbeiten zur Datenauswertung, Modellentwicklung und Validierung. Im Projektverlauf wurde entschieden, die Datengenerierung auf einer neuen Generation des Banddrucksystems von iFactory3D durchzuführen. Dies führte zu zusätzlichem Entwicklungsaufwand bei der Integration von Kamerasystemen sowie der Datenerfassungs- und Steuerungsinfrastruktur, ermöglichte jedoch die Entwicklung eines zukunftsfähigen Systems auf aktueller Anlagenhardware.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeiten gliederten sich in sieben Arbeitspakete:

- Definition relevanter Fehlerbilder, Fehlerursachen und Korrekturstrategien,
- Aufbau einer Infrastruktur zur Erfassung von Bild- und Prozessdaten,
- Generierung und Annotation von Trainingsdaten,
- Entwicklung und Training von KI-Modellen zur Fehlererkennung,
- Entwicklung eines KI-Modells zur Bewertung der Bauteilfestigkeit,
- Integration der KI-Inferenz auf lokaler Hardware,
- Aufbau und Validierung eines Demonstrators zur automatisierten Fehlerkorrektur.

Zur Datengenerierung wurden verschiedene Bauteilgeometrien mit unterschiedlichen Prozessparameterkombinationen gefertigt und mit zwei Kameras überwacht. Die aufgenommenen Daten wurden annotiert und zur Entwicklung der KI-Modelle verwendet. Die trainierten Modelle wurden anschließend in eine Softwarearchitektur integriert, welche erkannte Fehler analysiert und geeignete Korrekturmaßnahmen ableitet. Abschließend wurde das Gesamtsystem unter realen Fertigungsbedingungen evaluiert.

Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Zum Projektstart existierten bereits verschiedene kommerzielle Lösungen zur KI-gestützten Erkennung von Druckfehlern auf Basis von Kamerabildern. Diese Systeme beschränken sich jedoch überwiegend auf die Erkennung von Fehlern sowie die Benachrichtigung des Anwenders beziehungsweise den Abbruch eines Druckauftrags. Eine automatisierte Ableitung und Umsetzung von Prozesskorrekturen waren nur in Ansätzen vorhanden. Ebenso lagen keine etablierten Verfahren vor, welche Bilddaten aus dem Fertigungsprozess zur Vorhersage mechanischer Bauteileigenschaften nutzen. Das Vorhaben knüpfte daher an aktuelle Entwicklungen im Bereich Computer Vision und Machine Learning an und erweiterte diese um einen automatisierten Fehlerkorrekturansatz sowie eine datengetriebene Qualitätsbewertung.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Vorhaben wurde als Verbundprojekt zwischen der iFactory3D GmbH und der SKZ – KFE gGmbH durchgeführt. Die Zusammenarbeit umfasste die gemeinsame Definition relevanter Fehlerbilder, die Durchführung von Versuchen zur Datengenerierung, die Entwicklung und Bewertung der KI-Modelle sowie die Implementierung und Validierung des Demonstrators. Darüber hinaus wurden die Projektergebnisse auf Fachveranstaltungen vorgestellt und Datensätze sowie Modelle öffentlich über die Plattform Hugging Face bereitgestellt.

Wesentliche Ergebnisse

Im Projekt wurde eine vollständig lokale Infrastruktur zur Aufnahme und Auswertung von Bild- und Prozessdaten aufgebaut. Es konnten leistungsfähige KI-Modelle zur Erkennung typischer Druckfehler wie Unterextrusion, Stringing, Warping oder Spaghetti-Bildung entwickelt werden. Die Modelle erreichten hohe Erkennungsraten bei gleichzeitig kurzen Inferenzzeiten und eigneten sich für eine nahezu echtzeitfähige Prozessüberwachung. Darüber hinaus wurde ein datengetriebener Ansatz entwickelt, welcher Zusammenhänge zwischen Prozessbildern und den späteren mechanischen Eigenschaften der gefertigten Bauteile nachweisen konnte. Schließlich wurde ein Demonstrator aufgebaut, der erkannte Fehler analysiert, geeignete Korrekturmaßnahmen auswählt und über die Anlagensteuerung umsetzt. Die Validierungsversuche bestätigten die grundsätzliche Eignung des entwickelten Systems für eine automatisierte Prozessüberwachung und KI-gestützte Fehlerkorrektur in der additiven Fertigung.