

## anoMLix by MUST

anoMLix by MUST: Explainable Quality Inspection in Real Time for Machining of any Batch Size based on CNC data

<b>Programm / Ausschreibung</b>	IWI 24/26, IWI 24/26, Basisprogramm Ausschreibung 2025	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.09.2025	<b>Projektende</b>	31.08.2026
<b>Zeitraum</b>	2025 - 2026	<b>Projektaufzeit</b>	12 Monate
<b>Keywords</b>			

### Projektbeschreibung

#### \*Motivation\*

Unsere Marktforschung, einschließlich des persönlichen Feedbacks von über 300 Fachleuten, zeigt, dass es Unternehmen, welche Gussbauteile und metalladditiv gefertigte Bauteile zerspanen, an kosteneffizienten Alternativen fehlt, um die folgenden Ziele zu erreichen, die unser geplantes MVP (Minimal Viable Product) "anoMLix" adressiert:

1. Verringerung der Abhängigkeit von kostspieligen Funktions- und End-of-Line-Tests,
2. Prozessoptimierung zur Verringerung der Ausschussquote nach der Zerspanung von Gussteilen,
3. Verringerung von unentdeckten Fehlerquoten,
4. Regelmäßige Qualitätskontrolle des Gussmaterials von in Chargen hergestellten Werkstücken, und
5. Senkung der Kosten für die Werkzeugbeschaffung im Zusammenhang mit derzeitigen konservativen Werkzeugwechselprozessen.

#### \*Ziele des Projekts\*

Unser geplantes MVP, anoMLix, ist eine Software für die in Echtzeit erklärbare CNC-Daten-basierte Qualitätsprüfung für jede Losgröße – einschließlich Einzelchargen. AnoMLix ermöglicht die Echtzeitprüfung jedes Werkstücks der Charge während des Bearbeitungsprozesses durch Analyse hochfrequenter Bearbeitungsdaten - ohne die Notwendigkeit von Referenzwerkstücken oder zusätzlicher Sensornachrüstung - zur Abschätzung von Materialfehlern, Materialqualität, Oberflächenrauheit, Werkzeugverschleiß und Werkzeugstandzeit.

#### \*Stand der Technik\*

Bestehende Software von Wettbewerbern zur Echtzeit-Fehlererkennung erfordert in der Regel die Vorbearbeitung von hochwertigen Referenzwerkstücken zur Kalibrierung des Algorithmus. Dieser Kalibrierungsprozess muss höchstwahrscheinlich wiederholt werden, um eine Anpassung an den Werkzeugverschleiß zu erreichen.

Darüber hinaus bieten die Wettbewerber entweder eine Prüfung der Werkstückqualität oder werkzeugbezogene Bewertungen an. Unseres Wissens gibt es keine umfassende Lösung auf dem Markt, welche die wechselseitigen Einflüsse zwischen diesen beiden verwandten Aufgaben effektiv modelliert.

#### \*Technische Neuigkeiten\*

Im Vergleich zu bestehenden Wettbewerbern bietet anoMLix folgende innovative Technologie:

1. AnoMLix benötigt keine Referenzwerkstücke, passt sich kontinuierlich an den Werkzeugverschleiß an und überprüft periodisch die Konsistenz einiger letzter bearbeiteten Bauteiloberflächen, indem Daten einiger letzter vorigen Bearbeitungen zwischengespeichert werden. Es wird sichergestellt, dass die fehlerfreie Bearbeitung (Normalverhalten) „schwacher Regionen“ des Werkstücks als Normalverhalten erkannt wird, um falsch positive Ergebnisse zu vermeiden. \*Schwache Regionen sind zum Beispiel dadurch gekennzeichnet, dass die radiale Schnitttiefe  $a_e$  über einen Bearbeitungsvorgang hinweg variiert.
2. Kombiniert die Analyse von Fehlererkennung, Materialqualität und Werkzeugverschleißabschätzung, z.B. so, dass der Werkzeugverschleiß die automatische Schwellenauswahl für die Klassifizierung von Anomalien beeinflusst, und
3. setzt erklärbare, hybride, analytische und datengesteuerte tiny-ML-Modelle ein; dies ermöglicht, dass innerhalb vorgegebener Datenaufbewahrungsfristen Bedenken zu anoMLix-Entscheidungen berücksichtigt werden können; somit soll Verantwortlichkeit gewährleistet und Vertrauen in Algorithmen gefördert werden.

#### \*Technische Schwierigkeiten\*

Unser derzeitiger Prototyp ist in Bezug auf die Benutzerfreundlichkeit begrenzt - er ist nur für eine minimale Anzahl von Vorgängen anwendbar, z. B. statisches Fräsen von Stahl -, und mehrere unserer geplanten Funktionen befinden sich noch in der frühen Prototypentwicklung.

Unsere Vision ist es, dass die anoMLix-Implementierung im Produktionsbereich nahtlos erfolgt, mit minimalem Konfigurationsaufwand und in Form klarer, erkläbarer und zeitgemäßer Bearbeitungsergebnisse. Die oben genannten technischen Schwierigkeiten werden wir durch eine drastische Verbesserung unseres Prototyps in Bezug auf folgende Aspekte behandeln:

- Benutzerfreundlichkeit: die Funktionalität sollte nicht durch die Planung der Bearbeitungsvorgänge beeinträchtigt werden,
- Anwendbarkeit: maximale Anzahl an Fräsaufgaben, mehrere Werkstückmaterialien, andersartige Bearbeitungsaufgaben wie z.B. Bohren; dies führt zum neuen Produkt anoMLix-Drill (vs. anoMLix-Mill)
- Alle Funktionalitäten - z.B. die Abschätzung von Werkzeugstandzeit - zur Marktreife bringen,
- Zuverlässigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Konfiguration, und
- Fortgeschrittene Benutzerschnittstellen zur Bereitstellung von Ergebnissen unter Angabe ihrer Unsicherheiten.

#### \*Projektpotenzial\*

Unser geplantes MVP, anoMLix, hat das Potenzial, die erheblichen Herausforderungen, mit denen Unternehmen in der additiven Fertigung, der Gießerei- und der Zerspanungsindustrie derzeit konfrontiert sind, zu lindern - siehe Motivation oben. Wir haben die folgenden Vorteile von anoMLix-Mill für seine Hauptzielgruppe geschätzt:

- Die Materialbearbeitungszeit wird um 19 % bis 25 % reduziert, und die Energiekosten und CO2-Emissionen werden um 6 % bis 13 % gesenkt, indem unnötige Arbeitsschritte durch frühzeitige Fehlererkennung verhindert werden.
- Unsere Lösung zielt darauf ab, die Werkzeugbeschaffungskosten um 25 % zu senken, was einer Materialeinsparung von 25 % bei den Werkzeugen entspricht. Weitere Einsparungen bei den Werkzeugstandzeiten werden dadurch erzielt, dass unnötige Bearbeitungen und Werkzeugwechsel durch eine frühzeitige Fehlererkennung vermieden werden.
- Die Fehlererkennung und -lokalisierung sowie die Schätzung der Materialqualität unterstützen die Prozessoptimierung zur Verringerung der Ausschussrate, wodurch das Umschmelzen von Material reduziert, und Rohmaterial eingespart wird.

## **Projektpartner**

- MUST Visibility FlexCo