

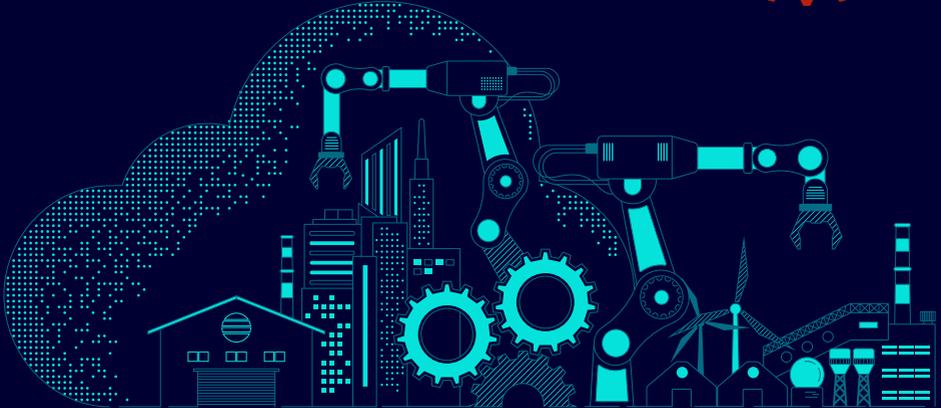


Mittelstand 4.0
Kompetenzzentrum
Chemnitz

Betrieb 4.0
machen!



**Alles
Unternehmen!**



Nachgelesen

Cloudanwendungen in der Fertigung

Sarah Tometzek, Anton Mauersberger

Mittelstand-
Digital 

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

In dieser Ausgabe unserer Nachgelesen-Reihe wird das Verbundprojekt zur standort- und länderübergreifenden Zusammenarbeit für die Fertigung anspruchsvoller Bauteile für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) vorgestellt. Hierbei finden Sie Antworten und praktische Anwendungsbeispiele für die folgenden Fragen:

- Welche Einsatzmöglichkeiten ergeben sich für cloudbasierte Softwarelösungen in der Produktion?
- Wie lassen sich neue Technologien (5G) in der Produktion einsetzen und welche ersten Anwendungsbeispiele gibt es hierfür?
- Welche produktionstechnischen Herausforderungen werden dabei benannt und welche Vorteile ergeben sich daraus?

Einleitung

Im Rahmen einer Kooperation wurden ausgehend von Mittelstand-Digital über das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Chemnitz und verschiedene industrielle Praxispartner jeweils Aspekte dieser Fragestellungen in Digitalisierungsprojekten untersucht. Die Partner Fraunhofer IWU (Chemnitz) und Fraunhofer IPT (Aachen) initiierten eine gemeinsame digitale Infrastruktur, die es ermöglichte, die Digitalisierungsprojekte mit Unterstützung von regionalen KMU durchzuführen und assoziierten schwedischen Partnern ebenfalls Zugang zur Plattform zu ermöglichen. Hauptsächlich wurde der Fokus auf die Nutzung und Verbesserung von Fertigungsdaten durch Softwarelösungen sowie die Übertragung durch 5G-Technologie untersucht, folgende Anwendungsszenarien wurden näher betrachtet:

- Adaptive Fertigungsplanung
- Chancen von Simulationsmodellen zur Prozessauslegung
- Cloudbasierte Verfahrensbewertung für spanende Fertigungsprozesse
- Digitaler Zwilling für die standortübergreifende Fertigung
- Prozessauslegung und -führung für das Wälzschälen
- Einsatz der 5G-Technologie in der Fräsbearbeitung

Nachfolgend können sie sich einen Überblick zu den Problemstellungen und vorgeschlagenen Lösungsalternativen verschaffen, hierbei wird verschärft auf die Betrachtung von dezentralen, cloudbasierten Lösungen geblickt.

Adaptive Fertigungsplanung

Herausforderung: Zur Herstellung komplexer Werkzeuge werden in der Regel verschiedene Fertigungsverfahren benötigt, die als komplexe Prozesskette miteinander kombiniert werden müssen. Die Auslegung der werkstückspezifischen Fertigungsprozesskette erfolgt in der Arbeitsvorbereitung und basiert auf dem individuellen Erfahrungswissen des jeweiligen Mitarbeiters. Dies ist ein Offline-Prozess, der vollumfänglich abgeschlossen wird, bevor der erste Fertigungsprozessschritt begonnen hat. Die geplante Prozesskette zur Fertigung beinhaltet also eine große Menge an Einflussfaktoren, die großen Schwankungen in der Planungsqualität unterworfen ist. In der Folge entsteht meist eine überdimensionierte Fertigungsprozesskette mit erhöhter Durchlaufzeit und unnötig hohen Fertigungskosten.



Abbildung 1: roboterbasierte Bearbeitung in einer Multi-Technologiezelle (FraunhoferIPT)

Lösung: Um die vorgestellte Offline-Prozessfolge adaptiv und online anpassbar zu gestalten, wurde auf Basis des am Fraunhofer IPT entwickelten CAx-Frameworks ein Mock-up zur Prozesskettenplanung von roboterbasierten Bearbeitungen in einer Multi-Technologiezelle entwickelt. Basierend auf der VDI-Richtlinie 2861 wurden Anfor-

derungen der Fertigungstechnologie an einen Industrieroboter in einer Multi-Technologiezelle definiert, sodass das Mock-up universell einsetzbar ist. Neben den allgemeinen Anforderungen wurden die Fertigungstechnologien in verschiedene Phasen der Bearbeitung eingeteilt, um zwischen der Schrupp-, Schlicht- und Feinbearbeitung unterscheiden zu können. Auf Basis der Input- und Outputgrößen der jeweiligen Fertigungstechnologie (z. B. Aufmaß, Oberflächenrauheit) können somit Fertigungsprozessketten ausgehend von der Geometrie des zu fertigenden Werkzeugs und den verfügbaren Fertigungstechnologien geplant werden. Abschließend wurde eine Bewertungslogik hinsichtlich Zeit und Kosten der einzelnen Prozessketten implementiert, um die bestmögliche Prozesskette zu identifizieren. Das entwickelte Software Mock-up dient folglich als Grundlage, um verschiedene Prozesskettenalternativen aufzuzeigen und eine Entscheidungsgrundlage aufzubauen. Im nächsten Schritt müssen Echtzeitdaten berücksichtigt werden, um während des Prozesses verschiedene Prozesskettenalternativen aufzuzeigen und somit die Prozesskette hinsichtlich Zeit und Kosten zu optimieren und adaptiv zu gestalten.

Chancen von Simulationsmodellen zur Prozessauslegung

Herausforderung: Die zunehmende Individualisierung von Produkten stellt Teilefertiger vor die Aufgabe, ein stetig wechselndes Spektrum an Werkstücken zu produzieren. Fertigungsprozesse sollen hochqualitativ und hochproduktiv realisiert werden. Im Gegensatz zur Massenfertigung steigt bei Einzel- oder Kleinserienfertigung der Anteil der Entwicklungsarbeit an den Gesamtherstellungskosten stark an. Für die Massenfertigung können im Vorfeld aufwendige Fertigungsversuche gefahren werden, für Einzelteile oder Kleinserien ist dies nicht zielführend. Die ganzheitliche Simulation oder Vermessung des Systems Maschine-Werkzeug-Vorrichtung-Werkstück ist eine Alternative, aber ebenfalls zeit- und kostenaufwendig und erfordert spezielles Know-how. Eine optimale Auslegung des Prozesses ist also wichtiger Bestandteil, um minimale Bearbeitungszeiten bei gleichzeitig maximaler Prozesssicherheit realisieren zu können.

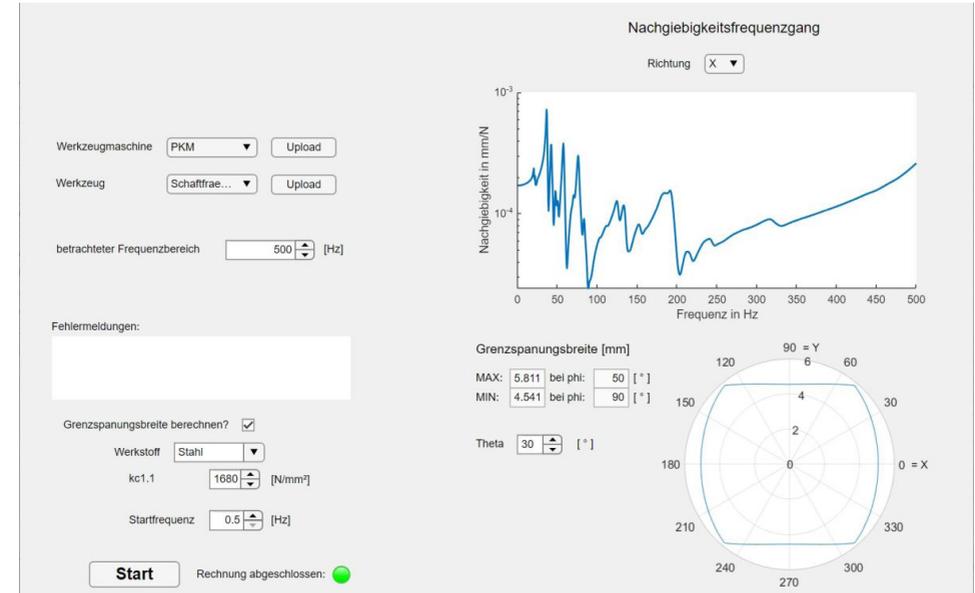


Abbildung 2: Benutzeroberfläche der Simulation zur Auslegung des Bearbeitungsprozesses auf unterschiedliche Betriebsmittel (Fraunhofer IWU)

Lösung: Substrukturierung – dies ist ein Ansatz, um effizient und effektiv wechselnde Maschine-Werkzeug-Konfigurationen bezüglich ihrer dynamischen Eigenschaften zu bewerten. Einmalig simulierte oder vermessene Eigenschaften der Maschine können schnell und einfach mit den entsprechenden Charakteristika der eingesetzten Werkzeuge gekoppelt werden, um das Gesamtverhalten des Systems und damit die Zerspannungsgrenzwerte ermitteln zu können. Im Projekt wird ein cloudbasiertes Simulations-Framework aufgebaut. Submodelle von Grundmaschinen können dort datenbankbasiert über ein GUI (graphical user interface/graphische Benutzeroberfläche) einfach mit optionalen Werkzeugen gekoppelt und Technologieparameter ermittelt werden. Dieses Vorgehen ermöglicht es dem Anwender, einen Bearbeitungsprozess auf unterschiedliche Betriebsmittel auszulegen. Im Rahmen einer standortunabhängigen Software-Lösung kann ein Mehrwert für Prozessverantwortliche erzielt werden, wenn gleichartige Prozesse an verschiedenen Fertigungsstandorten ausgelegt werden müssen. Bereits bekannte Frequenzgänge von Maschinen können eingesetzt werden, um eigenständige Vermessungen der Maschinen zu reduzieren. Zudem kann das Gesamtsystem Werkzeug-Werkstück-Maschine als Parameterkonfiguration abgespeichert und anderen Anwendern zur Verfügung gestellt werden.

Clodbasierte Verfahrensbewertung für spanende Fertigungsprozesse

Herausforderung: Zerspanungswerkzeuge werden für den spezifischen Anwendungsfall auf einer Werkzeugmaschine beim Endanwender nach den Vorgaben des Werkzeugherstellers eingefahren. Häufig finden gleiche Prozesse auf mehreren Werkzeugmaschinen am gleichen Fertigungsstandort oder an verschiedenen Unternehmensstandorten statt. Dabei kann es sich um typgleiche Werkzeugmaschinen oder Maschinen eines anderen Fabrikats handeln. Aufgrund der damit einhergehenden unterschiedlichen Maschinensteifigkeiten sowie Verschleiß- und Wartungszuständen führt ein Transfer des eingefahrenen Prozesses auf eine andere Werkzeugmaschine, trotz gleichen Werkzeugs, Werkstücks und gleicher technologischer Parameter nicht selten zu einem instabilen Prozess (Rattern). Eine Online-Datenerfassung kann die Basis für die Erkennung und Beseitigung solcher Zustände bilden. In der Praxis werden bei der spanenden Fertigung bereits zahlreiche Prozess- und Maschinendaten zur Überwachung erfasst. Die dafür notwendigen Schnittstellen und Skalierungen sind vorhanden. Es gibt jedoch unter Serienbedingungen keine systematische Auswertung und Speicherung oder Zuordnung der Daten zum Bauteil. Eine Nutzung für eine Prozessregelung erfolgt nur in Einzelfällen (z. B. Werkzeugbruch oder Spindelüberlastung). Somit wird ein wesentliches vorhandenes Potenzial zur Prozessoptimierung sowie als Grundlage für adaptive Fertigungsprozesse nicht genutzt.

Lösung: Im Rahmen von Zerspanungsuntersuchungen beim Fräsen von Gusseisen werden sowohl vorhandene Eingangsdaten zu Werkzeug, Werkstück und Maschine sowie mithilfe verschiedener Sensoren erfasste Messdaten zur Prozessstabilität gesammelt (Datenbasis). Dabei werden verschiedene Maschinenzustände (Steifigkeit, Dämpfung) durch unterschiedliche Werkzeugeinspannungen dargestellt. Auf dieser Grundlage erfolgt die Ableitung von Stabilitätskarten sowie eines Regelungsalgorithmus zur Online-Identifikation des Ratterns. Diese Informationen werden in der Cloud zentral abgelegt und dienen als Basis für die Schnittwertoptimierung sowie zur Übertragung und Anpassung des Prozesses auf weitere Werkzeugmaschinen. So kann in einem ersten Schritt über einen maschinenspezifischen Korrekturfaktor das Parameterfenster in stabile Bereiche verschoben und in einem zweiten Schritt die Grundlagen für einen adaptiven Fertigungsprozess geschaffen werden. Hierfür wird die Online-Datenerfassung an einer Werkzeugmaschine konzipiert und Schnittstellen zur Cloud sowie Cloudfunktionalitäten definiert. Ferner sollen in einem später geplanten Umsetzungsschritt nutzerspezifische Zugriffsberechtigungen auf die Daten-Cloud die

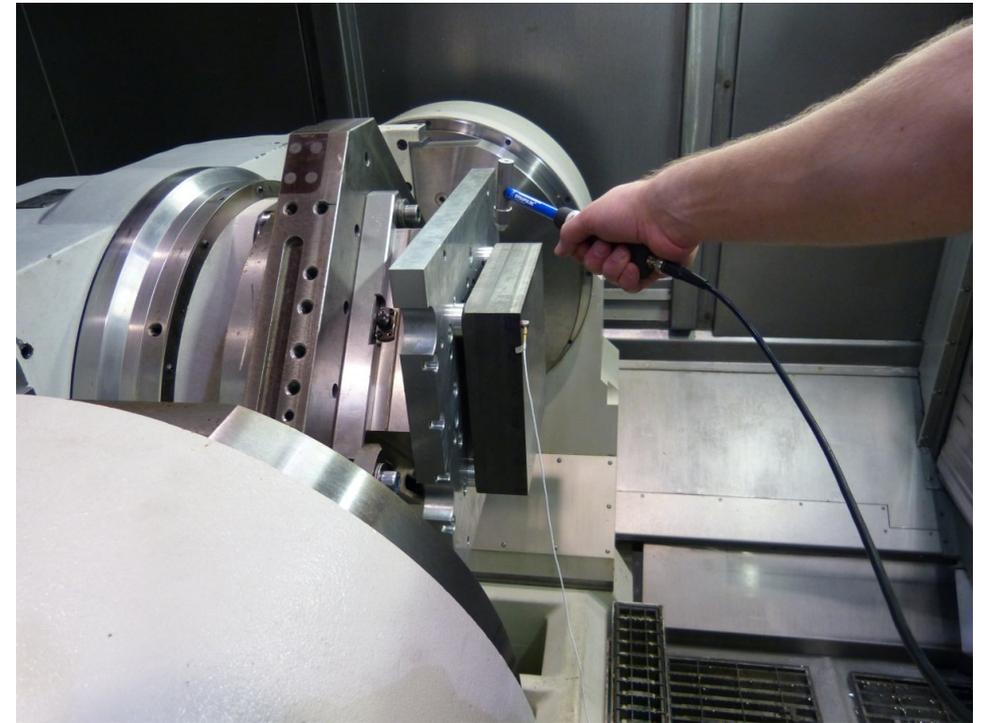


Abbildung 3: Impulshammer zur Untersuchung der akustischen Eigenschaften des Werkstückes (Fraunhofer IWU)

Möglichkeit der engeren Zusammenarbeit, beispielsweise mit dem Kunden oder Werkzeugmaschinenhersteller, eröffnen. Der Endanwender kann das Konzept in einem ersten Schritt zur maschinenspezifischen Optimierung der Schnittwerte hinsichtlich Stabilität und Wirtschaftlichkeit nutzen. Hinzukommend werden die Voraussetzungen für einen adaptiven Fertigungsprozess geschaffen.

DigitalerZwilling für die standortübergreifende Fertigung

Herausforderung: Produktionsprozesse von Rohteil bis zum fertigen Produkt erstrecken sich heutzutage oftmals über viele Fertigungsstandorte hinweg. Insbesondere Prozesse der mechanischen Fertigung finden an vielen unterschiedlichen Standorten – teilweise über Landesgrenzen hinweg – statt. Zur Sicherstellung der Qualität und Rückverfolgbarkeit von Produkten und

Prozessen sind vielerlei Schnittstellen notwendig. Ebenso ist die Übertragung von hochfrequenten Daten zwischen den Standorten eine Herausforderung bei der Überwachung von Prozessen und Fehlersuche. Im Falle von Schwankungen der Qualität, der Prozessoptimierung oder Einfahrprozessen von Maschinen sind zumeist nur wenige Prozessverantwortliche verfügbar, welche teilweise lange und kostenintensive Reisewege zurücklegen müssen.

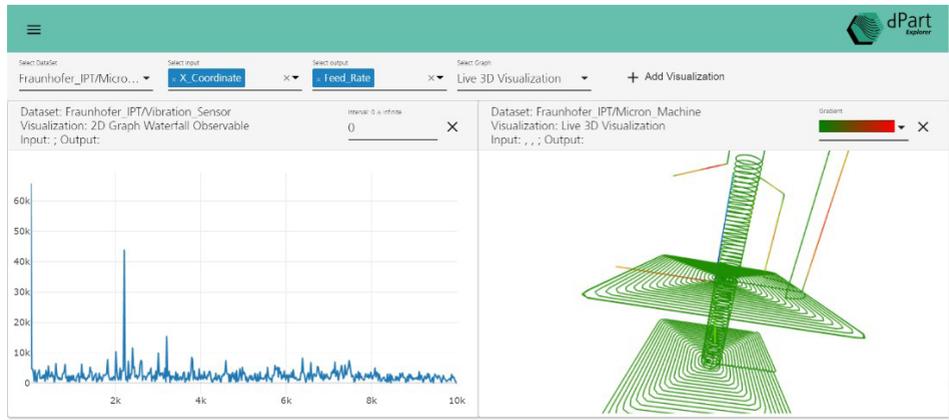


Abbildung 4: Visualisierung der hinterlegten Prozessdaten (Fraunhofer IPT)

Lösung: Im Rahmen einer Versuchsapplikation wurde bei einem schwedischen Partner eine 5-Achsfräsmaschine an eine Cloud-Plattform angebunden und während der Fertigung Live-Daten übertragen. Hierfür wurde zu Beginn ein Fertigungscockpit entwickelt, welches den Fertigungsprozess und die relevanten Fertigungsdaten konsolidiert am Standort Aachen visualisiert und für den Prozessexperten analysierbar macht. Dieses simuliert den Fall eines standortübergreifenden Fertigungsprozesses, den der Prozessverantwortliche remote überwachen kann. Anschließend wurde ein Cloud-service initialisiert, der basierend auf einem Publisher-Subscriber-Modell, kontinuierliche Datenpakete von der Maschine direkt über eine sichere VPN-Verbindung in der Cloud-Plattform empfängt. Innerhalb des Fertigungscockpits wurden anschließend relevante Kenngrößen für die mechanische Fertigung wie Beschleunigungswerte, Vorschub oder akustische Signale zusammengefasst und visualisiert. Neben der reinen Visualisierung ermöglicht das Cockpit auch verschiedene Auswertungen zur Signalbereinigung oder Kombination verschiedener Eingangs- und Ausgangsgrößen in der Darstellung.

Nach erfolgreicher Anbindung der Maschine der schwedischen Partner wurde die Funktion des Cockpits anhand eines gefertigten Demo-Bauteils validiert. Dazu wurde die Fertigung eines Referenzbauteils am entfernten Standort

live am Standort Aachen beobachtet und die Werteverläufe verfolgt. Zudem wurde dieses Referenzbauteil zusätzlich am Standort Aachen gefertigt und die Prozessdaten mit denen des schwedischen Bauteils abgeglichen.

⚙️ Prozessauslegung und -führung für das Wälzschälen

Das Wälzschälen ist ein produktives Verzahnverfahren mit bestimmter Schneide, welches die Produktivität des WälzfräSENS mit der geometrischen Flexibilität des WälzstoßENS vereinigt. Es eignet sich insbesondere für Innenverzahnungen und für außenverzahnnte Werkstücke mit Störkontur. Zur Auslegung von Wälzschälprozessen liegt derzeit noch wenig Erfahrungswissen vor, da das Verfahren erst seit kurzem auf dem Markt verfügbar ist. Zudem sind die verfahrenstypischen Mehrschnittstrategien durch eine hohe Anzahl an Freiheitsgraden charakterisiert.



Abbildung 5: Darstellung des Wälzschälprozesses (Fraunhofer IWU)

Herausforderung: Sowohl die Auslegung als auch die Führung von Wälzschälprozessen bedarf einer Softwareunterstützung. Da beide oftmals an unterschiedlichen Arbeitsumgebungen bzw. an unterschiedlichen Orten stattfinden, werden Daten bisher nicht zusammengeführt, sondern separat, redundant und dadurch oftmals fehlerbehaftet verarbeitet.

Lösung: Der Auslegungsprozess kann durch Einsatz eines mathematischen Prozessmodells und einer Benutzersoftware unterstützt werden. Das Prozessmodell zur Auslegungssoftware wurde am Fraunhofer IWU entwickelt. Es beinhaltet Algorithmen zur Auslegung von Wälzschälprozessen – von der Werkstückdefinition über die kinematische Auslegung bis hin zur Berechnung der Werkzeuggeometrie und der Funktionen zur Prozessanalyse. Die Software ist modular aufgebaut, zentraler Baustein ist das Auslegungsmodul. Hier wird auf Basis der Werkstück- und Verzahnungsdaten ein Technologievorschlag erarbeitet und anschließend in einer 3D-Umgebung auf Kollision geprüft. Als Ergebnis wird eine Schnittfolge inklusive aller Schnittwerte, Maschineneinstellungen und weiterer Informationen für jeden einzelnen Schnitt generiert. In einer Übersicht können Kosten, Zeiten und Werkzeugeinsatz für die einzelnen Technologievarianten verglichen werden. Gleichzeitig können die Auslegungsdaten des Prozesses zur modellbasierten Prozessführung genutzt werden. Beispielsweise werden verschleißbedingte Änderungen der Zahndicke oder Änderungen von Achsabstand und Achskreuzwinkel durch Werkzeugnachschliff aus den Daten von Werkzeug und Technologie berechnet und kompensiert.

Einsatz der 5G-Technologie in der Fräsbearbeitung

Herausforderung: Zur Steigerung von Produktivität, Effizienz und Produktqualität werden heutige Fertigungsprozesse und Anlagen nach einem adaptiven Konzept ausgelegt. Bei einer solchen adaptiven Prozessführung werden die sonst üblicherweise statischen Prozessparameter dynamisch im laufenden Prozess an veränderliche Umgebungseinflüsse angepasst. Um ausreichend schnell auf die gemessenen Änderungen im Prozess reagieren zu können, ist eine ausreichend schnelle Datenübertragung mit möglichst geringer Latenz unverzichtbar. Zur Gewährleistung dieser Ansprüche werden kabelgebundene Übertragungsverfahren eingesetzt. Dies gilt auch für die Anbindung von Sensoren, die Kommunikation zwischen Rechen- und Regelungskomponenten sowie für die Rückführung der Regeldaten zur Maschinensteuerung. Aufgrund der benötigten Kabel sind solche Verfahren jedoch nicht überall, oder nur mit erhöhtem Aufwand, einsetzbar.



Abbildung 6: Übertragung sensorischer Messdaten mittels 5G aus der Maschine (Fraunhofer IPT)

Lösung: 5G-Übertragungstechnik. Vorteile dieses drahtlosen Übertragungsstandards sind die extrem geringe Latenz von nur etwa einer Millisekunde in Kombination mit drahtlos unerreichten Übertragungsraten. Unser Projekt zielte darauf ab, die bisherige kabelgebundene Datenübertragung von der Sensorik zu den datenverarbeitenden Systemkomponenten an einer 5-Achsfräsmaschine zu ersetzen. Hierfür wurde die am Fraunhofer IPT vorhandene 5G Infrastruktur in Kooperation mit der Firma Ericsson verwendet und weiterqualifiziert. In der Folge wurde eine Struktur zur Aufnahme und Verarbeitung von Messdaten aus dem Fertigungsprozess und Rückführung abgeleiteter Maßnahmen konzeptioniert. Die Struktur wurde prototypisch anhand des Fräsprozesses für eine BLISK implementiert. Dies umfasste die Integration verschiedener Sensoren an der Maschine sowie die anschließende Transformation und Filterung der Daten für die Übertragung. Vor der eigentlichen Übertragung wurde diese simuliert, um hierbei Latenzen abzuschätzen und später validieren zu können.

Ein nächster Schritt umfasst die Implementierung einer Mess- und Regelplattform zur Übertragung der Daten via 5G in eine Cloud-Umgebung am Standort Aachen.

Autoren

Anton Mauersberger ist Business Development Manager am Fraunhofer IWU und beschäftigt sich mit dem Technologietransfer und der Verwertung von wissenschaftlichen Ergebnissen. Außerdem sucht und entwickelt er Methoden zur kundenorientierten Produktentwicklung.

anton.mauersberger@betrieb-machen.de

Sarah Tometzek absolviert derzeit ihr Masterstudium in Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen Universität Chemnitz und arbeitet als wissenschaftliche Hilfskraft am Fraunhofer IWU. Dort beschäftigt sie sich mit der Ausgestaltung von Geschäftsmodellen.

Weitere Informationen

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Chemnitz gehört zu Mittelstand-Digital. Mit Mittelstand-Digital unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie die Digitalisierung in kleinen und mittleren Unternehmen und dem Handwerk.

Was ist Mittelstand-Digital?

Mittelstand-Digital informiert kleine und mittlere Unternehmen über die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung. Regionale Kompetenzzentren helfen vor Ort dem kleinen Einzelhändler genauso wie dem größeren Produktionsbetrieb mit Expertenwissen, Demonstrationen, Netzwerken zum Erfahrungsaustausch und praktischen Beispielen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie ermöglicht die kostenlose Nutzung aller Angebote von Mittelstand-Digital. Weitere Informationen finden Sie unter www.mittelstand-digital.de

IMPRESSUM:

Herausgeber:

Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Chemnitz
Geschäftsstelle
c/o Technische Universität Chemnitz
Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Riedel
DE – 09107 Chemnitz
Tel: 0371 531 19935
Fax: 0371 531 819935
E-Mail: info@betrieb-machen.de
Web: www.betrieb-machen.de
www.kompetenzzentrum-chemnitz.digital

Redaktion & Gestaltung

Anton Mauersberger, Sarah Tometzek, Romy Uhlig

Druck:

WIRmachenDRUCK

Bildnachweis Titel:

Jackie_Niam - Freepik.com

Veröffentlichung:

August 2021