



Mittelstand-Digital
**Zentrum
Hannover**

Zukunft.Digital

Digitalisierung
von der Idee zur Umsetzung
Ausgabe 01/2022



Aus dem Zentrum

Interview mit den Geschäftsführern zu den Angeboten
Seite 06

Im Fokus

Der digitale Zwilling – Werkzeug für die Digitalisierung
Seite 10

Aus der Praxis

Fit für die Zukunft: Zukunftswerkstatt Handwerk DIGITAL
Seite 22



Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover ist Teil des Netzwerks Mittelstand-Digital. Das Netzwerk bietet mit den **Mittelstand-Digital Zentren**, der **Initiative IT-Sicherheit in der Wirtschaft** und **Digital Jetzt** umfassende Unterstützung bei der Digitalisierung. Kleine und mittlere Unternehmen profitieren von konkreten Praxisbeispielen und passgenauen, anbieterneutralen Angeboten zur Qualifikation und IT-Sicherheit. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz ermöglicht die kostenfreie Nutzung und stellt finanzielle Zuschüsse bereit.

Weitere Informationen finden Sie unter:
www.mittelstand-digital.de

Mittelstand-
Digital



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zukunft.Digital

**Digitalisierung
von der Idee zur Umsetzung**
Ausgabe 01/2022

Inhalt

Aus dem Zentrum

„Wir wollen Lust machen auf Digitalisierung!“

Seite 06

Neue Impulse für Unternehmen

Seite 09

Im Fokus: Digitaler Zwilling

Der digitale Zwilling –
Werkzeug für die Digitalisierung

Seite 10

Vernetzung von Maschinen mit dem
umati Standard OPC UA

Seite 12

DualTwins4Industry: Nachhaltigkeit
und Produktivitätssteigerung ohne
Widerspruch

Seite 16

Neuer Standard für den digitalen
Zwilling

Seite 18

Einstieg in die zukünftige Welt der
Industrie 4.0

Seite 20

Aus der Praxis

Fit für die Zukunft:
Zukunftswerkstatt Handwerk DIGITAL

Seite 22

Optimierung und Digitalisierung des
Auftragsabwicklungsprozesses

Seite 24

Künstliche Intelligenz

Drei Fragen an ...

Tom Strating, KI-Trainer

Seite 28

Mit KI-Algorithmen zur Verbesserung
der Gesamtanlageneffektivität

Seite 30

Aus der Forschung

Baukasten für die effiziente Optimierung
von Prozessparameterwerten

Seite 34

Maschinelles Lernen erhöht Prozess-
sicherheit in der Zerspanung von Tailored
Forming Bauteilen

Seite 38



Editorial



Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena
Konsortialleiter des
Mittelstand-Digital Zentrums
Hannover

Neues Zentrum, neues Magazin: Die erste Magazinausgabe „Zukunft.Digital“ des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover ist da. Viele von Ihnen werden den Vorgänger „Digitalisierung erfolgreich umgesetzt“ des Mittelstand 4.0-Kompetenz-zentrums Hannover kennen. Unser neues Magazin präsentiert sich nicht nur im neuen Layout. Auch inhaltlich haben wir Einiges gegenüber der Vorgängerversion verändert: Geblieben sind die Berichte zu unseren Digitalisierungsprojekten, die wir zusammen mit Unternehmen des Mittelstandes durchgeführt haben. Neu dabei sind Interviews und Beiträge zu den Aktivitäten des Zentrums, zu verschiedenen Digitalisierungsthemen und zu Entwicklungen aus der Forschung.

Für eine bessere Orientierung hat das Magazin unterschiedliche Rubriken, die Sie schnell zu den Themen führen, die Sie interessieren. Unsere Aktivitäten, Angebote und aktuellen Entwicklungen sind unter der Rubrik „Aus dem Zentrum“ gebündelt. Unsere Digitalisierungsprojekte finden Sie unter der Rubrik „Aus der Praxis“. „Künstliche Intelligenz“ und „Aus der Forschung“ sind weitere Rubriken des Magazins.

Und: Wir haben ein Schwerpunktthema im Heft. „Im Fokus“ steht in dieser Ausgabe der digitale Zwilling. Im Interview mit Anja Simon vom Labs Network Industrie 4.0 (LNI4.0) gehen wir der Frage nach, warum diese Technologie gerade für kleine und mittlere Unternehmen interessant ist. Grundlage für den digitalen Zwilling ist die Vernetzung von Maschinen – auch hersteller- und firmenübergreifend. In unserem Bericht zum Digitalisierungsprojekt mit der Kampmann GmbH, die Kühl- und Heizgeräte für Industrie- und Privatkunden entwickelt und produziert, zeigen wir Ihnen, wie dies im Unternehmen gelingt.

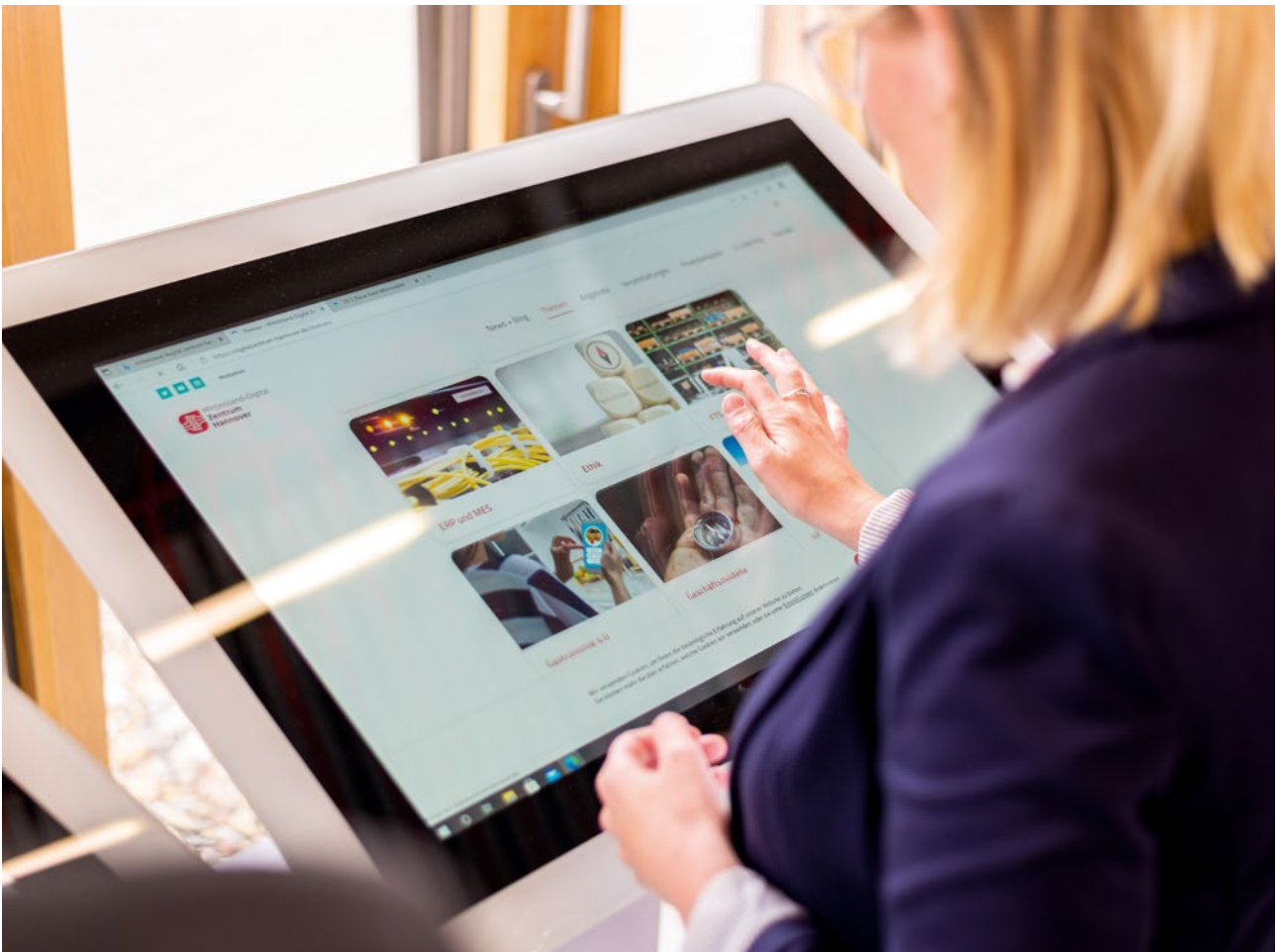
Darüber hinaus stellen wir Ihnen das Netzwerk „DualTwins4Industry“ vor. Es verfolgt das Ziel, nachhaltig die Produktivität eines Unternehmens zu steigern. Hierzu setzt es auf einen sogenannten „Dualen Zwilling“, einer Interaktion aus dem digitalen Zwilling eines Produkts mit den digitalen Zwillingen der jeweiligen Geschäftsprozesse.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen.

Wir wollen Lust machen auf Digitalisierung!

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover hat passgenaue Angebote für Unternehmen entwickelt. Mit seinem breiten Themenspektrum bietet es ein umfassendes Digitalisierungs-Knowhow: Digitale Technologien und Prozesse, Logistik, Ökologische Nachhaltigkeit, Digitales Lernen, IT-Sicherheit oder Marketing und E-Business sind einige der Schwerpunktthemen.

Im Interview mit den Zentrumsge-
schäftsführern Dr. Eike Asche und
Dr.-Ing. Michael Rehe stellen wir die
Unterstützungsleistungen für die
Betriebe vor.



Digitale Lerneinheiten geben einen ersten
Einblick in die Themen der Digitalisierung.

Dr. Eike Asche (links) und Dr.-Ing. Michael Rehe sind Geschäftsführer des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover.



Herr Asche, Herr Rehe, das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover ist inzwischen schon fast ein Jahr unterwegs, um die Digitalisierung und Anwendungen Künstlicher Intelligenz im Mittelstand voranzutreiben. Welche Leistungen bietet das Zentrum den Unternehmen?

Rehe: Um kleine und mittlere Unternehmen zu erreichen, haben wir vier Instrumente entwickelt. Damit holen wir sie unternehmensspezifisch ab. Wir wenden uns sowohl an Betriebe, die sich noch gar nicht oder kaum mit den Möglichkeiten der Digitalisierung befasst haben, als auch an Unternehmen, die bereits Digitalisierungsmaßnahmen umgesetzt haben und jetzt für ihre Weiterentwicklung Unterstützung benötigen.

Asche: Mit Einstiegsveranstaltungen, über Firmengespräche, in Workshops und mit unseren Projektbegleitungen liefern wir den Unternehmen passgenaue Angebote. Um nah an den unterschiedlichen Bedarfen der Betriebe zu sein, sind wir im engen Austausch beispielsweise mit Kammern und Verbänden, die ihre Mitglieder kennen und wissen, wo bei ihnen der Schuh drückt.

Ich greife die einzelnen Instrumente noch mal auf. Sie haben den Bereich Einstieg genannt. Wie machen Sie es den Unternehmen schmackhaft, sich mit den Themen Digitalisierung und Künstliche Intelligenz auseinanderzusetzen?

Asche: Mit diesem Instrument wollen wir den Betrieben Lust machen auf Digitalisierung. Wir wollen nah an die Unternehmen herankommen, die Mitarbeitenden abholen und begeistern. So sind wir beispielsweise mit unserer Mobilen Fabrik unterwegs und gehen direkt zu den Unternehmen. Die Fabrik zeigt anhand der Fertigung eines Miniaturfahrzeugs Digitalisierungslösungen zum Anfassen. Besucher*innen können die unterschiedlichen Technologien direkt in der Fabrik ausprobieren. In fünf weiteren Lernfabriken des Zentrums können Besucher*innen spezifische Themen der Digitalisierung wie IT-Security, Energietransparenz, Produktionstechnik sowie Automatisierung und Big Data hautnah erleben.

Um Unternehmen zu erreichen, sind wir darüber hinaus bei Veranstaltungen mit Vorträgen dabei. Inzwischen fragen zahlreiche Veranstalter Vorträge bei uns an. Dies können allgemeine Vorträge zur Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz sein oder auch ganz spezielle Themen beispielsweise zur IT-Sicherheit oder Big Data. Wir haben Expert*innen zu nahezu jedem Thema der Digitalisierung.

Wie sehen weitere Schritte für die Betriebe aus?

Rehe: Die Einstiegsveranstaltungen sind für viele Betriebe Anlass und Motivation, direkt auf uns zuzugehen und ihre spezifischen Herausforderungen mit uns zu be-

sprechen. In unseren Firmengesprächen schauen wir in die Unternehmen rein. Wir führen vor Ort Gespräche mit Mitarbeitenden vom Shopfloor bis zur Geschäftsführung. Ziel dabei ist es, gemeinsam konkrete Ideen für das Unternehmen zu entwickeln, Möglichkeiten aufzuzeigen und vielleicht schon einen Fahrplan für erste Schritte des Unternehmens zu diskutieren. Wir klären, welches Knowhow für die Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen und Anwendungen Künstlicher Intelligenz vorhanden ist und welche Expertisen noch erworben werden müssen.

Wissenserweiterung – da sind wir schon beim nächsten Instrument. Welche Möglichkeiten haben die Betriebe, um Mitarbeitende beim Zentrum weiterzubilden?

Asche: Die Möglichkeiten bei uns passende Weiterbildungsmaßnahmen für Mitarbeitende zu finden, sind vielfältig. Einerseits sind wir in diesem Bereich mit unseren zahlreichen Expert*innen thematisch sehr breit aufgestellt. Die Themen der Workshops und Webinare umfassen die verschiedenen Unternehmensbereiche, wie die Produktion, Arbeit und Organisation, IT-Sicherheit bis hin zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Jedoch nicht nur mit der Themenvielfalt wollen wir die Unternehmen überzeugen: Wir bieten für die verschiedenen Zielgruppen unterschiedliche Formate an. Geschäftsführer*innen und Shopfloormitarbeitende finden bei uns

ebenso passende Angebote wie Mitarbeitende in der Gastronomie. Es gibt kurze Einstiegs- und längere Veranstaltungsformate, digitale Lerneinheiten und Erklärvideos, die einen ersten Einblick in verschiedene Themen der Digitalisierung geben bis hin zu themenspezifischen und -vertiefenden Workshops und Webinaren. Viele Workshops und auch Webinare bieten wir dabei in Kooperation mit Verbänden, Kammern und Wirtschaftsförderungen und anderen Mittelstand-Digital Zentren niedersachsenweit und darüber hinaus an. Trotz unserer zahlreichen digitalen Angebote finde ich es wichtig, dass wir wieder vermehrt Workshops in Präsenz haben. Der Kontakt mit den Teilnehmenden und der direkte Austausch ist in Präsenzveranstaltungen einfacher herzustellen. Insbesondere der Austausch untereinander befördert meiner Meinung nach wesentlich den Wissenstransfer.

Idealerweise bleibt das erworbene Wissen nicht nur in den Köpfen der Teilnehmenden sondern mündet in konkreten Umsetzungsmaßnahmen in den Betrieben. Wie unterstützt das Zentrum die Unternehmen direkt vor Ort?

Rehe: Wir begleiten Betriebe Schritt für Schritt bei ihren Digitalisierungsprojekten von der Konzeptionierung bis zur prototypischen Umsetzung. Das beinhaltet beispielsweise eine Bewertung der Machbarkeit, eine Kosten-Nutzen-Analyse oder den Aufbau von

Demonstratoren. Unser Themenspektrum ist dabei umfangreich von Lösungen für die IT-Sicherheit über Überwachung von Prozessen mit Künstlicher Intelligenz bis zu digitalen Geschäftsmodellen für die Gastronomie. Auf unserer Website (www.digitalzentrum-hannover.de/projektbeispiele) stellen wir die Projekte vor. Wichtig ist uns dabei, dass die Projekte einen Leuchtturmcharakter haben, also dass sie beispielhaft für andere Unternehmen auch anderer Branchen sind und adaptiert werden können.

Wie kommen die Unternehmen zu einem Projekt mit dem Zentrum?

Rehe: Unternehmen können sich jederzeit mit einer konkreten Idee direkt bewerben beziehungsweise mit uns in Kontakt treten. In einem Gesprächstermin loten wir dann die Möglichkeiten, die wir haben, um zu unterstützen, aus und besprechen die Dauer der Begleitung im Betrieb, die für das Projekt sinnvoll und erforderlich ist. Die Projekte mit uns haben eine maximale Laufzeit von sechs Monaten und unsere Leistungen sind wie alle anderen Angebote des Zentrums für die Unternehmen kostenfrei.

Herr Asche, Herr Rehe, das Zentrum Hannover macht Lust auf Digitalisierung – ein Punkt, den ich gern zum Abschluss noch einmal aufnehme. Ich danke Ihnen herzlich für das Gespräch.



Neue Impulse für Unternehmen

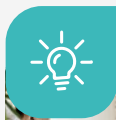
Die Angebote des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover



Einstieg



Wie kann Digitalisierung im Unternehmen angegangen werden? In Infoveranstaltungen und Impulsvorträgen beantworten die Expert*innen des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover alle Fragen rund um das Thema Digitalisierung. Darüber hinaus zeigen Lernfabriken sowie die Mobile Fabrik Digitalisierungslösungen zum Anfassen und Ausprobieren.



Workshops



Die Qualifizierung der Mitarbeitenden ist ein zentraler Erfolgsfaktor für die Digitalisierung eines Unternehmens. Workshops, Webinare und digitale Lerneinheiten: Das Zentrum bildet individuell weiter. Praktische Anwendungsbeispiele, der Austausch mit Expert*innen und anderen Unternehmen unterstützen dabei, gezielt Digitalisierungsschritte einzuleiten.



Firmengespräche



In Firmengesprächen werden die jeweiligen firmenspezifischen Herausforderungen der Unternehmen ermittelt und erste Lösungsansätze besprochen. Von der Produktion und Logistik über Künstliche Intelligenz und Big Data bis zu Recht und Arbeit 4.0 – das Mittelstand-Digital Zentrum bietet umfassendes und unabhängiges Digitalisierungs-Knowhow.



Projekte



Digitalisierung erfolgreich umsetzen: Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover unterstützt bei der Entwicklung und Realisierung von Digitalisierungslösungen und begleitet die Unternehmen bei jedem Schritt: von der Konzeptionierung bis zur prototypischen Umsetzung. Die Dauer der Projekte beträgt sechs Wochen bis sechs Monate.



Der digitale Zwilling

Werkzeug für die Digitalisierung

Der digitale Zwilling hat längst Einzug in die Industrie erhalten und revolutioniert dort die Abläufe entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Er ist mehr als nur ein virtuelles Abbild eines Produkts, sondern ermöglicht eine nahtlose Verknüpfung der einzelnen Prozessschritte einer Produktion oder einer Dienstleistung.

Geht es um zukunftsweisende Unternehmenskonzepte, so scheint mittlerweile kein Weg mehr am digitalen Zwilling vorbeizuführen. Dank ihm werden Firmen flexibler, dank ihm vermeiden Verantwortliche Fehlentscheidungen, dank ihm wird die Produktentwicklung revolutioniert, dank ihm läuft die Produktion effizienter. Oder kurz: Der Digitale Zwilling ist Werkzeug für die Digitalisierung.

In der Fertigungstechnik werden digitale Zwillinge beispielsweise für den Betrieb von Bearbeitungszentren erstellt, um Prozesse zu optimieren. Der digitale Zwilling berücksichtigt dabei nicht nur Werkstücke und CAM Planung, sondern auch Rüst- und Betriebsmittel der Maschine. Auch zur Prozesssteuerung kann er verwendet werden – zum Beispiel zur Modellierung von Lieferketten. Auf Grundlage historischer Daten können beispielsweise mögliche Störungen vorhergesagt und durch ein frühzeitiges Eingreifen (Predictive Maintenance) vermieden werden.

Seine vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und insbesondere die vergleichsweise geringen Kosten seiner Implementierung machen den digitalen Zwilling auch für kleine und mittlere Unternehmen interessant und lukrativ.

Projekt-Abschlussbericht von Heiko Blech und Jonas Becker

Vernetzung von Maschinen mit dem umati Standard OPC UA

Voraussetzung für den digitalen Zwilling sind Daten aus der Produktion. Die Akquise, der Austausch und die Auswertung von Daten in der Produktion sind Hauptmerkmale aktueller Entwicklungen, die häufig unter dem Begriff Industrie 4.0 zusammengefasst werden. In der Praxis bedeutet dies, dass moderne Produktionsanlagen in der Lage sind, Daten zu erfassen und nach außen zu kommunizieren. Somit ist es möglich, Fertigungsinformationen in Form eines digitalen Zwillings zu bündeln, der den Zustand einer realen Anlage virtuell abbildet.

Um eine Vernetzung von Maschinen und Anlagen zu ermöglichen, existieren im industriellen Umfeld verschiedene Schnittstellen. In den letzten Jahren hat das netzwerk-basierte Protokoll Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) im industriellen Umfeld eine

hohe Verbreitung erlangt. Der Standard OPC UA spezifiziert dabei nicht nur den Transfer einfacher Datenwerte, sondern stellt auch umfassende Möglichkeiten bereit, um Daten in Form von Datenmodellen zu strukturieren. Darüber hinaus bietet OPC UA weitere Funktionen, wie z. B. die Verschlüsselung von Daten.

Als offene Schnittstelle eignet sich OPC UA insbesondere zur Verbindung von Komponenten und Anlagen von verschiedenen Herstellern. OPC UA stellt dabei das grundlegende Kommunikationsprotokoll dar, um Informationen im Netzwerk zu übertragen. Die Strukturierung der Daten auf der Schnittstelle erfolgt in Form einer Baumstruktur. Der Aufbau dieser Baumstruktur ist für den Anwender frei konfigurierbar. Client-Anwendungen, die Variablen über OPC UA auf einer Werkzeugmaschine lesen oder schreiben, erfor-

dern daher eine Kenntnis über diese serverseitige Struktur. Um sicherzustellen, dass die Daten von Werkzeugmaschinen direkt von jedem Client verstanden werden, gibt es deshalb sogenannte Companion Specifications (CS). Diese legen Datenstrukturen für unterschiedliche Anwendungsfälle fest. Für Werkzeugmaschinen ist dies die CS OPC UA for machine tools (UA4MT). Diese wurde vom Verband deutscher Werkzeugmaschinenhersteller (VDW e. V.) erarbeitet und ermöglicht die Repräsentation von Werkzeugmaschinen in der OPC UA Server Struktur. Die CS ist Teil der Umati Initiative. Diese ist ein Zusammenschluss aus verschiedenen Firmen und Verbänden. Umati hat es sich zum Ziel gesetzt, die Spezifikation von Datenelementen über verschiedene CS zu vereinheitlichen. Grundlegende Informationen, wie z. B. das Baujahr werden so herstellerübergreifend einheitlich dargestellt.

Bild 1 Das Betriebsgelände aus der Luft



Unternehmen und Produkt

Die Kampmann GmbH entwickelt und produziert Kühl- und Heizgeräte. Die Produktpalette umfasst dabei Konvektoren, Lufterhitzer, Luftreiniger und weitere Lösungen aus dem Bereich der Belüftungstechnik. Die Firma Kampmann hat eine hohe Fertigungstiefe. Die Produktion umfasst u. a. spanende und umformende Fertigungsverfahren. Die Steuerung und Überwachung der Produktion erfolgt in einem Manufacturing Execution System (MES) und die Planung des Produktionsflusses erfolgt in einem Enterprise Resource Planning System (ERP). Die Systeme lesen die Daten der einzelnen Anlagen über OPC UA aus.

Das Umsetzungsprojekt befasst sich mit einer Sonderanlage zur Herstellung von Konvektorblechen. Die Anlage besteht aus unterschiedlichen Komponenten. Die Formgebung der Bleche erfolgt in einer Presse. Ein Beladesystem ermöglicht das automatische Be- und Entladen der Presse. Die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Anlage stellt den unterschiedlichen Systemen zur Produktionssteuerung und -planung die Maschinendaten über einen OPC UA Server zur Verfügung. Zu diesen Daten gehören beispielsweise der aktuelle Betriebszustand. Somit ist es möglich, einen Einblick in die Prozessabläufe zu erlangen.

* Das Projekt wurde vom Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum durchgeführt. Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover knüpft unmittelbar an dessen Arbeit an.

Problemstellung und Zielsetzung

Die Firma Kampmann hat die Kommunikation über OPC UA bereits frühzeitig im Unternehmen etabliert. MES-, ERP- oder Überwachungssysteme greifen als OPC UA Client auf die Daten der Maschinen zu. Das Datenmodell der unterschiedlichen Werkzeugmaschinen variiert jedoch je nach Modell und Hersteller.

Eine einheitliche Schnittstelle für alle Maschinen gibt es mit UA4MT seit 2020. Diese Spezifikation definiert die OPC UA Baumstruktur und legt Datentypen fest. Um eine bidirektionale Kommunikation zu etablieren, die alle Anforderungen der Firma erfüllt, wurde nicht nur die UA4MT Spezifikation implementiert, sondern auch zusätzliche eigene Variablen in die Baumstruktur eingefügt.

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage verfügte die eingesetzte Siemens Sinumerik Steuerung noch nicht über eine native Implementierung von OPC UA. Zur Realisierung der OPC UA Funktionalität wurde daher das Softwaremodul eines Drittanbieters eingesetzt. Im Rahmen der Umstrukturierung des OPC UA Servers wurde auch eine Umstellung auf das inzwischen verfügbare native Siemens OPC UA Modul vorgenommen. Die Komplexität der Softwareinfrastruktur wurde so vereinfacht.

Lösungsweg

Herausforderungen sind die genormte Kommunikation zwischen Maschinen und die Definition generischer Variablen in UA4MT für eine Stanzmaschine. Um diese Herausforderungen zu lösen, erfolgt die Umsetzung eines OPC UA Servers auf der Sondermaschine zur Fertigung von Konvektorblechen. Dieser OPC UA Server soll dabei mit der UA4MT CS kompatibel sein. Eine zentrale Anforderung bei der Umsetzung ist, dass auch nicht standardisierte Variablen, wie die Position der Zuführzylinder UA4MT über generische Datentypen eingebunden werden. Die Umsetzung ermöglicht der Firma Kampmann die Erfassung der Maschinendaten und stellt gleichzeitig eine Referenzimplementierung für zukünftige Maschinen dar.

Das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) verfügt durch seine Mitarbeit bei der Erstellung der Spezifikation über weitgehendes Wissen über das UA4MT Datenmodell und bringt dieses Wissen in das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover* ein. Auch eine eigene Implementierung der Spezifikation wurde vom IFW in der Vergangenheit bereits umgesetzt. Diese Expertise wird genutzt, um die UA4MT auf dem Siemens OPC UA Server zu implementieren. Durch eine enge Einbeziehung von Kampmann in die Umsetzung wird ein Transfer des Wissens sichergestellt. Kampmann kann die Technik zusätzlich auf weiteren Maschinen einsetzen.

Umsetzung in 4 Schritten

Schritt 1

Anforderungs- und Zieldefinition

Grundlage für die Implementierung von UA4MT an der Stanzmaschine der Firma Kampmann ist eine Anforderungsliste. Dieses beschreibt die Prozessabläufe in der Maschine und definiert, welche Variablen der Stanzmaschine in UA4MT eingebunden werden. Die Eigenschaften der Variablen, wie Datentyp oder Zugriffsrechte sind ebenfalls spezifiziert. Eine Sondermaschine zur Abführung der gefertigten Konvektorbleche ist in Bild 2 dargestellt.

Schritt 2

Aufbau des Demonstrators

Um einen fortlaufenden Betrieb der Produktion während der Entwicklungszeit zu garantieren, wurde zunächst ein Demonstrator aufgebaut. Dieser ermöglicht die einfache Validierung von Konfigurationen bei der Umsetzung zukünftiger Steuerungen. Die verwendete SPS S7-1500 der Firma Siemens ist baugleich zur SPS der Maschine. Bild 3 zeigt den tragbaren Aufbau auf einem Alugestell.

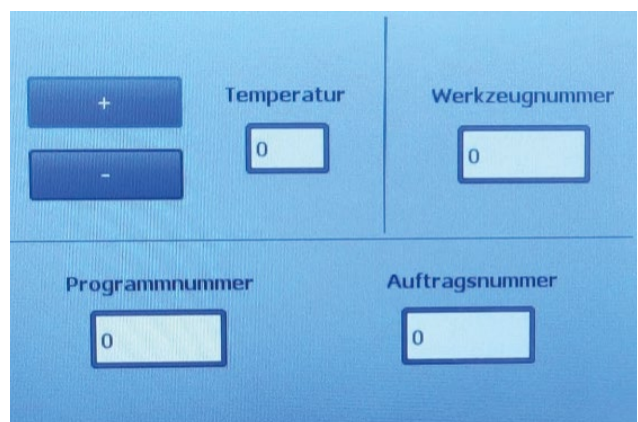
Um Sensorik und Aktorik der realen Produktionsanlage zu simulieren, wurde ein Simatic Human Machine Interface (HMI) Display eingesetzt. Für das HMI wurde eine Grafische Benutzeroberfläche (GUI) programmiert, welche auf Bild 4 dargestellt ist. Softbuttons simulieren Sensorsignale und Textfelder stellen den Status von Aktoren dar.

Schritt 3

Umsetzung der Companion Specification

An dem Demonstrator wurde die Umsetzung des Servers erarbeitet. Basierend auf einer Variablenliste, die aus der Anforderungsdefinition hervorging, wurden zunächst die in UA4MT fest definierten Variablen mit der Steuerung verknüpft. Variablen, welche nicht in UA4MT definiert sind, wurden zusätzlich als generische Variablentypen ergänzt.

Da Daten auf der Netzwerkschnittstelle gemäß Spezifikation in einem von der Steuerungsprogrammierung abweichenden Datentyp dargestellt werden mussten, wurden entsprechende Konvertierungsmechanismen implementiert. Eine UA4MT kompatible Schnittstelle für eine Sonderstanzmaschine wurde somit erfolgreich prototypisch umgesetzt.



von oben nach unten

Bild 2 Sondermaschine zur Abführung der gestanzten Konvektorbleche

Bild 3 Teststand mit Siemens Sinumerik Steuerung als OPC UA Server

Bild 4 Grafische Benutzeroberfläche

Schritt 4

Wissenstransfer an Kampmann

Die Erkenntnisse aus dem Demonstrator wurden in Form einer Dokumentation an Kampmann übergeben. Die Dokumentation geht auch auf die Anordnung der generischen Variablen ein, sodass eine Umsetzung von UA4MT für die Firma Kampmann auf weiteren Maschinen möglich ist. In einem ergänzenden Videomeeting wurden die Ergebnisse zusätzlich erläutert. Kampmann ist somit in der Lage, die prototypische Umsetzung selbstständig auf die Stanzmaschine am Firmenstandort zu übertragen.

Nutzen für den Mittelstand

Die Companion Specification UA4MT, die im Rahmen der Umati Initiative entwickelt wurde, standardisiert den Austausch von Daten zwischen Werkzeugmaschinen und Softwareanwendungen in der Produktion. Herstellerunabhängig ist somit eine aufwandsarme Anbindung von Werkzeugmaschinen an Condition Monitoring, MES- oder ERP-Systeme möglich. Das Umsetzungsprojekt hat erfolgreich aufgezeigt, dass auch Sonderanlagen, die den Werkzeugmaschinen zuzuordnen sind, UA4MT implementieren können. Die Umsetzung bietet für Unternehmen einen wesentlichen Vorteil, da eine aufwändige Anpassung der Softwareanwendungen an die unterschiedlichen Maschineninterfaces nicht weiter notwendig ist.

Die Implementierung von UA4MT in bestehenden Anlagen kann für viele KMU eine hohe Einstiegshürde bedeuten. Das Studium der Spezifikationsdokumente und die Nutzung der Entwicklungswerkzeuge stellen dabei wesentliche Herausforderungen dar. Im Rahmen des Umsetzungsprojektes wurde die nötige Expertise zur Verwendung der UA4MT Spezifikation vermittelt. Ein Ergebnis des Umsetzungsprojekts ist die OPC UA Kompatibilität der Stanzmaschine. Die entwickelte Anleitung zum Aufbau des OPC UA Servers ermöglicht der Firma Kampmann zudem eine einfache Implementierung von UA4MT in weiteren Maschinen.

Durch die Nutzung von UA4MT entfallen in der Firma Kampmann zukünftig aufwändige Programmierarbeiten bei der Einbindung neuer Maschinen und neuer Softwareanwendungen in die Produktionsumgebung. Die allgemein formulierte Anleitung ermöglicht zudem eine Umsetzung von UA4MT in weiteren KMU. Dadurch sinken die Implementierungskosten und die Hemmschwelle für KMU, UA4MT in der eigenen Produktion einzusetzen.



Bild 5

Einblick in die Produktionshalle

Autoren

Heiko Blech

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover und Experte für OPC UA und Digitalisierung am Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

Jonas Becker

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFW und Experte für Data Mining und Digitalisierung am Mittelstand-Digital Zentrum Hannover



Nachhaltigkeit und Produktivitätssteigerung ohne Widerspruch

Prof. Dr.-Ing. Jörg Seume, Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena,
Dr.-Ing. Benjamin Bergmann, Henning Buhl

Digitalisierung und Nachhaltigkeit von Produkten und Geschäftsprozessen sowie Produktivitätssteigerung sind drei zentrale Zukunftsperspektiven, die den Erhalt und den Ausbau der Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit am Standort Norddeutschland sichern.

Der Zukunftscluster-Finalist DualTwins4Industry möchte mit den dualen digitalen Zwillingen diese Ziele umsetzen.

Die Interaktion des digitalen Zwillings eines Produktes mit den digitalen Zwillingen der jeweiligen Geschäftsprozesse zu dualen digitalen Zwillingen (DualTwins) ermöglicht erstmalig eine automatisierte Entscheidungsfindung in einer durchgängig digitalisierten Prozesskette. Durch die Kombination der DualTwins kann der gesamte Produktlebenszyklus vom Entwurf bis zum Recycling digital abgebildet werden (Bild 1). Dies schafft die Vorteile eines schnellen sowie aufwands-, energie- und ressourceneffizienten Geschäftsprozesses für jedes beteiligte Unternehmen entlang des Lebenszyklus eines Produkts.

Basierend auf dem Sonderforschungsbereich 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“ bringt das Zukunftscluster DualTwins4Industry ein erweitertes

Konzept in die industrielle Anwendung, um nachhaltig zukunftsfähige Arbeitsplätze zu schaffen. Neben der Methodenentwicklung schafft DualTwins4Industry den Transfer, technologisches Wissen in der Industrie zu etablieren und weiterzuentwickeln. Weiterhin treibt das Netzwerk den Bereich der Digitalisierung und Nachhaltigkeit in der Industrie und insbesondere bei KMU voran, sodass zu Beginn der Wertschöpfungskette Beiträge zum Klimaschutz und der Ressourcenschonung erreicht und in die Gesellschaft getragen werden.

Umsetzungen in die Praxis

In Zusammenarbeit mit den 71 Partnerunternehmen und Verbänden werden u. a. in den Bereichen der nachhaltigen Energien

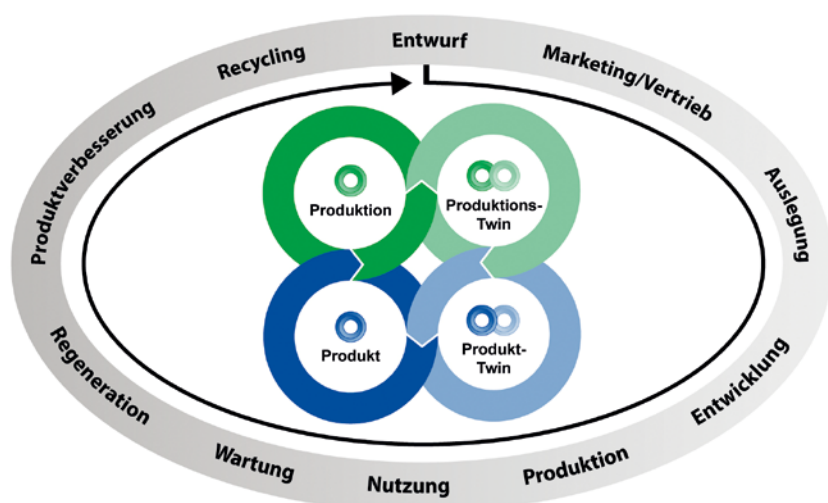


Bild 1

Interaktion der DualTwins über die Geschäftsprozesse im Produktlebenszyklus, hier am Beispiel der Produktion

Weiterführende Informationen und Kontaktdaten sind zu finden unter www.dualtwins.de.

Interessierte Unternehmen können sich an Henning Buhl (buhl@ifw.uni-hannover.de) wenden.



Bild 2 Praktische Umsetzungen des DualTwins mit Partnerunternehmen

und der nachhaltigen Produktion wichtige exemplarische Anwendungen und konkrete DualTwins Lösungen in Pilotprojekte umgesetzt und erprobt. Die Pilotprojekte bilden eine Art Schaufenster für konkrete DualTwins Anwendungen und dienen als praxiserprobte Vorlagen für mögliche Lösungen der eigenen Bedarfe.

Entlang der Phasen des Lebenszyklus des Produkts und der Geschäftsprozesse sind unterschiedliche Fokussierungen der DualTwins und deren Fähigkeiten notwendig. Um diese Diversität der Fähigkeiten abzudecken, sind fünf Pilotprojekte in dem Zukunftscluster DualTwins4Industry geplant (Bild 2).

1) In der Phase des Marketings und Vertriebs ist das Abbilden der Kundenanforderungen und Randbedingungen sowie das Modellieren der eigenen Produkt- und Produktionsanforderungen die Kernherausforderung für Unternehmen. Im Pilotprojekt DualTwins for Marketing and Distribution (DT4MD) werden DualTwins entwickelt, die zur Vermarktung genutzt werden können. Am Beispiel der Vermarktung von Kleinwindenergieanlagen (KWEA) koppeln die DualTwins den Produktzwilling der KWEA mit der Energieinfrastruktur des Kunden (z. B. Wärmepumpe, Biogasanlage und Photovoltaik).

2) Das Pilotprojekt DualTwins for Production Planning Optimization (DT4PPO) entwickelt Lösungen der DualTwins für den Einsatz in der Entwicklungs- und Pla-

nungsphase. Für eine optimierte Produktions- und Prozessplanung interagiert der Zwilling des Produktes mit dem Zwilling der Prozesskette, sowie deren Eigenschaften und Abläufen. Die DualTwins befähigen die Nutzer*innen, im Spannungsfeld von Ökonomie und Ökologie kundenorientiert und nachhaltig zu fertigen. Die zwei Anwendungsfälle in der Reifenfertigung und der Fertigung von elektrischen Komponenten zeigen die Vorteile für eine breite Anwendung und Produktvielfalt.

3) Im Pilotprojekt DualTwins for Planning and Production of individual Solar Moduls (DT4Solar) werden DualTwins unterschiedlicher Geschäftsprozesse kombiniert und somit die Vorteile eines konsequenten Einsatzes der DualTwins entlang des Lebenszyklus aufgezeigt. Hier wird als Anwendungsfall die Auslegung, Entwicklung und Produktion individueller Photovoltaikmodule für die Fassadenintegration an Gebäuden entwickelt.

4) Einen tieferen Einblick in die Phase der Produktion sowie die Ausweitung in die Nutzungsphase wird in dem Pilotprojekt DualTwins for Transparent, Efficient, and Autonomous Manufacturing (DT4TEAM) erarbeitet. Die DualTwins ermöglichen hier die Interoperabilität von Zulieferern und OEM, um für den Kundenmehrwert mittels einer transparenten Interaktion eine effiziente Produktion zu erreichen. Die Interaktion des Produktzwillings und dessen Qualitätsanforderungen mit dem Produktionszwilling der Maschinen und

den eingebrachten Fertigungseigenschaften ermöglicht eine nachhaltige und ressourcenschonende Produktion beim Kunden.

5) Das Pilotprojekt DualTwins for Maintenance, Repair, and Overhaul (DT4MRO) entwickelt DualTwins für die Phase der Wartung. Zur Bewertung und Optimierung der Reparatur am Beispiel eines komplexen Flugzeugtriebwerks ermöglichen die DualTwins den Zustand des Triebwerks und die Reparaturprozesse digitalisiert abzubilden.

Lösungskatalog und Dienstleistung

Die im Cluster erarbeiteten Lösungen und Ansätze für die dualen digitalen Zwillinge sowie ihre Umsetzung werden projektbegleitend analysiert und generalisiert. Die DualTwins Lösungen – z. B. im Bereich der Modellierung von Prozessen, der automatisierten Entscheidungsfindung, Methoden zur Erfassung des Energiebedarfs (u. a. CO2-Footprint) oder der Formen des Datenaustauschs – werden in enger Zusammenarbeit mit kommerziellen Lösungsanbietern in Form einer Toolbox und einem Handbuch für interessierte Unternehmen angeboten. Zudem können in einem Experimentierfeld interessierte Unternehmen die neuen Technologien und Lösungen auf ihre eigene Anwendung spezifisch erproben und testen.

Fortsetzung auf Seite 18

Fortsetzung zu Seite 17

Mitwirkung und Arbeitskreise

Für die gemeinschaftliche Weiterentwicklung kritischer Themen ist ein fokussierter Austausch zwischen den Partnern und externen Fachangehörigen und Verbänden notwendig. Hierfür sind fünf Arbeitskreise vorgesehen, die die Unternehmen zusammenbringen und in gemeinsamen Diskussionen Lösungen erarbeitet werden:

- 1) AK Dateninfrastruktur und Austausch – Welche Rahmenbedingungen der Datensicherheit und damit verbundene Rechtslage ist zukünftig im Umgang mit sensiblen Geschäftsdaten notwendig?
- 2) AK Digitale Werkzeuge und Entscheidungsfindung – Welche Möglichkeiten bestehen, mittels künstlicher Intelligenz und spezifischer Regelkreise eine autonome und intelligente Entscheidungsfindung in der gängigen Praxis umzusetzen?
- 3) AK Standardisierung – Welche standardisierte und normierte Herangehensweise gelten zukünftig im Umgang mit verschiedenen Datenarten und Geschäftsprozessen?
- 4) AK Nachhaltigkeit – Welche Möglichkeiten und Strategien zum Einsatz von DualTwins vor dem Hintergrund nachhaltiger Geschäftsprozesse und CO2-Footprint erweisen sich als praxistauglich?
- 5) AK Aus- und Weiterbildung – Wie können unternehmensspezifische Kompetenzen, Bedarfe und Anforderungen in die (Weiter-)Bildung hinsichtlich Digitalisierung und digitaler Zwillinge integriert werden?

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Jörg Seume

Leiter des Instituts für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD), Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena

Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Leibniz Universität Hannover

Dr.-Ing. Benjamin Bergmann

Bereichsleiter Fertigungsverfahren, IFW

Henning Buhl

Abteilungsleiter im Bereich Maschinen und Steuerungen, IFW

Neuer Standard für den digitalen Zwilling

Im Rahmen von Industrie 4.0 werden Gegenstände digital abgebildet und vernetzt. Ein digitales Abbild (auch digitaler Zwilling) kann durch eine Verwaltungsschale (VWS) – englisch Asset Administration Shell – erfolgen. In der VWS sind sämtliche Informationen und Funktionalitäten der Gegenstände (Assets) beschrieben. Diese Gegenstände können Anlagen, Maschinen, Produkte oder auch ganze Firmen sein.

Die VWS bietet als übergreifendes Informationsmodell zahlreiche Vorteile für digitale Zwillinge der Industrie 4.0. Durch einheitliche Datenstrukturen, eindeutige Identifikation, einheitliche Semantik und nicht-proprietäre Kommunikationsstandards werden digitale Zwillinge mit der VWS zur herstellerübergreifenden Interoperabilität befähigt. Die VWS ist damit die Grundlage für vielfältige innovative Anwendungsfälle und 4.0-Geschäftsmodelle, wie z. B. für herstellerübergreifende Monitoring-Anwendungen oder den KI-basierten Business Excellence. Das Wissen über die Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie ist jedoch nicht weit verbreitet.

Testbed zeigt Mehrwert der Verwaltungsschale

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover führt daher seit August 2021 ein kooperatives Digitalisierungsprojekt durch, welches die Zukunftstechnologie VWS thematisiert und anhand eines Demonstrators praktisch erprobt (mehr Informationen beim Labs Network Industrie 4.0 e. V.). Im Kick-Off-Workshop am Produktionstechnischen Zentrum Hannover (PZH) in Garbsen wurden relevante Use Cases, die im Rahmen des VWS-Demonstrators adressiert werden sollen, erarbeitet.



Von jedem mobilen Endgerät abrufbar: Der QR-Code an der Werkzeugmaschine führt zur Verwaltungsschale.

Das Ziel des Projektes ist es, den konkreten Nutzen der VWS aufzuzeigen und somit zur industriellen Verbreitung dieser Technologie beizutragen. Hierzu bauen die beteiligten Projektpartner einen Demonstrator auf, der auf einem konkreten Anwendungsfall basiert: Die bestehende digitale Lernfabrik des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover um eine Verwaltungsschale erweitert. Die Lernfabrik zeigt anhand der Herstellung eines individuell konfigurierbaren Stiftes in Losgröße 1 intelligente Digitalisierungslösungen von der Kommissionierung über die Fertigung bis zur Auslieferung. Durch die Erweiterung der Lernfabrik um die VWS wird gezeigt, dass eine Umsetzung der VWS auch für Brownfield-Anlagen, also einer bestehenden Anlage oder ganzen Fabrik, möglich ist. Dies ist insbesondere in der Produktionstechnik wichtig, da der Anteil an Bestandsanlagen und -maschinen aufgrund der hohen Lebensdauer sehr groß ist.

Digitales Typenschild

Die Grundlage der VWS bildet das digitale Typenschild. Über einen QR-Code am Gegenstand wird auf deren VWS verwiesen, die mit einem beliebigen Endgerät aufgerufen werden kann. Damit besteht grundsätzlich Zugriff auf das individuelle Informationsmodell der VWS. In dem entsprechenden Teilmodell der VWS können Dokumente (z. B. CAD-Datei-

en, Dokumentationen in verschiedenen Versionen und Sprachen) abgelegt und bereitgestellt werden.

Vielfältige Anwendungsgebiete

Die VWS deckt den gesamten Lebenszyklus von Produkten, Geräten, Maschinen und Anlagen ab. Sie bildet die digitale Basis für autonome Systeme und Künstliche Intelligenz (KI). Die Anwendungsmöglichkeiten der VWS für KMU und Großunternehmen aus unterschiedlichen Branchen sind vielfältig. Daher sind derzeit neben den Demonstratoren im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover zahlreiche weitere Demonstratoren im Aufbau, um den Mehrwert der VWS aufzuzeigen. Im Forschungsprojekt IIP-Ecosphere (www.iip-ecosphere.de) wird beispielsweise ein neuartiges KI-Ökosystem aufgebaut, für das unter anderem die VWS eingesetzt wird.

Im Rahmen des Testbed Verwaltungsschale des LNI ist das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover an weiteren Demonstratoren beteiligt.

Autor: Thomas Lepper

Koordinator Digitalisierungsprojekte am
Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

Einstieg in die zukünftige Welt der **Industrie 4.0**

Der Begriff lässt es nicht vermuten, aber die „Verwaltungsschale“ bündelt innovative Anwendungen der Industrie 4.0. Im Interview mit Anja Simon vom Labs Network Industrie 4.0 (LNI4.0) gehen wir der Frage nach, warum diese Technologie gerade für kleine und mittlere Unternehmen interessant ist.

Frau Simon, das LNI4.0 wurde 2015 gegründet, um Testumgebungen für kleine und mittlere Unternehmen anzubieten, damit diese vorwettbewerblich und aufwandsarm eigene Anwendungsfälle mit Digitalisierungstechnologien ausprobieren können. Eines der Testbeds hat die Verwaltungsschale (VWS) zusammen mit uns, dem Mittelstand-Digital Zentrum Hannover, aufgegriffen. Was kann man sich unter der VWS vorstellen?

Die VWS ist ein Meta-Informationsmodell, das die hersteller- und shopfloor-übergreifende Interoperabilität ermöglicht. Dabei stellt die VWS einen digitalen Zwilling für die Geräte und Anlagen im Shopfloor sowie die Produkte in der Industrie 4.0 dar. Mit der VWS schaffen wir eine hersteller- und firmenübergreifende Digitalisierung durch einheitliche Meta-Datenstruktur.

Wie kam es zu der Zusammenarbeit mit dem Mittelstand-Digital Zentrum Hannover zum Thema VWS?

Das LNI4.0 hat das Testbed zur VWS ins Leben gerufen, um die Umsetzung und Nutzung dieser Technologie für KMU zusammen mit Vertretern aus der Industrie, aus Verbänden, aus der Standardisierung und aus der Forschung voranzutreiben. Die Demofabrik des Mittelstand-Digital



Anja Simon im Gespräch mit PR-Leiter Gerold Kuiper

Zentrums Hannover ist mit seinen klaren Produktionsschritten zur Herstellung von Kugelschreibern in Losgröße 1 und mit ihren unterschiedlichen, vorhandenen Maschinen eine perfekte Demonstratoranlage für die Implementierung einer VWS. Sie ist ein wunderbares Beispiel für eine gewachsene Fertigungslinie aus ganz unterschiedlichen Maschinen aus unterschiedlichen Baujahren von unterschiedlichen Herstellern mit unterschiedlichen Reifegraden in Bezug auf Sensorik und Kommunikationsschnittstellen. Sie steht damit stellvertretend für viele solcher Fertigungslinien in der operativen Nutzung in Deutschland. Die Implementierung der VWS in die Demofabrik zeigt KMU anschaulich die praktische Anwendbarkeit der VWS-Technologie.

Welche Fragen zur VWS kann die Fabrik des Zentrums für KMU beantworten?

Die Implementierung einer VWS in einer existierenden Produktionsumgebung wirft viele individuelle Fragen für das jeweilige

Unternehmen auf. Die beste Grundlage für die Beantwortung dieser Fragen beziehungsweise für eine Diskussion über Umsetzungsoptionen sind die eigenen Erfahrungen, die wir jetzt bei der Implementierung machen. Wir liefern damit quasi einen hands-on-Knowledgetransfer an die KMU. Wir erarbeiten aber nicht nur die grundlegende Installation der Verwaltungsschale mit entsprechend benötigten Bausteinen, sondern gehen darüber hinaus auch in einem nächsten Anwendungsfall die Ausschreibung von Fertigungsschritten direkt zwischen Maschinen an. Das Besondere daran ist, dass das Produkt diese Ausschreibung initiieren kann.

Wer ist neben dem Mittelstand-Digital Zentrum Hannover an dem VWS-Projekt beteiligt?

In diesem VWS-Demonstratorprojekt sind Geschäftsführer und Vertreter von KMU dabei, diverse Fachexperten aus der Plattform Industrie 4.0, aus der Industrial Digital Twin Assoziation (IDTA), aus Technologiegremien und aus den anderen, unterschiedlichen VWS-Projekten sowie aus der LNI4.0-Community. Es ist uns wichtig, einen gesunden Mix aus Anwendern und Fachexperten in der Projektgruppe zu haben – nur so gelingt ein operativ umsetzbares und akzeptiertes Ergebnis.

Wie können andere Unternehmen von den Erkenntnissen profitieren?

Unsere Erfahrungen sind tief und nicht immer auf dem schnurgeraden Weg eingesammelt. Aber auch das sind Erfahrungen, ganz typisch für jedes Implementierungsprojekt einer neuen Technologie! Wir schreiben parallel zu unserem Projekt diese Erfahrungen mit, beobachten uns sozusagen selbst und diskutieren und konsolidieren diese Erfahrungen in einem „Navigation Guide“. In diesem Navigation Guide sind wir zunächst mit einem Fragenkatalog gestartet, der die wesentlichen Fragen für eine VWS-Umsetzung aufgreift und unsere Erfahrungen aus dem Projekt als erste Antworten beinhaltet. Eine erste Version dieses Fragenkatalogs wird gerade von uns erstellt und kann bei uns angefragt werden.

Was ist das wesentliche Argument für Unternehmen, sich mit dem Thema VWS zu beschäftigen?

Die VWS ist nicht nur ein nächstes Tool, welches in eine existierende Produktionslinie oder in ein ganzes Unternehmen hinzugefügt wird. Sie stellt vor allem einen Einstieg in die zukünftige Welt der Industrie 4.0 dar. Die wesentlichen Vorteile sind tatsächlich die hersteller- und firmenüberschreitende Vernetzung sowie der Einstieg in zukünftige digitale Geschäftsmodelle zwischen den Maschinen.

Für welche Unternehmen beziehungsweise Branchen ist die Anwendung der VWS sinnvoll?

Industrie 4.0 betrifft alle Unternehmen und Branchen. Und genau in dieser Entsprechung können VWS-Technologien eingesetzt werden. Eine Eingrenzung der Anwendung der Verwaltungsschale auf gewisse Branchen und Unternehmen empfinde ich persönlich nicht nur als einengend, sondern sogar als gefährlich. Schließlich wollen und sollen alle Branchen und Unternehmen in der digitalen Zukunft einen Platz bekommen.

Die VWS ist demnach unternehmens- und branchenübergreifend. Ist sie auch länderübergreifend?

Ja, das Konzept der Verwaltungsschale ist global, also unternehmens-, branchen- und länderübergreifend. Die Idee und das Konzept der VWS werden von den internationalen Treibern der Digitalisierung (z. B. vom amerikanischen und vom asiatischen Kontinent) äußerst aufmerksam beobachtet und darüber hinaus auch bereits praktisch getestet, weil das Konzept der VWS eine internationale Interoperabilität nicht nur zwischen Assets, sondern auch zwischen ganzen Fertigungslinien ermöglicht.

Grundlage des Konzeptes der Verwaltungsschale sind eine einheitliche Kennzeichnung der Assets (IEC 61406), ein einheitliches Informationsmodell (IEC 63278-1), die Verwendung einer einheitlichen Semantik (IEC 61360-x, Bibliothek ECLASS / CDD) und die Anwendung bekannter und erprobter Techniken der Cybersicherheit (OpenID Connect). Ich kann nur empfehlen, die VWS einfach mal zu testen oder an unseren Testbed teilzunehmen.

Sehr geehrte Frau Simon, wir danken Ihnen für dieses Gespräch.

Unternehmen, die sich für die VWS interessieren, können sich gerne direkt bei Anja Simon vom Labs Network Industrie 4.0 (anja.simon@siemens.com) oder bei Dr.-Ing. Michael Rehe (rehe@mitunsdigital.de) vom Mittelstand-Digital Zentrum Hannover melden.

Fit für die Zukunft

Zukunftswerkstatt Handwerk

DIGITAL

Die Herausforderungen für kleinere und mittlere Handwerksbetriebe sind nicht nur vor dem Hintergrund der digitalen Transformation vielfältig. Die Zukunftswerkstatt Handwerk DIGITAL der Handwerkskammer Hannover unterstützt Betriebe dabei, auch zukünftig mit einer tatkräftigen und motivierten Mannschaft erfolgreich zu sein. Im Interview gibt uns Frau von Steinaecker, Beauftragte für Innovation und Technologie (BIT) bei der Handwerkskammer Hannover, einen Einblick, wie Betriebe im Rahmen der Zukunftswerkstatt begleitet werden.

Interessierte Handwerksbetriebe können sich gerne direkt an Benita von Steinaecker (vonSteinaecker@hwk-hannover.de) wenden.



Frau von Steinaecker, die Zukunftswerkstatt geht nun schon in die 20. Runde. Dabei ist das Konzept der Zukunftswerkstatt über die Jahre weitestgehend gleich geblieben: Moderator*innen und Dozent*innen geben den Rahmen vor und setzen Impulse, sodass konkrete Lösungen in den Betriebsteams selbst erarbeitet werden. Was hat den Anstoß gegeben, die Zukunftswerkstatt zu starten?

Demografischer Wandel, Fachkräftemangel, technologischer Wandel, Veränderung der Kundenanforderungen und neue Möglichkeiten der Kommunikation haben schleichend den Druck in vielen Handwerksbetrieben erhöht. In vielen Betrieben gab es durchaus das Bewusstsein, dass sich „etwas ändern“ muss, jedoch verpufften etwaige Bemühungen häufig angesichts eines stressigen Arbeitsalltags. Daher wollten wir ein Angebot schaffen, das neben dem Anstoßen innovativer Ideen auch die Innovationsfähigkeit des Betriebes an sich fördert. Nur eine Prozessbegleitung über einen längeren Zeitraum kann das leisten.

Es zeigte sich schnell, wie wertvoll schon das gezielte Aufnehmen der Bedarfe in den Teams war. Dadurch, dass alle Mitarbeitenden partizipieren konnten, vergrößerten die damit angestoßenen internen Diskussionen quasi automatisch das Verständnis füreinander. Das Ergebnis: Die interne Kommunikation verbesserte sich und auch mancher Prozess funktionierte etwas reibungsärmer.

Und noch ein Punkt ist sehr wichtig: Wir begleiten in der Regel vier Betriebsteams parallel. Sie treffen sich zum Austausch über ihre Veränderungsprojekte und beraten und stützen sich kollegial. Man denkt gar nicht, wie entlastend es ist, festzustellen, dass die anderen Teams ähnliche Probleme haben! In vielen Fällen entsteht daraus ein Netzwerk, das sich auch nach dem Abschluss gegenseitig unterstützt.

Wie ist der Kontakt zum Mittelstand-Digital Zentrum Hannover zustande gekommen?

2016 kam das Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik mit dem Vorschlag auf uns zu, die Zukunftswerkstatt als spezialisierte „Digitalisierungswerkstatt“ im Rahmen des geplanten Kompetenzzentrum Digitales Handwerk weiterzuentwickeln und gemeinsam umzusetzen (www.handwerk-digital.de/Digitalisierungswerkstatt).

Gesagt, getan! Das neue Konzept sah zusätzlich fachliche Digitalisierungsanstöße und deren Umsetzung in Form von Workshops, Seminaren und begleitenden Einzelprojekten vor. Um unsere Kompetenzen dahingehend zu ergänzen und den Blick zu erweitern, kamen Sie ins Spiel! Von da an führten wir die Strategieworkshops, die für die Projektplanung und -steuerung und den kollegialen Austausch genutzt werden, gemeinsam mit unterschiedlichen Expert*innen der Mittelstand-Digital Zentren durch.

Im Rahmen eines Workshops identifizieren die Betriebsteams Veränderungsthemen und erarbeiten gemeinsam Lösungen, hier bei der WolfsBau GmbH in Neustadt am Rübenberge.

Aus der Zukunftswerkstatt Handwerk ist inzwischen die Zukunftswerkstatt Handwerk DIGITAL geworden. Wie kam es dazu?

Nachdem sich die Themen und Lösungsansätze in den beiden „Schwesterformaten“ Zukunftswerkstatt und Digitalisierungswerkstatt zunehmend deckungsgleich entwickelten, legten wir sie kurzerhand zusammen. So entstand die Zukunftswerkstatt Handwerk DIGITAL. Inzwischen sind alle Veränderungsthemen entweder angestoßen durch die Digitalisierung oder die Lösungsansätze sind digital oder teilweise digital.

Wie viele Betriebe haben bislang an der Zukunftswerkstatt teilgenommen? Gibt es auch „Wiederholungstäter“? Wenn ja warum?

Ja, wir haben einige „Wiederholungstäter“, denn nichts ist so beständig wie der Wandel. Heraklit hat auch heute noch Recht: Mit Veränderung ist man niemals „fertig“. Ich greife mal ein Beispiel heraus: Ein Dachdeckerbetrieb hat 2014 mit dem stetig wachsenden Team in der Zukunftswerkstatt Prozesse geklärt, Kommunikation verbessert und Strukturen neu geordnet. 2020 in der Zukunftswerkstatt Handwerk DIGITAL wurden dann unter anderem neue Veränderungen mit und durch die Digitalisierung sowohl in den Verwaltungsprozessen als auch auf der Baustelle bearbeitet.

Können Sie uns von einer Erfolgsgeschichte berichten, an die Sie sich besonders gerne zurückerinnern?

Schwer ein Team herauszufischen, es gibt so viele tolle Geschichten! Vom Bauunternehmen, das sich mit der Frage beschäftigte, wie man sich auf Anforderungen der Bauwerksdatenmodellierung (englisch:

Building Information Modeling; kurz: BIM) vorbereitet und feststellte, wie viel weniger Konflikte auszutragen sind, wenn auch mobil alle wichtigen Daten zugänglich sind - alles unter dem Motto „Mehr BIM statt bumm!“. Über die Bäckerei, die mit der jungen Generation viele neue Ideen umsetzte und das Erfahrungswissen der Senioren dabei gezielt einband. Bis hin zu vielen weiteren Teams, die mir vor allem deshalb im Gedächtnis blieben, weil es immer auf die Charaktere ankommt, die sich einsetzen und Dinge dadurch anders machen. Meistens besser.

Wie sieht der weitere Fahrplan für die Zukunftswerkstatt aus?

Das Vorgehensmodell Zukunftswerkstatt mit der Abfolge aus Workshops, Seminaren und Teamcoaching hat sich bewährt. Den konkreten Fahrplan stellen wir aber

immer im Dialog mit den interessierten Betriebsteams auf und natürlich schauen wir auf die Entwicklungen um uns herum. Dazu gehört z. B. der Kontakt zu Ihnen und die Frage, welche wichtigen Entwicklungen gibt es, für die ein Handwerksbetrieb offen sein sollte?

Während wir weiterhin rund zweimal pro Jahr mit der Zukunftswerkstatt Handwerk DIGITAL starten, gibt es ein neues Projekt in unserer Tochtergesellschaft, hier werden nach dem Grundmodell der Zukunftswerkstatt KI-Werkstätten entwickelt und – gemeinsam mit den KI-Trainer*innen Ihres Zentrums – durchgeführt.

Sehr geehrte Frau von Steinaecker, wir danken Ihnen für dieses Gespräch und freuen uns auf die weitere Kooperation mit der Handwerkskammer Hannover.



Projekt-Abschlussbericht von Alexander Mütze und Tim Kämpfer

Optimierung und Digitalisierung des Auftragsabwicklungsprozesses

Viele produzierende Unternehmen, darunter insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU), stehen vor der Herausforderung, ihren Auftragsabwicklungsprozess zu optimieren und zu digitalisieren. Eine ganzheitliche Betrachtung der Auftragsabwicklung über den Vertrieb, die Beschaffung, die Produktion bis hin zur Distribution trägt hierbei wesentlich zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit bei. Vielen Unternehmen stellt sich hier die zentrale Frage, welche die wesentlichen Ansatzpunkte für eine Digitalisierung des Auftragsabwicklungsprozesses sind, bzw. welche konkreten ersten Schritte im Rahmen einer ganzheitlichen Digitalisierung zu gehen sind.

Die wichtigste Erkenntnis in diesem Zusammenhang ist dabei, dass die Digitali-

sierung kein Selbstzweck ist, sondern bei der Optimierung von Prozessen unterstützt und es ermöglicht, Verbesserungspotenziale zu heben. Dennoch ist die Digitalisierung in der Auftragsabwicklung nicht als Allheilmittel für ineffiziente Prozesse, wie beispielsweise fehlerhafte Vorgaben in der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) oder nicht geklärte Verantwortlichkeiten an Schnittstellen, zu sehen.

So trifft die grundsätzliche Aussage von Thorsten Dirks aus seiner Zeit als CEO bei Telefónica Deutschland zur Digitalisierung auch auf die Auftragsabwicklung zu: „Wenn sie einen Scheißprozess digitalisieren, dann haben sie einen scheiß digitalen Prozess.“. Und so ist es für eine ganzheitliche und zielorientierte Digitalisierung des

Auftragsabwicklungsprozesses im Sinne einer Digitalisierungsstrategie notwendig, Maßnahmen zur organisationalen und prozessualen Verbesserung mit Digitalisierungsmaßnahmen sinnvoll und ergänzend zu kombinieren.

Das Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Leibniz Universität Hannover als Partner des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Hannover* konnte die Ernst Bartsch GmbH aus Weyhe in einem Projekt dabei unterstützen, eine auf die individuellen Bedarfe zugeschnittene Strategie zur Digitalisierung und Optimierung des Auftragsabwicklungsprozesses sowie konkrete notwendige Maßnahmen abzuleiten. Der folgende Bericht fokussiert insbesondere das übertragbare Vorgehen im Projekt.



* Das Projekt wurde vom Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum durchgeführt. Das Mittelstand-Digital Zentrum knüpft unmittelbar an dessen Arbeit an.

Unternehmen und Produkt

Die Ernst Bartsch GmbH aus Weyhe-Dreye (nahe Bremen) bietet ihren Kunden individuelle Komplettlösungen im Bereich der Stahlaufbereitung an. Zu den Kernkompetenzen des Unternehmens zählen dabei sowohl die Blech- und Profilverformung als auch verschiedenste Schweiß-, Schneid- und Biegeverfahren, die das Angebot eines breiten Produktspektrums ermöglichen.

Das in dritter Generation geführte und ortsverbundene Familienunternehmen kann auf über 90 Jahre Erfahrung im Bereich der Metallverarbeitung zurückblicken. Die wichtigste Zielgröße des aus mehr als 20 Mitarbeitenden bestehenden Teams stellt dabei stets die Kundenzufriedenheit dar. So versteht sich die Ernst Bartsch GmbH als flexibler und zuverlässiger Partner, der durch Engagement und Kreativität auch komplexe Aufgaben und Problemstellungen löst.



Bild 1 und 2 Einblicke in die Produktionshalle

Problemstellung und Zielsetzung

Mit Blick in die Zukunft und mit wachsenden Anforderungen hinsichtlich der Rückverfolgbarkeit von Prozessen und Materialchargen sowie dem schleichenden Generationswechsel in der Belegschaft, sieht sich die Ernst Bartsch GmbH mit der Herausforderung konfrontiert, ihre Auftragsabwicklungsprozesse zu digitalisieren und Prozesse zu optimieren. Im Mittelpunkt der aktuellen Überlegungen steht dabei insbesondere die Verbesserung der Erfassung von Bearbeitungszeiten in der Produktion, welche sowohl für die Rechnungslegung und Nachkalkulation als auch eine, wenn nicht die wichtigste, Basis für die Erstellung von Angeboten darstellen. Damit einhergehend existiert der Wunsch nach einer Verbesserung der Planung von Aufträgen und der Steigerung der Transparenz hinsichtlich bereits freigegebener Aufträge. So mangelt es momentan an einer konsistenten Übersicht über den Fertigungsfortschritt von Aufträgen in der Produktion sowie den bestehenden Arbeitsvorrat für einzelne Maschinen bzw. Maschinengruppen.

Ziel des gemeinsamen Projektes mit dem Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover war es daher, nach einer detaillierten Analyse der ablaufenden Prozesse und einer Identifikation von Schwachstellen unter Einbeziehung der Mitarbeitenden, individuelle Maßnahmen abzuleiten, die zur Digitalisierung und damit zur Optimierung des Auftragsabwicklungsprozesses beitragen. Diese ersten Schritte sollen dabei den Grundstein für die nächsten Entwicklungsstufen in Richtung Digitalisierung bei der Ernst Bartsch GmbH legen.

Lösungsweg

Zur Ableitung individuell sinnvoller Maßnahmen zur Optimierung und Digitalisierung des Auftragsabwicklungsprozesses wurde ein mehrstufiges Arbeitsprogramm durchlaufen, die einzelnen Schritte werden im Folgenden erläutert. Ausgehend von der Ist-Situation wurden Zielbilder im Sinne eines Soll-Zustands definiert und Maßnahmen zur zielgerichteten Optimierung der Auftragsabwicklung abgeleitet.

Die Einzelmaßnahmen ließen sich anschließend zu einem ganzheitlichen Digitalisierungskonzept zusammenfügen. So startete das Projekt mit einem initialen Kick-Off-Workshop zur Ziel- und Begriffsdefinition, an welchem im Anschluss die Aufnahme des aktuellen Auftragsabwicklungsprozesses (Ist-Prozess) erfolgte. Diese Ist-Aufnahme und der Dialog mit den Mitarbeitenden der Ernst Bartsch GmbH ermöglichte die Aufnahme wichtiger inhaltlicher Impulse. Die Impulse und Ideen flossen sowohl in die nachfolgende Schwachstellenanalyse als auch in die Ableitung von Digitalisierungspotenzialen sowie in das Soll-Konzept ein. Das Projekt mündete in der Diskussion und Erörterung der nächsten konkreten Umsetzungsschritte zur Beschreibung des Projektes „Digitalisierung der Auftragsabwicklung“ im Sinne einer Digitalisierungsstrategie.

Schritt 1 Ziel- und Begriffsdefinition

Für Projekte allgemein, insbesondere jedoch für Projekte, welche die Unternehmensprozesse sowie Schnittstellen verschiedenster Abteilung tangieren, bedarf es zunächst der Schaffung eines einheitlichen Verständnisses des Projektgegenstands sowie des Projektziels. So galt es im ersten Schritt, die Begriffe „Auftragsabwicklung“ und „Digitalisierung“ gemeinsam mit der Ernst Bartsch GmbH zu definieren und den Betrachtungsbereich einzugrenzen. Im Anschluss erfolgte in einem Zieldefinitionsworkshop die Entwicklung eines einheitlichen Zielbildes. Innerhalb des Workshops wurden die wesentlichen Zielgrößen definiert und die Haupthandlungsfelder mittels der „Mehr-Punktabfrage“-Methode abgeleitet. Darüber hinaus wurde der angestrebte „Digitalisierungsgrad“ gemeinsam erörtert.

Schritt 2 Ist-Prozess-Aufnahme

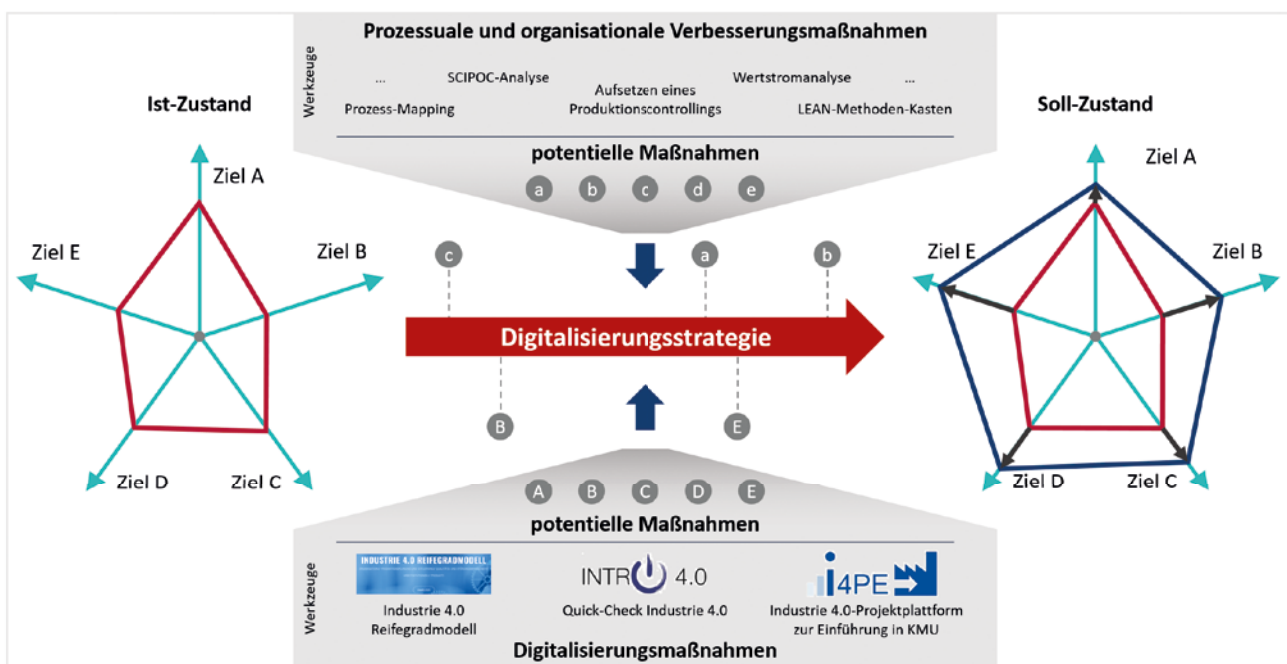
Um sinnvolle Maßnahmen zur Digitalisierung, aber auch zur prozessualen Verbesserung, ableiten zu können, wurde eine Ist-Prozess-Aufnahme durchgeführt. Dieses Vorgehen bietet den großen Vorteil, dass hierdurch bereits häufig erste Verbesserungsmaßnahmen allein durch die geschaffene Transparenz über die ablaufenden Ist-Prozesse abgeleitet werden können. Ferner war der aufgenommene Ist-Prozess die Grundlage für Diskussionen und die Schwachstellenidentifikation. Die Visualisierung des Auftragsabwicklungsprozesses erfolgte mittels der Swim-Lane Methode. In digitaler Form wurden die ablaufenden Prozesse, Schnittstellen sowie der verbundene Informations- und Dokumentenfluss zwischen allen Prozessbeteiligten mittels des Programms Microsoft Visio aufgenommen und dokumentiert.

Schritt 3 Einbindung der Mitarbeitenden

Die Mitarbeitenden eines Unternehmens sind die wichtigste Informationsquelle zur Schwachstellenidentifikation, Maßnahmenableitung und Prozessverbesserung. Gleichzeitig müssen die Mitarbeiter vor und bei der Einführung von (Digitalisierungs-) Maßnahmen eingebunden werden, damit Widerstände nicht den Erfolg des Projekts schmälern. Zur frühzeitigen Einbindung der gesamten Belegschaft wurde ein Workshop vor Ort in gewohnter Umgebung durchgeführt. Der Workshop wurde zudem durch das Aufstellen einer Digitalisierungs- und Ideenbox ergänzt. Alle Mitarbeitenden hatten während des Projektes so die Möglichkeit, ihre Ideen zu verschriftlichen, einzubringen und (ggf. auch anonym) Kritik am aktuellen Auftragsabwicklungsprozess zu äußern.

Bild 3

In einer ganzheitlichen Strategie sollten sowohl Digitalisierungs- als auch organisationale Verbesserungsmaßnahmen Berücksichtigung finden.



Schritt 4 Identifikation der Schwachstellen

Im nächsten Schritt wurden im Projekt Schwachstellen identifiziert und im aufgenommenen Auftragsabwicklungsprozess verortet. Hierzu wurden sowohl die Erkenntnisse aus den Interviews mit den Prozessverantwortlichen als auch der gesamten Belegschaft einbezogen. Die Schwachstellen und Verbesserungsvorschläge wurden im Anschluss den drei Kategorien „Organisatorisch“, „Digitalisierung“ und „Organisatorisch und Digitalisierung“ zugeordnet und hinsichtlich ihrer Wichtigkeit bewertet. Im Sinne des zuvor erwähnten Zitats von Thorsten Dirks wurde dabei die Devise „Organisatorische Prozessoptimierung vor Digitalisierung“ verfolgt.

Schritt 5 Soll-Prozess-Definition und Maßnahmenableitung

Auf Basis der Ergebnisse der vorherigen Schritte wurden ein Soll-Prozess entwickelt und zielgerichtete Verbesserungsmaßnahmen, wie z. B. Einführung der 5S-Methode, abgeleitet. Darüber hinaus wurden in den Feldern Betriebsdatenerfassung, Lagerverwaltung, ERP-System und Produktionsvisualisierung Digitalisierungsmaßnahmen überprüft und Maßnahmen empfohlen. Mithin konnte als mögliche Maßnahme die dezentrale, adressatengerechte und papierlose Informationsbereitstellung über ESLs (Electronic Shelf Labels) identifiziert werden, welche neben der Verbesserung der Informationsbereitstellung auch das Potenzial bietet, die Betriebsdatenerfassung zu verbessern. Im Anschluss an die Erarbeitung möglicher Lösungsalternativen wurden diese als Bausteine in ein Gesamtkonzept eingefügt.

Schritt 6 Digitalisierungsstrategie festlegen und umsetzen

Im letzten Schritt erfolgte die Diskussion des Gesamtkonzepts und die Bewertung der Konzeptalternativen im Bereich der Digitalisierung. Hierauf aufbauend wurde ein Gesamtverfahren abgeleitet. Dieses sieht vor, zunächst die organisatorischen Maßnahmen und erste Maßnahmen im Bereich Digitalisierung umzusetzen, welche die Rückmeldedatenqualität und Transparenz erhöhen. So werden weitere Zeiterfassungsterminals und Shopfloor-Monitore in der Produktion eingeführt und die Granularität der Produktionsplanung erhöht.

Durch ein weiteres, verkürztes Durchlaufen der Schritte 1-5 kann anschließend identifiziert werden, ob und welche weiteren Maßnahmen aus dem Gesamtkonzept als nächste zu implementieren sind und inwiefern weitere bisher noch nicht vorgesehene Maßnahmen in das Konzept zu integrieren sind.

Nutzen für den Mittelstand

Das Projektbeispiel zeigt, dass die Digitalisierung insbesondere in KMU ein immer wichtigerer Faktor wird, jedoch insbesondere die kleineren Unternehmen Unterstützung und ein strukturiertes Vorgehen brauchen, um eine ganzheitliche und zielgerichtete Strategie für die digitale Transformation ihres Unternehmens ableiten zu können. Insbesondere in Anbetracht der momentan unsicheren wirtschaftlichen Situation gilt es dabei vielmehr darauf zu achten, dass Digitalisierungsmaßnahmen effizient und zielgerichtet sind und nicht zu einer zusätzlichen Belastung für das Unternehmen werden. Gleichzeitig müssen jedoch sinnvolle Maßnahmen ergriffen werden, um zukünftig wettbewerbsfähig am Markt agieren zu können.

Das dargelegte Vorgehen zeigt auch auf, dass im Bereich der Auftragsabwicklung Digitalisierungsansätze und Maßnahmen der organisationalen Verbesserung integriert betrachtet werden sollten, um sinnvoll und bedarfsgerecht „zu digitalisieren“. Bild 3 illustriert dies und zeigt auch weitere Werkzeuge, die genutzt werden können, um potenzielle Digitalisierungsmaßnahmen zu identifizieren. Durch eine solche integrierte Herangehensweise kann der finanzielle Aufwand stark gesenkt werden und die Gesamtzielerreichung maßgeblich gesteigert werden.

Autoren

Alexander Mütze

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Leibniz Universität Hannover und Experte für Produktionsplanung und -steuerung im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

Tim Kämpfer

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFA und Experte für logistikorientierte Bewertung von Produktportfolios und Optimierung der Auftragsabwicklung im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover



Drei Fragen an ... Tom Strating, KI-Trainer

Tom Strating ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) und KI-Experte am Mittelstand-Digital Zentrum Hannover.

Maschinelles Lernen und automatisiertes Verhalten eröffnen Unternehmen die Möglichkeit, Abläufe zu verbessern und Kosten zu senken. Unter diesen Gesichtspunkten führte Christian Baulig von brookmedia ein Kurzinterview mit KI-Trainer Tom Strating. Veröffentlicht wurde es auf dem Blog der Sparkasse Hannover.

Künstliche Intelligenz setzt sich in vielen Wirtschaftsbereichen durch. Profitieren auch kleine und mittlere Unternehmen davon?

Ja, sogar besonders stark. Sie können zeitraubende Aufgaben an die KI delegieren. Es erspart zum Beispiel eine Menge Verwaltungsaufwand, wenn Rechnungen von einer KI erfasst und bearbeitet werden. Im Kundenkontakt können sogenannte Chatbots Entlastung bringen, die regelmäßig anfallende Fragen auf der Website beantworten. Außerdem werden Prozesse besser planbar: In der Produktion lässt sich mittels KI etwa genau vorhersagen, wann Maschinenteile ersetzt werden müssen. Bei der Qualitätssicherung sind große Fortschritte durch moderne Bilderkennungsverfahren möglich, die Alarm schlagen, wenn Produkte fehlerhaft sind.

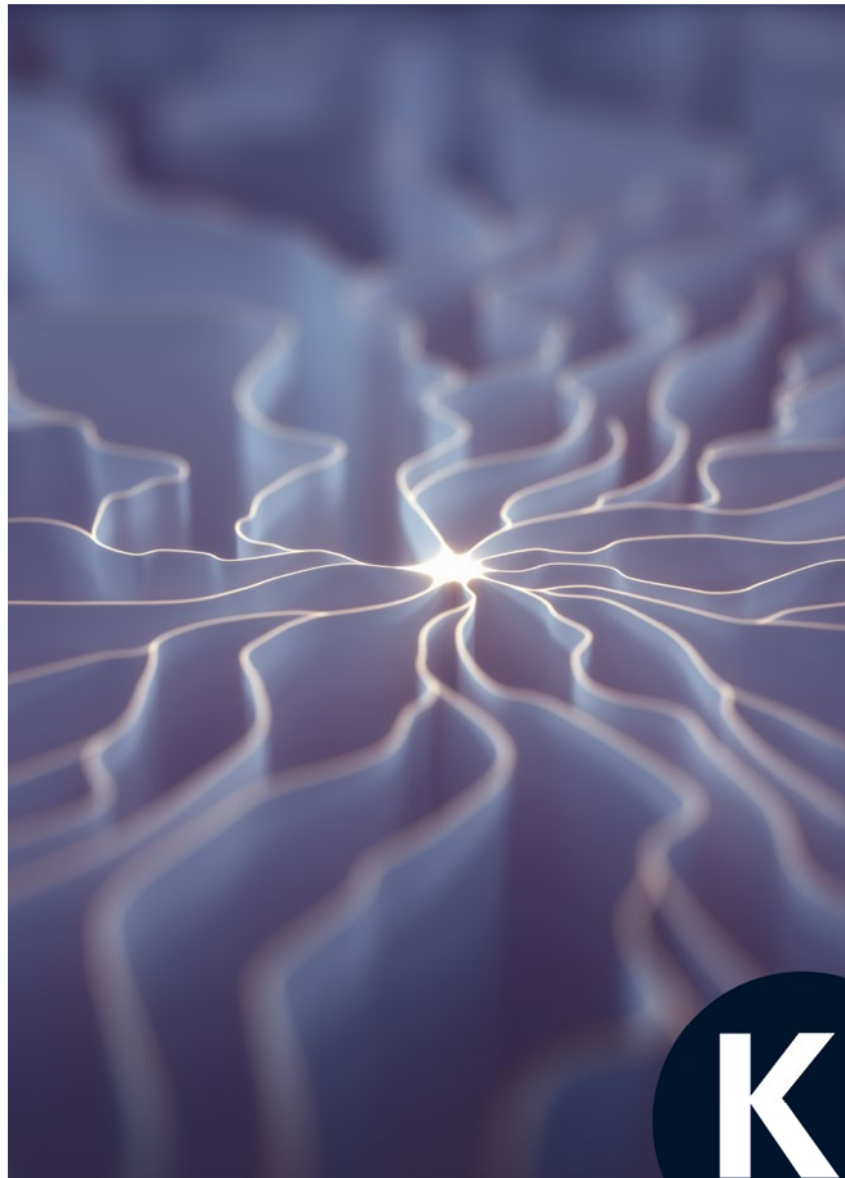
Wieviel Aufwand ist nötig, um solche Technologien zu nutzen?

Für zahlreiche Anwendungen stehen standardisierte Lösungen zur Verfügung, sodass kein Entwicklungsaufwand entsteht. Bei herkömmlichen Chatbots etwa fallen lediglich Lizenzgebühren und Kosten für die Implementierung an. Meist reicht auch die vorhandene Computer-Hardware aus, da viele KI-Anwendungen in der Cloud laufen. Entscheidend ist, dass die erforderlichen Daten für die KI im System verfügbar sind oder sich verfügbar machen lassen.

Wer sollte jetzt den Einstieg in das Thema wagen?

Grundsätzlich jedes Unternehmen, das bereits erste Schritte in Richtung Digitalisierung gemacht hat. Spezielle technische Kenntnisse sind nicht nötig. Beim Einsatz von KI geht es generell oft gar nicht darum, besonders innovativ zu sein, sondern einen finanziellen Vorteil zu erzielen. Der kann sich direkt durch eine Senkung von Kosten einstellen, aber auch indirekt – etwa dadurch, dass das Unternehmen für neue Kunden interessanter wird.





KI Mittelstand

KI-Anwendungen eröffnen dem Mittelstand ein breites Spektrum an Chancen, um die Wertschöpfung zu bereichern, indem Prozesse optimiert und neue Geschäftsmodelle generiert werden. Beispiele für KI-Anwendungen aus der aktuellen unternehmerischen Praxis sind die vorausschauende Wartung von Produktionsmaschinen durch die Sammlung, Analyse und Nutzung von Daten (Smart Data-Analysen), der Einsatz von Bilderkennung zur automatischen Sortierung von Dingen wie beispielsweise Batterien oder Lebensmittel oder die (Kunden-) Kommunikation mithilfe von textbasierten Dialogsystemen (Chatbots).

Bundesweit sind im Rahmen des Netzwerkes Mittelstand-Digital KI-Trainer*innen im Einsatz, um kleine und mittlere Unternehmen zu informieren. Die KI-Trainer*innen der Mittelstand-Digital Zentren klären mit Workshops, Unternehmensbesuchen, Vorträgen, Roadshows und vielen anderen Angeboten über das Thema Künstliche Intelligenz auf. Damit befähigen sie Unternehmen, Chancen und Herausforderung der neuen Technik zu erkennen und setzen mit ihnen zusammen konkrete Anwendungen um.

Mit **KI-Algorithmen** zur Verbesserung der Gesamtanlageneffektivität

Projekt-Abschlussbericht von Hubert Truchan

Im Zuge von Industrie 4.0 und leichter verfügbaren Sensoren wurden viele Produktionslinien automatisiert. Die Messwerte von Industriesensoren sind nun aus der Ferne abrufbar und können auf Dashboards visualisiert werden. Obwohl die Anzahl der Sensoren schnell zunimmt, wird es immer schwieriger, den Zustand von Maschinen und die Effizienz der Produktion zu interpretieren. Die überwältigende Anzahl von Sensoren und die durch sie erzeugten Daten können nicht in kurzer Zeit interpretiert werden. Das macht sie selbst für erfahrene Mitarbeitende unleserlich und verwirrend. Eine verbesserte Version der Gesamtanlageneffektivität (Overall equipment effectiveness – OEE) bietet hier eine flexible Methode, mit deren Hilfe alle

verfügbaren Sensorwerte kombiniert und in eine leicht interpretierbare Zahl, die den Produktionszustand zusammenfasst, umgewandelt werden können.

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover hat zusammen mit dem Unternehmen NovoAI UG einen verbesserten Workflow zur Berechnung der Gesamtanlageneffektivität durch die Einbeziehung von KI-Algorithmen entwickelt. In diesem multimodalen KI-Ansatz können Daten von jedem Industriesensor zur Berechnung der OEE verwendet werden. Dadurch ist er flexibel und kann in die bestehende Produktionslinie integriert und durch Hinzufügen neuer Sensoren modernisiert werden.

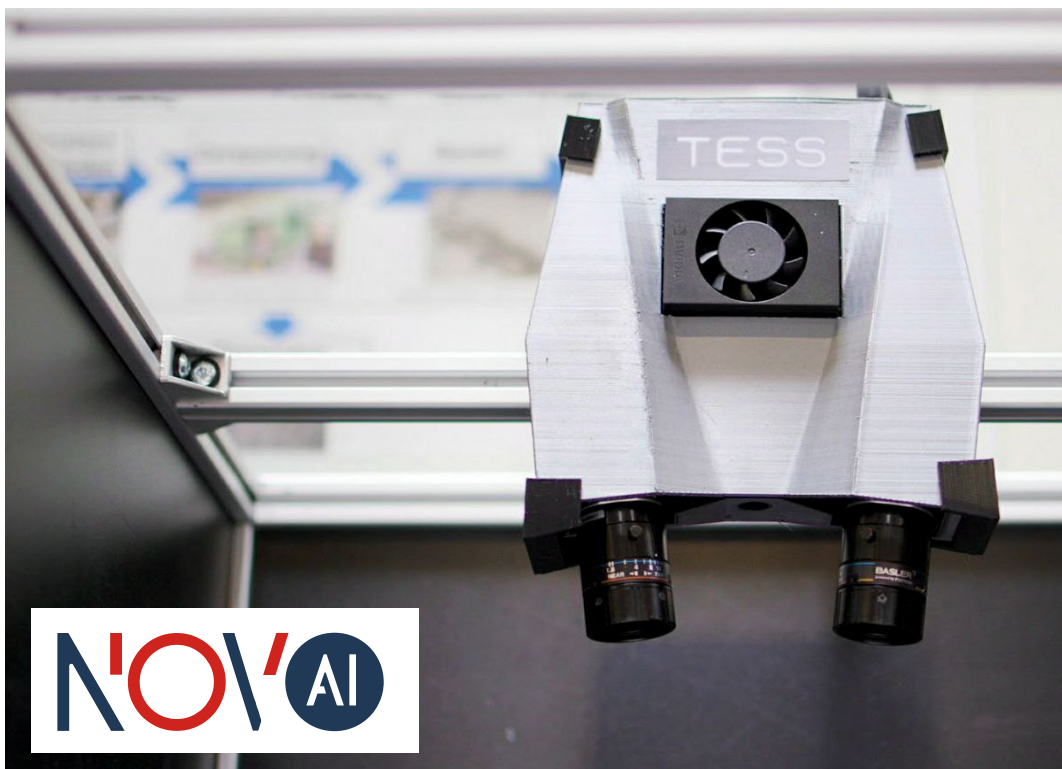


Bild 1 Ein Stereovisionsassistent (TESS) nimmt Bilder von Produkten für die automatische Qualitätsprüfung auf.

Unternehmen

Die NovoAI UG aus Hannover ist ein kleines mittelständisches Unternehmen mit derzeit vier Mitarbeitern. Das Unternehmen stellt Geräte zur Überwachung der Maschinen- und Produktzustände sowie intelligente Dashboards (WatchMen) für den industriellen Einsatz in Unternehmen aus dem Produktions- und Logistikbereich her. Zu dem Portfolio von NovoAI gehören AVA, ein akustischer und vibrationsanalytischer Sensor, und TESS, ein persönlicher Stereovisionsassistent für die automatisierte Qualitätsprüfung von Produkten. Das Leistungsspektrum des Unternehmens umfasst die Entwicklung und Montage der Sensoren in Kombination mit Edge-Data-Analytik.

Problemstellung

Die OEE ist ein quantitativer Indikator für die Effizienz von Produktionsanlagen und besteht aus drei Hauptfaktoren: Verfügbarkeit, Leistung und Qualität. Während die ersten beiden Faktoren relativ einfach zu berechnen sind, stellt die Schätzung der Produktqualität eine große analytische Herausforderung dar.

Die Schätzung der Produktqualität, die zur Berechnung des Qualitätsverlustes benötigt wird, ist ein wesentlicher Faktor der OEE. Die Produkte werden anhand ihrer Qualität in zwei Klassen eingeteilt (gut, schlecht), weshalb die Faktoren definiert werden müssen, die die Qualität bestimmen. Die Qualität des Produkts kann zum Beispiel durch die Beschaffenheit der Oberfläche (Rauheit), die Reproduzierbarkeit der Form des Modells oder durch das Vorhandensein von Fehlern und Anomalien bei der Verarbeitung des Materials beeinflusst werden. Um die Qualität als Faktor zu berechnen, werden die Anzahl der „guten Outputs“ und der „Gesamtoutputs“ als Parameter benötigt. Während die Gesamtoutputs mit einem einfachen Anwesenheitssensor gezählt werden können, erfordert die Berechnung der Qualität gewisse Produktkenntnisse, um sie richtig zu beurteilen.

Herkömmliche Ansätze ermitteln die Produktqualität entweder manuell durch die visuelle Beurteilung eines Mitarbeitenden oder automatisch durch eine einzelne Signalmodalität, sprich Zeitreihensignale oder Bilder. Bei Zeitreihensignalen wird die Produktqualität anhand der von den Industriesensoren erfassten Daten mit der sogenannten Soft-Sensor-Technik grob geschätzt, bei der Qualitätsbeurteilung durch Bilder wird das Produkt direkt anhand eines Produktfotos bewertet. Soft-Sensor-Techniken und Bilderkennung sind mit Einschränkungen verbunden, wie beispielsweise mit Ungenauigkeiten aufgrund einer geringen Verteilung der Trainingsdaten oder einer allmählichen Veränderung der Testdatenverteilung (Signaldrift). Hinzu kommen ein starker Einfluss von Umweltfaktoren auf die Sensorergebnisse und die Anfälligkeit des Systems für Sensorausfälle. In dem Projekt mit der NovoAI UG sollten diese Einschränkungen durch die Kombination von Soft-Sensor-Techniken und Bilderkennung überwunden werden: Die Zeitreihen- und Bilddaten werden dabei als Input für das KI-Modell verwendet, um die Produktqualität und die OEE genauer zu berechnen.

Lösungsweg

Im Projekt haben das Mittelstand-Digital-Zentrum Hannover und NovoAI eine verbesserte Version der OEE-Berechnung entwickelt, bei der der Qualitätsverlust durch die Zusammenführung der Signale von industriellen Zeitreihensensoren und einer Industriekamera berechnet wird, um die Einschränkungen der einzelnen Signalmodalitäten zu überwinden. Die Kombination zweier schwacher Modelle soll zu einer besseren Darstellung der zugrunde liegenden Signalverteilung führen. Auf dieser Grundlage werden die singulären KI-Modelle kombiniert, um ein System zu schaffen, das resistenter gegen Störungen und Fehler ist. Die grundlegenden KI-Modelle, die für Soft-Sensoring und Bilderkennung verwendet werden (sogenannte unimodale Modelle), verwenden als Eingabe nur einen Typ von Trainingsdaten, z. B. Sensorsignale, Werkzeugbilder, Protokolldateien in Textform, Tabellen- und 3D-Scans des Produkts. Nach dem

Training der unimodalen KI-Modelle werden diese Modelle mit Hilfe einer der Fusionstechniken zusammengeführt. Die Wahl der Technik hängt von der Art des KI-Algorithmus (z. B. neuronale Netze, Entscheidungsbäume) und der Art der Daten ab, mit denen das Modell trainiert wurde. Bei neuronalen Netzen beispielsweise erfolgt die Zusammenführung durch Kombination der Schichten des Netzes, meist der mittleren Schichten („latent space“) oder der letzten Schichten („output layer“). Im Falle von zwei maschinellen Lernmodellen (z. B. Entscheidungsbäumen) erfolgt die Zusammenführung durch die arithmetische Kombination der Ausgaben der Modelle. Der Schwerpunkt dieses Projekts lag auf der Verbesserung der Genauigkeit der Produktqualitätsschätzung durch die Zusammenführung von zwei neuronalen Netzen, die für Signale und für Stereo-Vision-Signale trainiert wurden, indem ihre mittleren Schichten kombiniert wurden.

Gesamtanlageneffektivität Overall equipment effectiveness - OEE

Die OEE ist ein Best Practice in der Fertigung und ein wichtiges Instrument der Total Productive Maintenance (TPM), um Beeinträchtigungen der Produktion durch Verluste zu reduzieren und zu beseitigen. Sie ist ein Faktor, der für jede Maschine leicht definiert und in kurzer Zeit berechnet werden kann, um die Daten aus der Produktion zu interpretieren und die Verluste durch Ausfallzeiten sowie bei Leistung und Qualität zu minimieren. Diese Verluste kommen durch unterschiedliche Faktoren zustande. Die Verluste durch Ausfallzeiten können z. B. durch defekte Geräte, Änderung der Maschineneinstellungen und Anpassungen verursacht werden. Außerdem erhöhen Maschinenstillstand und kurze Pausen sowie die Verringerung der Produktionsgeschwindigkeit die Leistungsverluste. In Bezug auf die Qualität entstehen Verluste durch Mängel und Reparaturen sowie beim Anfahren von Maschinen. Durch die Auswertung der OEE und der zugrundeliegenden Verluste lassen sich wichtige Erkenntnisse darüber gewinnen, wie der Fertigungsprozess systematisch verbessert werden kann.

Das Kernkonzept dieser Methodik liegt in der folgenden Formel:

$$OEE = \frac{\text{Nutzungszeit der Ausrüstung}}{\text{Verfügbare Zeit der Ausrüstung}} \quad (1)$$

Die Nutzungszeit der Ausrüstung ist die Zeit, in der die Ausrüstung Produkte guter Qualität produziert. Die verfügbare Zeit der Ausrüstung ist die Zeit, in der die Maschine produzieren soll.

Die Differenz zwischen Nutzungszeit und verfügbarer Zeit ergibt sich aus Nutzung, Leistung und Qualität. Die gebräuchlichste Darstellung der Beziehung für die Berechnung der OEE verwendet die folgenden drei Indikatoren:

$$OEE = \text{Verfügbarkeit} \times \text{Leistung} \times \text{Qualität} \quad (2)$$

Die folgenden Definitionen und Formeln werden für die Berechnung der angegebenen Indikatoren verwendet:

Verfügbarkeit

Das Verhältnis zwischen Betriebszeit und verfügbarer Zeit. Die Betriebszeit ist die Zeit, in der die Maschine tatsächlich eingeschaltet ist und läuft. Die verfügbare Zeit ist die Zeit, in der die Maschine voraussichtlich laufen wird. Die Berechnung erfolgt mit dieser Formel:

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{Betriebszeit}}{\text{Ladezeit}} \quad (3)$$

wobei die Betriebszeit die tatsächliche Zeit ist, in der die Maschine läuft, und die Ladezeit die Zeit ist, in der die Maschine voraussichtlich laufen wird.

Leistung

Das Verhältnis zwischen dem tatsächlichen Produktionsoutput und dem geplanten Produktionsoutput. Für die Berechnung wird die folgende Formel verwendet:

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Gesamtoutput}}{\text{Potentieller Output}} \quad (4)$$

wobei der Gesamtoutput die Gesamtzahl der produzierten Produkte und der potenzielle Output die geplante Menge an Produkten ist.

Qualität

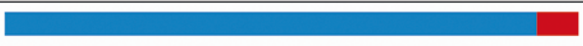



Das Verhältnis zwischen der Anzahl der OK-Produkte und der Anzahl aller Produkte. Für die Berechnung wird die folgende Formel verwendet:

$$\text{Qualität} = \frac{\text{Gute Outputs}}{\text{Gesamtoutput}} \quad (5)$$

wobei guter Output die Anzahl der hochwertigen Produkte und der Gesamtoutput die Anzahl aller produzierten Produkte ist.

Bild 2

Visualisierung der vier Produktionsverluste

Verlustanalyse		
Verluste durch Organisation		7.10 %
Verluste durch Ausfallzeiten		16.80 %
Verluste bei der Leistung		2.90 %
Verluste bei der Qualität		4.70 %

Umsetzung

Zur Erreichung des Ziels, einen neuen Ansatz für die OEE-Berechnung zu entwickeln und eine flexible Methode zu schaffen, die es erlaubt, jede Art von Industriesensor zu verwenden, entwickelt das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover eine neue Art von Sensor-Fusion-Workflow. Um die OEE an der Produktionslinie zu implementieren und den Maschinenzustand in Echtzeit zu bewerten, müssen mehrere Schritte unternommen werden.

Jedes Projekt beginnt mit der Auswahl der Maschine, für die die OEE berechnet werden soll. Im nächsten Schritt werden die Industriesensoren an der Maschine installiert und die Industriekamera angebracht, um die Bilder der produzierten Teile zu erfassen. Anschließend werden die Daten gesammelt und ihre Qualität mit Hilfe von Signalvorverarbeitungstechniken verbessert. Nachdem die Daten gesammelt wurden, können die unimodalen KI-Modelle trainiert und kombiniert werden. Im Folgenden kann die OEE auf der Grundlage der verfügbaren Variablen berechnet werden. Der letzte Schritt ist die Systemimplementierung auf der Hardware, die als Stand-by-Lösung verwendet werden kann.

Schritte zur OEE-Implementierung

1. Sensor-Installation an der Produktionslinie

- Auswahl der Maschine
- Definieren der relevanten Sensoren
- Anbringen der Industriekamera

2. Sammeln und Beschriften der Daten

- Sammeln und Etikettieren der Daten
- Überprüfung der Datenqualität
- Vorverarbeitung der Signale

3. Training von KI-Modellen

- Aufbereiten und Aufteilen der Trainingsdaten
- Trainieren von KI-Modellen mit Hilfe von Transfer-Learning-Techniken
- Einstellen der Hyperparameter mit der AutoML-Optimierungsmethode

4. OEE-Berechnung

- Kombination von unimodalen KI-Modellen
- Berechnung der OEE anhand der drei Hauptvariablen Verfügbarkeit, Leistung und Qualität

5. Implementierung der Hardware

- Ausführen der Software auf dem PC oder spezieller Entwicklungshardware
- bei dedizierter Hardware Modelkonvertierung und Quantifizierung der Gewichte

Nutzen für den Mittelstand

Der im Projekt mit der NovoAI UG entwickelte Ansatz kann von jedem Unternehmen verwendet werden, das über Industriemaschinen verfügt und die OEE berechnen möchte. Jedes Unternehmen kann in kurzer Zeit ein Werkzeug entwickeln, das es erlaubt, die Daten aus der Produktion zu interpretieren und die Produktionsverluste zu minimieren. Die Methode ist sehr flexibel und kann entweder mit einer Art von Daten (unimodal) oder mit vielen Arten von Daten (multimodal) verwendet werden, z. B. Sensordaten (Kräfte, Beschleuniger), binäre Sensoren (Anwesenheit, Licht, magnetisch), Tabellendaten über Prozessdaten, Stereokameras, 3D-Scans von Produkten oder Text aus Protokollen.

Viele Unternehmen verfügen bereits über eine Art von Datenmodalität in Form von an der Maschine montierten Zeitreihensensoren oder installierten kamerabasierten Qualitätsprüfungen, die als Eckpfeiler eines zukünftigen Systems zur Berechnung der OEE dienen könnten. Darüber hinaus ist der entwickelte multimodale Ansatz flexibel und ermöglicht es, von der Synergie bereits vorhandener Sensoren zu profitieren oder die Genauigkeit der Produktqualitätsschätzung durch Hinzufügen neuer Sensoren zu verbessern. Die Methode ermöglicht es, die Produktionsverluste zu lokalisieren und zu interpretieren, was die Anzahl der produzierten anomalen Teile reduziert und somit die Produktionskosten durch die Verringerung des Material- und Energieverbrauchs senkt. Je weniger Materialien für die Produktion verwendet werden, desto weniger Umweltverschmutzung wird emittiert; daher wird die Produktion ökologischer und nachhaltiger. Darüber hinaus wird das Produkt durch die Steigerung der Effizienz der Produktion und die Senkung der Produktionsstückkosten attraktiver und das Unternehmen wird auf dem Markt wettbewerbsfähiger.

Zusätzlich können die intuitiven Visualisierungen und leicht interpretierbaren Produktionsverlustvariablen in der grafischen Benutzeroberfläche aufbereitet werden. Die Visualisierung ermöglicht es auch weniger erfahrenen Mitarbeitenden, den Produktionsstatus zu überwachen, während erfahrene Mitarbeitende für andere Aufgaben eingesetzt werden können. Die vorgeschlagenen Lösungen können von allen produzierenden Unternehmen aus den Bereichen Energie, Fertigung, Automobil, Elektronik, Pharmazie, Ressourcen, High-Tech und Informationstechnologie eingesetzt werden.

Autor

Hubert Truchan

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Forschungszentrum L3S sowie
Projektingenieur und KI-Trainer
am Mittelstand-Digital Zentrum
Hannover

Baukasten für die effiziente Optimierung von Prozessparameterwerten

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, Heinrich Klemme, Svenja Reimer, Heiko Blech

Bei der Fräsbearbeitung das volle Leistungspotenzial der Maschine ausschöpfen? Gar nicht so einfach. Sind die Werte für Schnitttiefe, -breite und Drehzahl nicht optimal gewählt, treten selbst bei leistungsfähigen Maschinen und Werkzeugen unerwünschte Ratterschwingungen auf. Die Wahl optimaler Werte für diese Prozessparameter erfordert bislang viel Expertenwissen, aufwändige experimentelle Untersuchungen und komplexe Simulationen. Am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) werden im Projekt „Lernende Werkzeugmaschine“ daher Methoden entwickelt, um die Bestimmung optimaler Parameterwerte deutlich zu vereinfachen.

Eine der größten Herausforderungen bei der Fräsbearbeitung sind selbsterregte Schwingungen - die sogenannten Ratterschwingungen. Diese führen zu einer unzureichenden Oberflächenqualität der

Werkstücke, erhöhtem Werkzeugverschleiß und können sogar die Maschine schädigen. Zur Vermeidung von Ratterschwingungen werden Prozesse meist mit geringen Schnitttiefen und Schnittbreiten durchgeführt. Dadurch wird die Leistungsfähigkeit der Maschine jedoch nicht voll ausgenutzt, d. h. die Produktivität wird herabgesetzt. Die Grenzschnitttiefe bzw. -breite ab der Ratterschwingungen entstehen, hängt maßgeblich von der gewählten Spindeldrehzahl ab.

Der Zusammenhang zwischen Spindeldrehzahl und Grenzschnitttiefe bzw. -breite ist jedoch von vielen Faktoren abhängig und kann nicht durch einfache Regeln abgebildet werden. So konnten beispielsweise bei experimentellen Untersuchungen mit einem Wendeschneidplattenfräser in Stahl (C45W) an einem 5-Achs-Bearbeitungszentrum DMG Mori HSC 30 linear signifikant unterschiedliche Stabilitätsgrenzen ermittelt werden, abhängig davon, ob ein Hydrodehnspannfutter oder ein Schrumpffutter eingesetzt wird. Diese Abweichungen betragen bis zu 300 %. Die

für diese beiden Werkzeugaufnahmen experimentell ermittelten Stabilitätsgrenzen sind in Bild 1 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Stabilitätsgrenze durch die Verwendung von unterschiedlichen Spannfuttern nicht nur verschoben wird, sondern dass sich auch der qualitative Verlauf der Stabilitätsgrenze ändert. Dieses einfache Beispiel zeigt, wie groß die Herausforderung ist, den Verlauf der Stabilitätsgrenze präzise vorherzusagen und dadurch optimale Prozessparameterwerte zu identifizieren.

Aufwändige Ermittlung optimaler Werte für Prozessparameter

Bislang erfolgt die Wahl optimaler Parameterwerte zur Erzielung eines maximalen Zeitspannvolumens hauptsächlich durch zeitaufwändige experimentelle Untersuchungen bei denen verschiedene Prozessparameterwerte getestet werden. Zur Reduzierung dieses experimentellen Aufwands wurden in zahlreichen Forschungsarbeiten bereits physikalische Prozessmodelle entwickelt. Auf Basis dieser Modelle

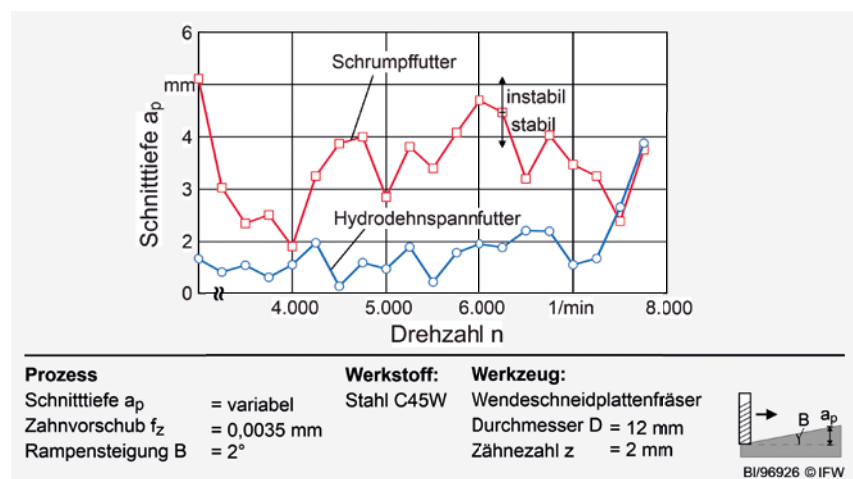
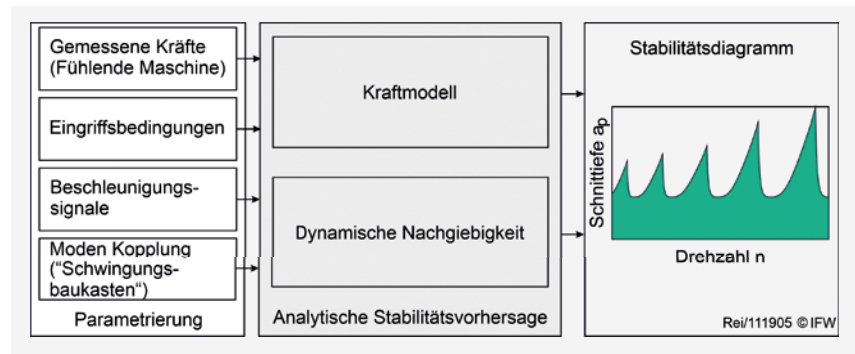


Bild 2
Ablauf der analytischen
Vorhersage der
Prozessstabilität



kann der Verlauf der Stabilitätsgrenze durch analytische Berechnungen ermittelt werden.

Für die Parametrierung dieser Simulationen sind bislang jedoch zeit- und kostenintensive Experimente zur Bestimmung des Schwingungsverhaltens und der im Prozess wirkenden Kräfte notwendig. Aufgrund der vielfältigen Einflüsse müssen diese Experimente für jede Kombination aus Werkzeugmaschine, Werkzeughalter, Werkzeug und Werkstückwerkstoff erneut durchgeführt werden. Insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ist dieser Aufwand zur Prozesseinrichtung daher nicht wirtschaftlich. Zudem fehlen gerade bei KMU Fachkräfte und Mess-equipment, um notwendige Messungen vorzunehmen. Meist wird daher eine verminderte Produktivität durch konservativ gewählte Prozessparameterwerte in Kauf genommen.

Um die analytische Stabilitätsvorhersage auf Basis von physikalischen Prozessmodellen auch für KMU attraktiv zu machen,

werden im DFG-geförderten Projekt „Lernende Werkzeugmaschine“ Methoden zur Reduzierung des manuellen Aufwands für die Parametrierung der analytischen Stabilitätsvorhersage entwickelt. Dies bezieht sich insbesondere auf die Parametrierung der in Bild 2 dargestellten wesentlichen Komponenten der analytischen Stabilitätsvorhersage: Einem Kraftmodell zur Berechnung der Zerspankraft und der ermittelten dynamischen Nachgiebigkeit des Gesamtsystems, bestehend aus Maschine, Werkzeug und Werkzeughalter. Neben der initialen Parametrierung dieser Komponenten wird eine fortlaufende Aktualisierung der ermittelten Modellparameterwerte benötigt, da sich die Prozessstabilität zum Beispiel durch Werkzeugverschleiß, im Prozess verändern kann.

Nur durch solche Methoden zur aufwandsarmen und automatisierten Parametrierung und Aktualisierung des Kraftmodells sowie zur Bestimmung der dynamischen Nachgiebigkeit des Gesamtsystems ist ein Einsatz der analytischen Stabilitätsvorhersage zur Optimierung von Prozessparamet-

terwerten in KMU möglich. Der am IFW hierfür entwickelte Ansatz wird im Folgenden beschrieben.

Kräfte messen mit der Fühlenden Maschine

Als Grundlage für die einfache und automatisierte Parametrierung des Kraftmodells wurde am IFW ein „Fühlender Spindelschlitten“ entwickelt. Dieser ermöglicht die richtungsaufgelöste Bestimmung der im Prozess wirkenden Kräfte auf Basis von Dehnungsmessstreifen. Dabei wurden insgesamt sechs Halbleiter-Dehnungsmessstreifen am Spindelschlitten eines 5-Achs-Bearbeitungszentrums DMG Mori HSC 30 linear appliziert. Durch die im Prozess wirkenden Kräfte verformt sich der Spindelschlitten minimal. Die dadurch erzeugten lokalen Dehnungen im Bereich von wenigen Mikrometern können mit den Halbleiter-Dehnungsmessstreifen präzise erfasst werden. Mithilfe einer Kalibriermatrix werden aus den gemessenen Dehnungen der einzelnen Sensoren wiederum die Kräfte in die drei Raumrichtungen X,

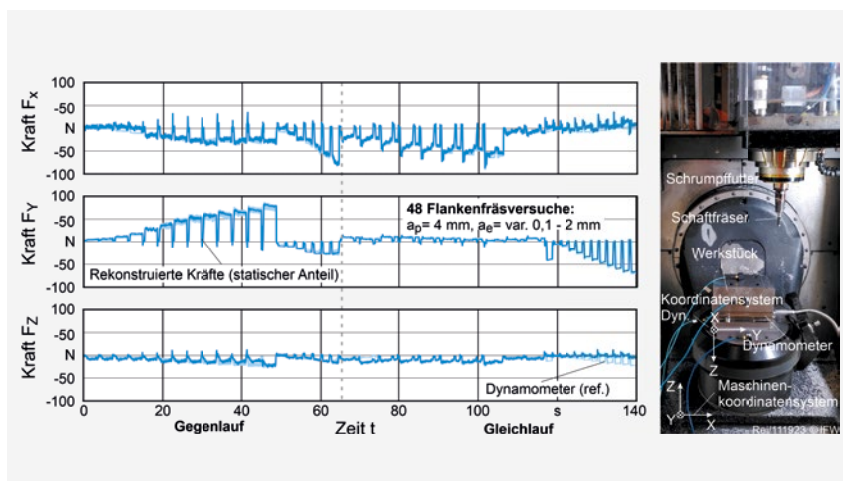
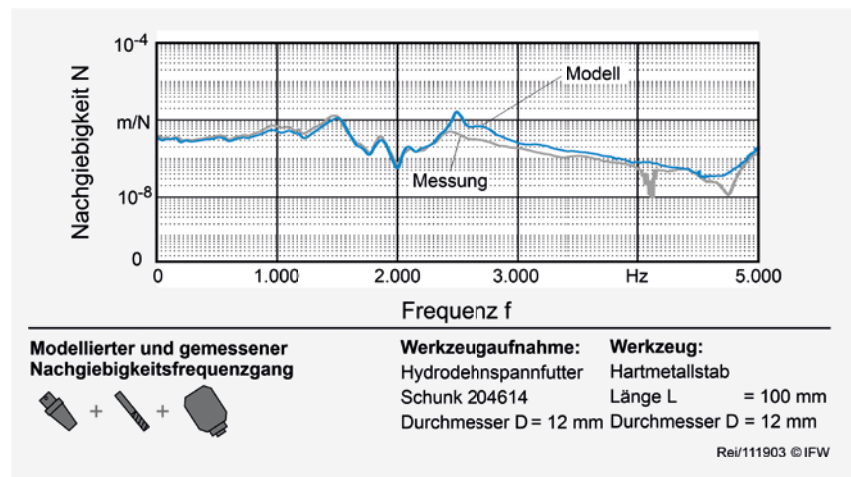


Bild 3
Vergleich Dynamometer und
fühlender Spindelschlitten

Bild 4
Modellierung der dynamischen
Nachgiebigkeit des Gesamtsystems
durch Moden-Kopplung



Y und Z berechnet. Diese Technologie ermöglicht eine, im Vergleich zur Kraftmessung mit einem Dynamometer, kostengünstige Erfassung von im Prozess wirkenden Kräften ohne den Prozess durch Störkonturen zu beeinflussen.

In Bild 3 sind die mit den Halbleiter-Dehnungsmessstreifen rekonstruierten Prozesskräfte im Maschinenkoordinatensystem für Flankenfräsprozesse mit einem Bauteil aus Aluminium EN AW-7075 dargestellt. Im Vergleich zur Referenzkraftmessung mit einem Kistler Tisch-Dynamometer liegt der mittlere quadratische Fehler der Kraftrekonstruktion in X-Richtung durchschnittlich bei 2,5 N, in Y-Richtung bei 2,0 N und in Z-Richtung bei 2,3 N. Die Streuung bei der Kraftmessung liegt in X-Richtung im Bereich von 5,0 N, in Y-Richtung bei 2,0 N und in Z-Richtung bei 10,0 N. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Parametrierung eines Zerspankraftmodells mithilfe des fühlenden Spindelschlittens prinzipiell möglich ist. In Zukunft sollen die so ermittelten Kräfte zusammen mit den real vorliegenden Eingriffsbedingungen für eine automatisierte und prozessparallele Parametrierung des Kraftmodells für die Stabilitätsberechnung genutzt werden. Die hierfür benötigten Informationen über die Eingriffsbedingungen werden durch eine prozessparallele, echtzeitfähige Abtragssimulation (IFW CutS) berechnet. Die Simulation dient also als eine Art Softsensorik, die mit den Sensordaten aus dem fühlenden Spindelschlitten verknüpft wird. Diese fortlaufende Datenerfassung ermöglicht in Zukunft eine prozessparallele Anpassung des Kraftmodells bei zeit-

lichen Veränderungen (z. B. durch Werkzeugverschleiß).

Zur Identifikation des Schwingungsverhaltens des Gesamtsystems wird das Schwingungsverhalten der einzelnen Werkzeuge, Werkzeughalter und der Spindel in einer Art „Schwingungsbaukasten“ hinterlegt. Das Schwingungsverhalten des Gesamtsystems kann so einfach und modular durch eine sogenannte Moden-Kopplung aus den Teilsystemen zusammengesetzt werden. Die notwendigen Messungen zur Identifikation des Schwingungsverhaltens der einzelnen Werkzeuge bzw. Werkzeughalter könnten direkt bei den Werkzeugherstellern durchgeführt und als eine Art digitales Datenblatt zu dem Werkzeug mitgeliefert werden.

In Bild 4 sind der durch Moden-Kopplung modellierte und der gemessene Nachgiebigkeitsfrequenzgang (NFG) für eine Konfiguration aus einer Werkzeugmaschine DMG Mori HSC 30 linear, einem Hydrodehnspannfutter Schunk 204614 und einem Hartmetallstab als Testwerkzeug dargestellt. Wie in der Abbildung zu sehen, stimmen die Eigenfrequenzen des modellierten und des gemessenen NFG bei 1.476 Hz, 1.850 Hz, 2.096 Hz und 2.432 Hz in der Frequenz bis auf Abweichungen von max. 2,1 % überein. Die Abweichungen in der Amplitude von mehr als 200 % oberhalb von 2,4 kHz resultieren aus Modellvereinfachungen und Messungenauigkeiten. Da insbesondere die ersten Eigenfrequenzen für die Stabilitätsberechnung relevant sind, ist die Abweichung in diesem Frequenzbereich

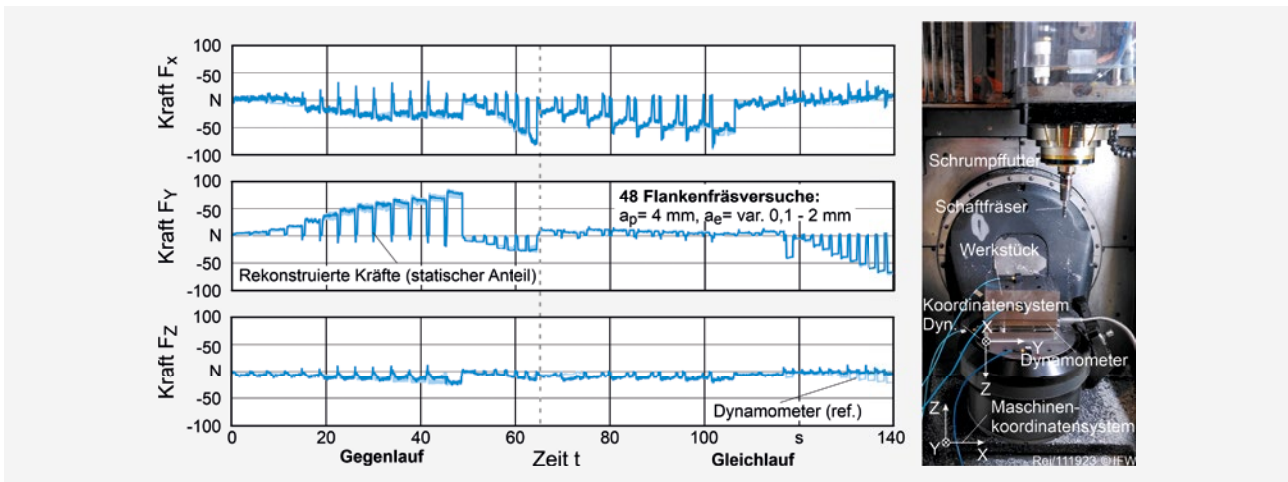


Bild 5

- a) Identifikation des Schwingungsverhaltens der Einzelkomponenten;
- b) Messung des Gesamtsystems

jedoch unkritisch. Welche Auswirkungen diese Abweichungen allerdings genau auf die Vorhersage der Stabilitätsgrenze haben und wie die Modellqualität durch Prozessdaten verbessert werden kann, wird im laufenden Forschungsprojekt weiter erforscht.

Für die Erstellung des modellierten NFG wurde einmalig das Frequenzspektrum an der Spindelschnittstelle durch Modalmessungen identifiziert. Das Schwingungsverhalten der einzelnen Komponenten (Bild 5a) und des Gesamtsystems (Bild 5b) wurden mithilfe eines Laservibrometers ermittelt. Für die Identifikation des Schwingungsverhaltens von Werkzeug und Spannfutter wurde das Werkzeug bzw. das Spannfutter so aufgehängt, dass beide Enden frei schwingen können (Bild 5a). Die Anregung erfolgte durch einen Modalhammer.

Die volle Leistungsfähigkeit der Maschinen ausschöpfen

Um auch zeitliche Veränderungen im Schwingungsverhalten abzubilden und so Modellunsicherheiten zu reduzieren, werden, neben den Kräften, zusätzlich durch einen Beschleunigungssensor Schwingungs-

daten im Prozess aufgezeichnet. In aktuellen Forschungen wird untersucht, wie das so gemessene tatsächliche Schwingungsverhalten für bestimmte Eingriffsbedingungen fortlaufend mit den im Modell berechneten Schwingungen abgeglichen werden kann. Anhand der Differenz zwischen modellierter und gemessener Schwingung wird das Prozessmodell in Zukunft kontinuierlich verbessert und angepasst.

Durch die am IFW entwickelten Methoden wird somit erstmalig eine einfache und schnelle Parametrierung von Prozessmodellen zur Schwingungssimulation möglich. Die ermittelten Werte der Simulationsparameter sollen in Zukunft automatisiert im Simulationsmodell hinterlegt werden. Zudem soll eine Nutzerapplikation umgesetzt werden, die eine einfache Anwendung der Simulation und eine teilautomatisierte Berechnung optimaler Prozessparameterwerte ermöglicht. So können auch KMU effizient und wirtschaftlich optimale Prozessparameterwerte bestimmen um die volle Leistungsfähigkeit ihrer Maschinen auszunutzen. Das Projekt stellt daher einen wertvollen Beitrag hin zur einer perspektivisch autonomen Prozessoptimierung dar.

Die Autoren danken der Vollmer Stiftung für die Unterstützung der wissenschaftlichen Arbeiten sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Unterstützung des Projekts „Autonome Berechnung von Stabilitätsgrenzen auf Basis sensorischer Strukturkomponenten eines Fräszentrums“.

Autor*innen

Prof. Dr.-Ing.

Berend Denkena

Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Leibniz Universität Hannover

Heinrich Klemme

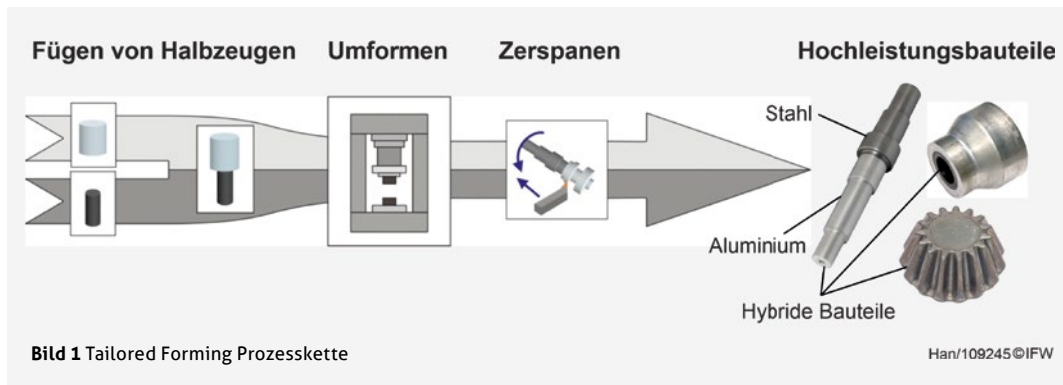
Bereichsleiter Maschinen und Steuerungen, IFW

Svenja Reimer

Abteilungsleiterin Prozessüberwachung und -regelung, IFW

Heiko Blech

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, IFW



Maschinelles Lernen erhöht Prozesssicherheit in der Zerspanung von Tailored Forming Bauteilen

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, Heinrich Klemme, Miriam Handrup

Um die zunehmende Automatisierung der Produktion zu realisieren, ist es notwendig, Fertigungsprozesse zu überwachen und Fehler frühzeitig zu detektieren. Das ist besonders bei hybriden Massivbauteilen eine Herausforderung, da hier große Fertigungsvarianzen in der Prozesskette auftreten. Um die Überwachung der Zerspanung sicherzustellen und so die Prozesssicherheit zu erhöhen, erforscht das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) Methoden des Maschinellen Lernens.

In den vergangenen Jahren sind die Anforderungen an technische Bauteile vor allem in der Automobil- und Flugzeugindustrie stetig gestiegen. Diese Entwicklung ist dem Wunsch nach immer leistungsfähigeren Produkten geschuldet, die, neben einem geringeren Gewicht, einer kleineren Bauweise und erweiterter Funktionalität, zudem eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber bestimmten Beanspruchungsarten aufweisen müssen. Monomaterialbauteile stoßen bei diesen Anforderungen mehr und mehr an ihre Grenzen.

Eine signifikante Steigerung der Leistungsfähigkeit der Produkte ist daher vor allem durch die Kombinati-

on von verschiedenen Werkstoffen und somit durch lokal angepasste Eigenschaften zu erreichen. So können aus Werkstoffverbunden gefertigte hybride Hochleistungsbauteile durch Masseinsparung besonders zur Einsparung von Treibstoff eingesetzt werden. Gleichzeitig kann der Einsatz teurer, hochlegierter Werkstoffe reduziert werden, indem diese nur an den Stellen im Bauteil eingesetzt werden, wo entsprechend hohe Anforderungen an den Werkstoff gestellt werden.

Die Erschließung der Potenziale hybrider Massivbauteile und die dafür notwendige Entwicklung fertigungstechnischer Verfahren ist das Ziel des Sonderforschungsbereiches (SFB) 1153 („Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming“). Exemplarisch werden im SFB Halbzeuge aus Aluminium und Stahl gefügt, umgeformt und auf ihr Endmaß zerspanen. Im Gegensatz zu bestehenden Fertigungsprozessen von hybriden Massivbauteilen, bei denen der Fügeprozess erst während oder nach der Umformung erfolgt, werden im SFB maßgeschneiderte Halbzeuge verwendet, die vor dem Formgebungsprozess gefügt werden.

Die Tailored Forming Prozesskette ist in Bild 1 zu sehen. Das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hanno-

ver beschäftigt sich im Rahmen des SFB 1153 mit der Zerspanung der hybriden Massivbauteile. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Sicherung der Produktqualität mit Hilfe von innovativen Prozessüberwachungsansätzen.

Fertigungsvarianzen hybrider Massivbauteile verringern Sensitivität konventioneller Überwachungsansätze

Hybride Massivbauteile besitzen fertigungsbedingt große Varianzen. Ein Beispiel sind Aufmaßschwankungen, hervorgerufen durch die Toleranzen infolge des Umformprozesses. Nach DIN-EN10243 besitzen beispielsweise geschmiedete Wellen mit einem Nenndurchmesser von 30 mm eine Toleranz von 0,5 mm bis +0,9 mm. Zudem ist insbesondere bei hybriden Massivbauteilen die Varianz des Werkstoffübergangs eine Herausforderung, da sowohl die Position des Übergangs als auch die Ausprägung der Fügezone deutlich variieren können.

Besonders für die Überwachung des Zerspanprozesses stellen diese Fertigungsvarianzen ein Problem dar, da konventionelle statistische Prozessüberwachungsansätze für die Serienfertigung (bspw. Hüllkurven) nicht zur Überwachung genutzt werden können. Der Grund hierfür ist das Aufweiten der Hüllkurven durch die fertigungsbedingten Varianzen der Bauteile.

Ein Beispiel dafür ist in Bild 2 dargestellt. Hier wurden zehn hybride Wellen aus Aluminium (EN AW-6082) und Stahl (20MnCr5) mit gleichem Nenndurchmesser in einem Längsdrehprozess ohne Prozessfehler

zerspan. Dabei befindet sich erst das Aluminium und dann der Stahl im Schnitt. Die mit einem Dynamometer gemessene Zerspankraft $F_{Z,1-10}$ der zehn Prozesse (grau) ist in Bild 2b zu sehen. Aufgrund der Werkstoffeigenschaften ist die Zerspankraft im Aluminium deutlich geringer als im Stahl und steigt daher im Werkstoffübergang sprunghaft an.

In statistischen Prozessüberwachungsansätzen wird, abhängig von einem definierten Sicherheitsfaktor, eine untere und eine obere Überwachungsgrenze L_{low} und L_{up} um einen Erwartungswert definiert. Liegt das zu überwachende Signal zwischen den beiden Grenzen, ist der Prozess fehlerfrei. Ist das Signal außerhalb dieser Grenzen, wird ein Fehler detektiert. Der Abstand der Grenzen zum Mittelwert ist dabei abhängig von der Streubreite des Prozesssignals in dem jeweiligen Bereich. Je geringer dieser Abstand ist, desto sensibler ist die Überwachung und desto schneller werden Prozessfehler erkannt.

Im Bereich des Werkstoffübergangs steigt durch die große Dynamik der Zerspankraft der Abstand der Überwachungsgrenzen zum Mittelwert. Die Hüllkurve weitet sich auf, wodurch die Sensitivität der Überwachung verringert wird. Prozessfehler im Bereich des Werkstoffübergangs können so nicht immer detektiert werden, da die Zerspankraft nur bei sehr signifikanten Prozessanomalien den Wert der Hüllkurve über- bzw. unterschreitet. Dies ist in Bild 2 am Beispiel einer Prozessanomalie (rot) gezeigt. Die Prozessanomalie ist eine vor dem Prozess eingebrachte Nut im Bereich des Werkstoffübergangs, die einen Materialdefekt simuliert. Da die Schneide in der Nut nicht im

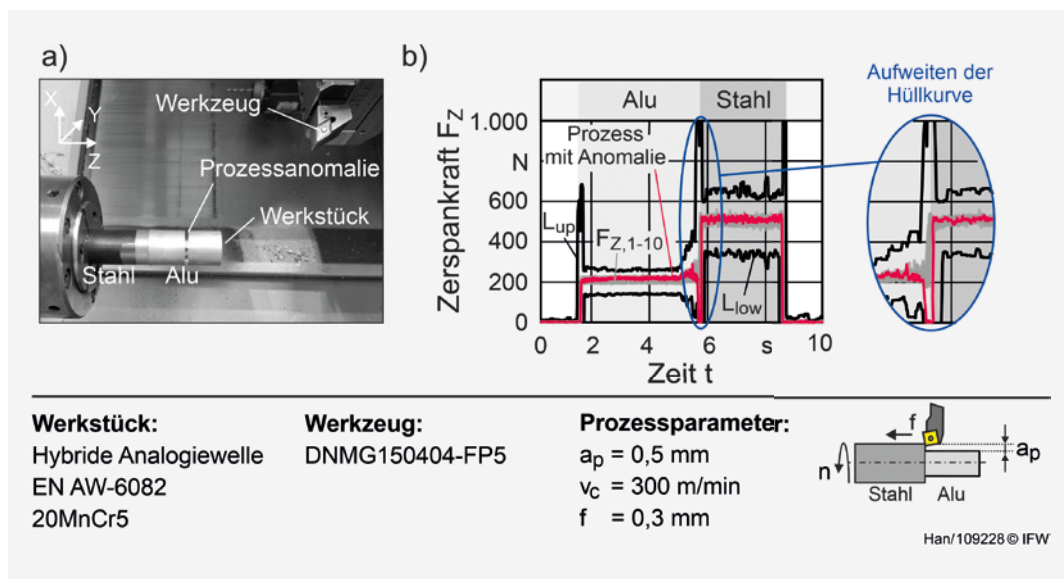


Bild 2 Überwachung mit Hüllkurven, a) Versuchsaufbau, b) Überwachung mit Hüllkurve

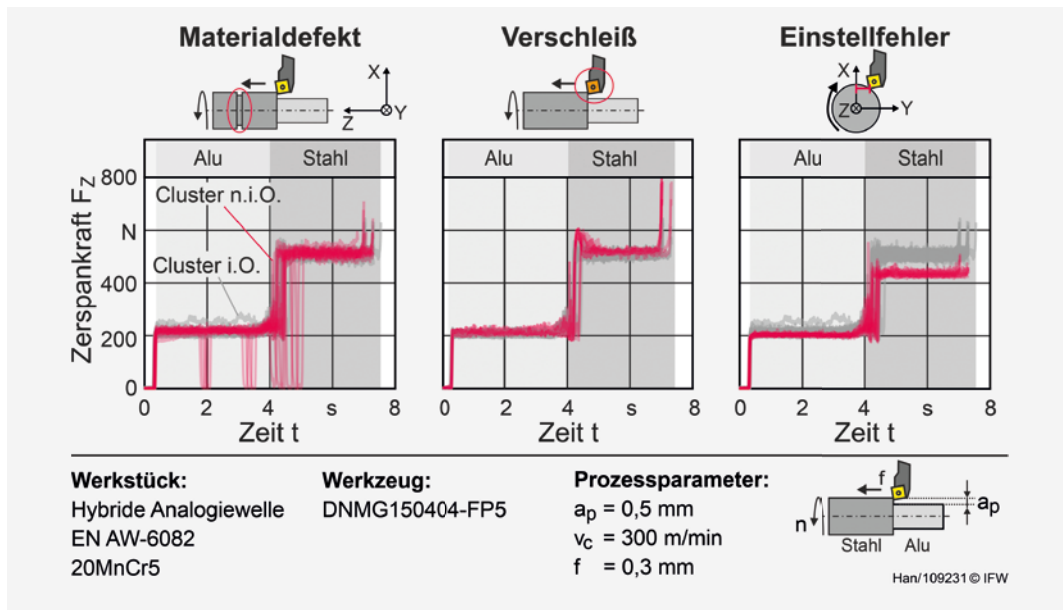


Bild 3 Detektion von Prozessfehlern mittels Clusteranalyse

Eingriff ist, fällt die Zerspankraft im Prozess schlagartig ab. Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass auch Aufmaßschwankungen in der Tailored Forming Prozesskette die Hüllkurven deutlich aufweiten.

Maschinelles Lernen detektiert auch kleine Fehler

Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz gilt als Schlüsseltechnologie für die autonome Produktion, da solche Ansätze häufig komplexe Überwachungsaufgaben lösen können. Ein Bereich der Künstlichen Intelligenz sind Maschinelle Lernverfahren (ML). Die Verfahren werden in überwachte und unüberwachte Lernverfahren eingeteilt. Häufig werden überwachte Lernansätze genutzt, um Prozessdaten in vorher definierte Klassen, wie beispielsweise „fehlerfrei“ und „fehlerhaft“, einzuordnen. Dafür müssen die Prozessdaten zum Anlernen der Modelle zuvor manuell einer Klasse zugeordnet werden. Ist die Klassenhäufigkeit dabei unausgewogen, passt sich das Modell in der Regel an die Klasse an, die häufiger vertreten ist. Dies sind i. d. R. die fehlerfreien Prozesse.

Fehlerhafte Prozesse sind dagegen unterrepräsentiert. Dies verhindert, dass das Modell passende Entscheidungsgrenzen zwischen fehlerfrei und fehlerhaften Daten erlernen kann. Um das zu vermeiden, sind möglichst viele Daten von fehlerhaften Prozessen notwendig. Dies ist besonders im Rahmen der industriellen Anwendung problematisch, da nicht immer alle Fehler und deren Auswirkung auf die Signale im Voraus bekannt sind. Unüberwachte Lernverfahren sind da-

gegen Clusterverfahren, die Ähnlichkeitsstrukturen in Datensätzen finden. Sie werden genutzt, um aus einer Menge an Objekten ohne vorherige Zuordnung neue Cluster mit sich ähnelnden Objekten zu bilden. Beispiele sind DB-Scan, k-Means oder hierarchisches Clustern. Da bei unüberwachten Lernverfahren keine Prozessdaten zum Anlernen eines Modells benötigt werden, gelten sie als anlernfreie Verfahren und sind damit für eine schnelle industrielle Anwendung geeignet.

Für die Überwachung der hybriden Massivbauteile im Rahmen des SFB 1153 wurde das k++-Means-Clustering eingesetzt, um fehlerhafte Prozesse von fehlerfreien Prozessen abzugrenzen. Maßgeblich für den Einsatz des Clusterverfahrens in der Prozessüberwachung ist die Wahl des Distanzmaßes, das ein Wert für die Ähnlichkeit von Objekten ist und nach dem die Objekte den verschiedenen Clustern zugeordnet werden. Um die Ähnlichkeit von Prozessen bewerten zu können, die in Bezug auf Zeit, Geschwindigkeit oder Länge nicht exakt übereinstimmen, wird der DTW (Dynamic Time Warping) Barycenter Averaging-Algorithmus als Distanzmaß genutzt. So ist die Methode auch auf hybride Wellen anwendbar, bei denen die Position des Werkstoffübergangs variiert.

Um die Eignung des unüberwachten Lernens für hybride Wellen zu erforschen, wurde ein Datensatz aus fehlerfreien und fehlerhaften Längsdrehprozessen erzeugt. Die Zerspankraft der jeweiligen Prozesse ist in Bild 3 dargestellt. In Grau sind die fehlerfreien Prozesse gekennzeichnet, in Rot die fehlerhaften Prozesse.

se. Insgesamt wurden drei verschiedene Prozessfehler simuliert. Als Prozessfehler „Materialdefekt“ wurden Nuten an unterschiedlichen Stellen im Bauteil eingebracht, die einen Materialdefekt darstellen. Der Fehler wirkt sich in einem kurzzeitigen Abfall der Zerspankraft aus. Für den Fehler „Verschleiß“ wurde eine verschlissene Wendeschneidplatte genutzt. Dies wirkt sich besonders in einem Überschwingen der Zerspankraft nach dem Werkstoffübergang und einer leicht gesteigerten Zerspankraft im Stahl aus. Der Fehler „Einstellfehler“ wird durch einen Offset der Y-Achse simuliert, was eine fehlerhafte Programmierung oder einen Fehler in der Einmessung des Werkzeugs darstellt. Hierdurch sinkt die Zerspankraft im gesamten Prozess, da durch den außermittigen Schnitt die Schnitttiefe und damit das Zeitspanvolumen sinkt.

Mit dem k-Means++-Algorithmus wurden anschließend für jeden Prozessfehler zwei Cluster aus sich ähnelnden Prozessen gebildet. Um die Detektion von fehlerhaften Prozessen mit dem Algorithmus bewerten zu können, wurden die zugeordneten Prozesse in den beiden Clustern ausgewertet. Es konnte festgestellt werden, dass die fehlerfreien und die fehler-

haften Prozesse ausschließlich in unterschiedliche Cluster sortiert wurden. Der Cluster n.i.O. enthält daher alle fehlerhaften Prozesse und der Cluster i.O. alle fehlerfreien Prozesse. Aus der richtigen Zuordnung der Prozesse in die Cluster kann geschlossen werden, dass der Algorithmus für jeden der drei betrachteten Fehler die fehlerfreien Prozesse von den fehlerhaften Prozessen unterscheiden kann und damit für eine Überwachung geeignet ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass unüberwachte Lernverfahren, im Gegensatz zu konventionellen Überwachungsmethoden, in der Lage sind, Prozessfehler bei der Zerspannung von hybriden Massivbauteilen zu detektieren. Dabei werden sogar Fehler detektiert, die im untersuchten Prozess nur einen geringen Einfluss auf die Zerspankraft haben, wie beispielsweise der Verschleiß. Im weiteren Verlauf des Projekts werden daher diese Ansätze zur Überwachung in der Tailored Forming Prozesskette angewendet und deren Grenzen erforscht. Dazu wird die Eignung des unüberwachten Lernens für die Überwachung von hybriden Massivbauteilen mit Aufmaßschwankungen weiter untersucht.

Der Sonderforschungsbereich 1153 „Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming“ wird gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 252662854. Das IFW bedankt sich bei der DFG und bei der Vollmer Stiftung für die finanzielle Unterstützung der Forschung.



Autor*innen

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena

Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Leibniz Universität Hannover

Heinrich Klemme

Bereichsleiter Maschinen und Steuerungen, IFW

Miriam Handrup

Wissenschaftliche Mitarbeiterin, IFW

Impressum

Schriftenreihe des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover
Zukunft.Digital – Digitalisierung von der Idee zur Umsetzung
Ausgabe 01/2022

Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
der Leibniz Universität Hannover
An der Universität 2, 30823 Garbsen

Herausgeber: Prof. Dr. Ing. Berend Denkena
Redaktion: Gerold Kuiper
Satz und Layout: Sofie Bauer

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
online unter <http://dnb-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch das
des Nachdruckes, der Wiedergabe, der Speicherung in Datenver-
arbeitungsanlagen und der Übersetzung des vollständigen Werkes
oder von Teilen davon, sind vorbehalten.

© TEWISS – Technik und Wissen GmbH, Mai 2022
An der Universität 2, 30823 Garbsen
Telefon: 0511 762 19434. Mail: info@tewiss-verlag.de
www.tewiss-verlag.de

Konsortialführung
des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover



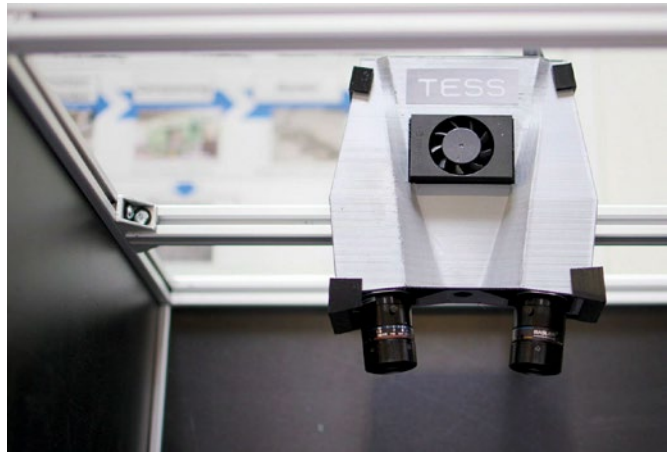
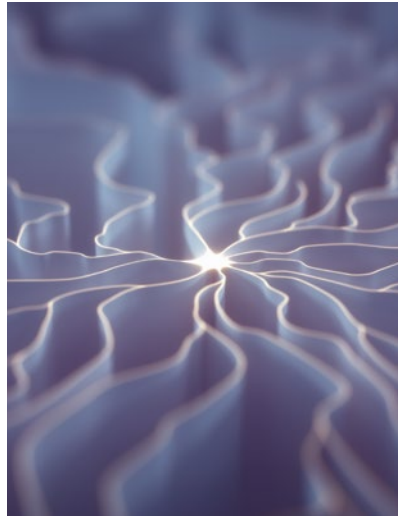
Bildnachweis

Mittelstand-Digital Zentrum Hannover:
Seite 06, 07, 12, 21, 26, 32, Rückseite links
Institut für Fertigungstechnik und Werkzeug-
maschinen der Leibniz Universität Hannover:
Titel, Seite 05, 10, 18, 19, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40
Shutterstock (shutterstock.com):
Seite 09 (Bild 1-3 Master1305, fizkes, bbernard)
Kampmann GmbH: Seite 14, 16, 17
Franz Fender: Seite 22
Handwerkskammer Hannover: Seite 23
Ernst Bartsch GmbH: Seite 24, 25,
Rückseite rechts unten
Envato Elements (elements.envato.com):
Seite 28, Rückseite rechts oben (ktsimage),
Seite 09 unten (nontae2522)
Sparkasse Hannover: Seite 29
NovoAi UG: Seite 30, Rückseite rechts mittig

gedruckte Ausgabe
ISBN 978-3-95900-695-8

digitale Ausgabe
ISBN 978-3-95900-697-2





Mittelstand-Digital
Zentrum
Hannover