



Mittelstand-Digital
**Zentrum
Hannover**

Zukunft.Digital

**Digitalisierung
von der Idee zur Umsetzung**
Ausgabe 01/2024



Im Fokus

**KI-Readiness für
eine erfolgreiche
KI-Integration**

Seite 08

Aus der Praxis

**IT-Security Musterprozess
für einen sicheren Produkt-
Entwicklungslebenszyklus**

Seite 30

Aus der Forschung

**Implantat-Lebenszyklus-
management mittels
digitalem Implantat-Zwilling**

Seite 42



Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover ist Teil des Netzwerks Mittelstand-Digital. Das Netzwerk bietet mit den **Mittelstand-Digital Zentren** und der **Initiative IT-Sicherheit in der Wirtschaft** 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:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zukunft.Digital

Digitalisierung
von der Idee zur Umsetzung
Ausgabe 01/2024

Inhalt

Aus dem Zentrum

Digitale Transformation in der Gastronomie: Ein Leitfadens zur Zukunft

Seite 06

Im Fokus: KI-Readiness

KI-Readiness für eine erfolgreiche KI-Integration

Seite 08

Ein Digitaler Zwilling für einen Bienenstock

Seite 10

KI im Bienenstock: Gesundheitsüberwachung aus der Ferne durch Bildauswertung

Seite 14

Absatzplanung mit KI: Genauere Prognose reduziert Verschwendung

Seite 18

Projektmanagement-Reports automatisiert bewerten – mit KI-Sprachmodellen

Seite 21

Interview: Meisterhaft voraus – KI-Readiness im Handwerk der Schmuckherstellung

Seite 24

Aus der Praxis

Strategie zur ökologischen Bilanzierung des Treibhausgaspotenzials unterschiedlicher Produktionsprozesse

Seite 26

IT-Security Musterprozess für einen sicheren Produkt-Entwicklungslebenszyklus

Seite 30

Verschlüsselungstrojaner-resiliente Datensicherungen

Seite 34

Wollen wir Projektpartner werden?

Seite 37

Aus der Forschung

Zuverlässige Überwachung bei kleinen Stückzahlen mit prozessübergreifendem Lernen

Seite 38

Implantat-Lebenszyklusmanagement mittels digitalem Implantat-Zwilling

Seite 42

Editorial



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

„Unser Ziel ist es, unser Unternehmen auch erfolgreich in der kommenden Generation zu führen und unseren Kundinnen und Kunden ein umfassendes und individuelles Sortiment anzubieten. KI wird uns dabei unterstützen, dieses Ziel zu erreichen“, sagt Malte Stichnoth, Geschäftsführer der Schmuckmanufaktur Horst Stichnoth GmbH & Co. KG im Interview in dieser Magazinausgabe. Wie in vielen Branchen stellen KI-Anwendungen auch für das Handwerk ein hilfreiches Werkzeug dar, um komplexe und zeitaufwändige Arbeitsschritte zu digitalisieren und zu automatisieren. Im Interview mit Geschäftsführer Stichnoth geht es vor allem auch um das Thema KI-Readiness. Er nennt Voraussetzungen, die Betriebe schaffen müssen, um Künstliche Intelligenz erfolgreich zu implementieren.

KI-Readiness ist das Schwerpunktthema dieses Magazins. Es beschreibt die Fähigkeit von Unternehmen für eine erfolgreiche KI-Integration. Vier Projektbeispiele unseres Zentrums mit Unternehmen haben wir für Sie in dieser Rubrik zusammengestellt: Wie es gelingt, mittels eines Digitalen Zwillinges eine Schnittstelle zur Hardware herzustellen, um Daten für die Künstliche Intelligenz zugänglich zu ma-

chen, stellen wir Ihnen im Beitrag „Ein Digitaler Zwilling für einen Bienenstock“ vor. Durch die Datentransparenz kann die Ausbreitung von Krankheiten im Bienenstock verhindert werden. Auch im Projektbericht „KI im Bienenstock: Gesundheitsüberwachung aus der Ferne durch Bildauswertung“ geht es darum, die Gesundheit und den Fortbestand eines Bienenvolkes sicherzustellen. Mit Sensorik und einer Kameraüberwachung wurden die Voraussetzungen für eine KI-basierte Datenauswertung geschaffen. Die Absatzplanung mit KI für die Sushiproduktion, um Verschwendung zu vermeiden und die automatisierte Bewertung von Projektmanagement-Reports sind weitere Projekte unserer Magazinrubrik KI-Readiness.

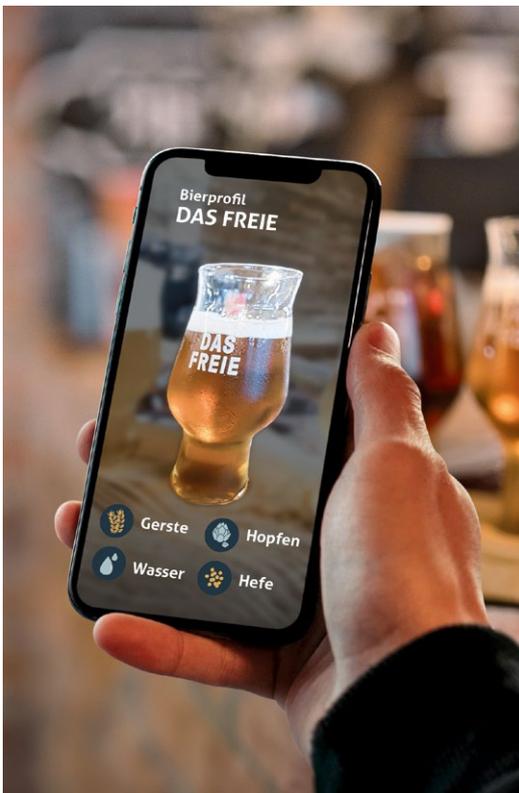
Neben den Beiträgen zu unserem Schwerpunktthema finden Sie unter den Rubriken „Aus dem Zentrum“, „Aus der Praxis“ und „Aus der Forschung“ weitere interessante Beiträge rund um das Thema Digitalisierung. Werfen Sie einfach einen Blick hinein. Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen.

Berend Denkena

Digitale Transformation in der Gastronomie: Ein Leitfaden zur Zukunft

Bild 1

Digitalisierung steigert das Gastronomieerlebnis für Kundinnen und Kunden.



Im Zuge der Digitalisierung erlebt die Gastronomiebranche eine tiefgreifende Veränderung. Diese Transformation ist nicht nur eine Herausforderung, sondern bietet auch enorme Chancen für innovative Gastronomen. Zentral für diesen Wandel sind die Einführung und Nutzung digitaler Technologien. Diese müssen nicht neu erfunden werden, in diesem Artikel zeigen wir Möglichkeiten des branchenübergreifenden Technologietransfers von der Produzierenden Industrie zur Gastronomie auf.

Dabei spielen Konzepte wie Automatisierung, Datenanalyse und vernetzte Systeme eine Schlüsselrolle. Der Transfer von Technologien aus der Industrie, wie zum Beispiel Prozessautomatisierung und fortschrittliche Analytik, bietet Gastronomiebetrieben die Möglichkeit, ihre Effizienz zu steigern und ein neues Niveau an Kundenservice zu erreichen. Beispielsweise können durch Automatisierung repetitive Aufgaben in der Küche übernommen werden, während Analysesysteme Kundenpräferenzen erkennen und so zu einer individuelleren Gestaltung des gastronomischen Angebots beitragen. Darüber hinaus ermöglicht die Vernetzung von Geräten und Systemen eine umfassende Überwachung und Steuerung der Betriebsabläufe, was zu einer effizienteren Ressourcennutzung und einer Reduzierung von Verschwendung führt. Im Folgenden werden fünf relevante Technologiebereiche für den branchenübergreifenden Transfer erläutert.

Vernetzung: Integration von Geräten, Systemen und Prozessen zur Optimierung der Abläufe und des Informationsaustauschs. Anwendungsmöglichkeiten in der Gastronomie bestehen zum Beispiel in einer verbesserten Kommunikation zwischen Gastro-Software und Küchenmaschinen, wodurch die Automatisierung von Prozessen ermöglicht wird.

Analytics & KI: Einsatz von Datenanalyse und Künstlicher Intelligenz zur Erkennung von Mustern, Treffen von Prognosen und Optimierung des Angebots. Durch die Analyse von Kundendaten können Präferenzen erkannt und das Angebot angepasst werden. Ein praktisches Beispiel ist die Verwendung von KI zur Erstellung von Speiseempfehlungen basierend auf dem bisherigen Bestellverhalten der Gäste.

Unternehmenssoftware: Nutzung von Systemen wie ERP zur Verwaltung aller Geschäftsprozesse. Einsatzbereiche in der Gastronomie umfassen Einkauf, Lagerhaltung, Personalplanung, Buchhaltung und Kundenmanagement.

Assistenzsysteme: Hierbei geht es um technische Hilfsmittel, die das Personal unterstützen. Denkbar wären assistierende Küchengeräte, welche bei der Zubereitung unterstützen, oder intelligente Bestellsysteme, welche Gäste beim Bestellprozess begleiten.

Track & Trace: Die Verfolgung von Lebensmitteln vom Erzeuger bis zum Teller erhöht die Transparenz und die Qualitätssicherung. Ein Beispiel hierfür wäre ein System, das Gästen Informationen über die Herkunft und Verarbeitung der Zutaten liefert.

Die digitale Transformation geht jedoch über technische Aspekte hinaus. Sie erfordert auch einen Wandel in der Unternehmenskultur, um die Potenziale der Digitalisierung voll auszuschöpfen. Dies umfasst die Schulung des Personals, die Anpassung von Geschäftsmodellen und die Entwicklung neuer Strategien zur Kundenbindung.

Insbesondere in der Gastronomie, wo das Kundenerlebnis im Mittelpunkt steht, ist es wichtig, dass technologische Innovationen das gastronomische Angebot bereichern und nicht als Rückschritt im Service aufgefasst werden. In der Entwicklung digitaler Lösungen kann ein iteratives Vorgehen hilfreich sein. Der Ablauf verläuft in sechs Schritten:



1. **Verstehen:** Tiefgreifende Analyse der Bedürfnisse und Herausforderungen der Kunden, der Nutzenden des geplanten Systems und des eigenen Betriebs. Dies umfasst sowohl die Untersuchung des aktuellen Marktes als auch die Erhebung von Kundenfeedback.



2. **Definieren:** Klare Definition der Hauptprobleme und Ziele, die aus der Analysephase hervorgegangen sind. Hier werden die erkannten Bedürfnisse in konkrete, zu lösende Aufgabenstellungen umgewandelt.



3. **Ideen finden:** Entwickeln von kreativen und innovativen Lösungsansätzen. In dieser Phase wird ein breites Spektrum an Ideen gesammelt, ohne sie sofort zu bewerten.



4. **Synthese:** Analyse und Auswahl der vielversprechendsten Ideen aus der Ideenfndungsphase. Hier werden die besten Lösungsansätze für die definierten Probleme herausgearbeitet.



5. **Prototypen entwickeln:** Erstellung von ersten Modellen oder einfachen Anwendungen der ausgewählten Ideen. Diese Prototypen dienen dazu, die Konzepte in die Praxis umzusetzen und erste Reaktionen zu sammeln.



6. **Testen:** Praktische Erprobung der Prototypen und Sammeln von Feedback. Auf Basis dieses Feedbacks werden die Lösungen weiter angepasst und verbessert, um eine optimale Passform für den Betrieb zu erzielen.

Um Lösungen zu erzeugen wird der Zyklus mehrmals wiederholt. Dadurch erlangen der Betrieb und die beteiligten Personen ein tiefgreifendes Verständnis der Problemstellung und der von ihnen erarbeiteten Lösung. Die Lösung und der Prototyp können als eine Art Lastenheft genutzt werden um genau den Anbieter zu finden, der das passendste System anbietet.

Letztendlich bietet die digitale Transformation in der Gastronomie die Chance, traditionelle Geschäftspraktiken zu überdenken und durch innovative Ansätze zu ersetzen. Dies eröffnet nicht nur Wege für eine effizientere und kundenorientiertere Gestaltung des Betriebs, sondern trägt auch dazu bei, die Gastronomiebranche zukunftssicher und nachhaltig zu gestalten.



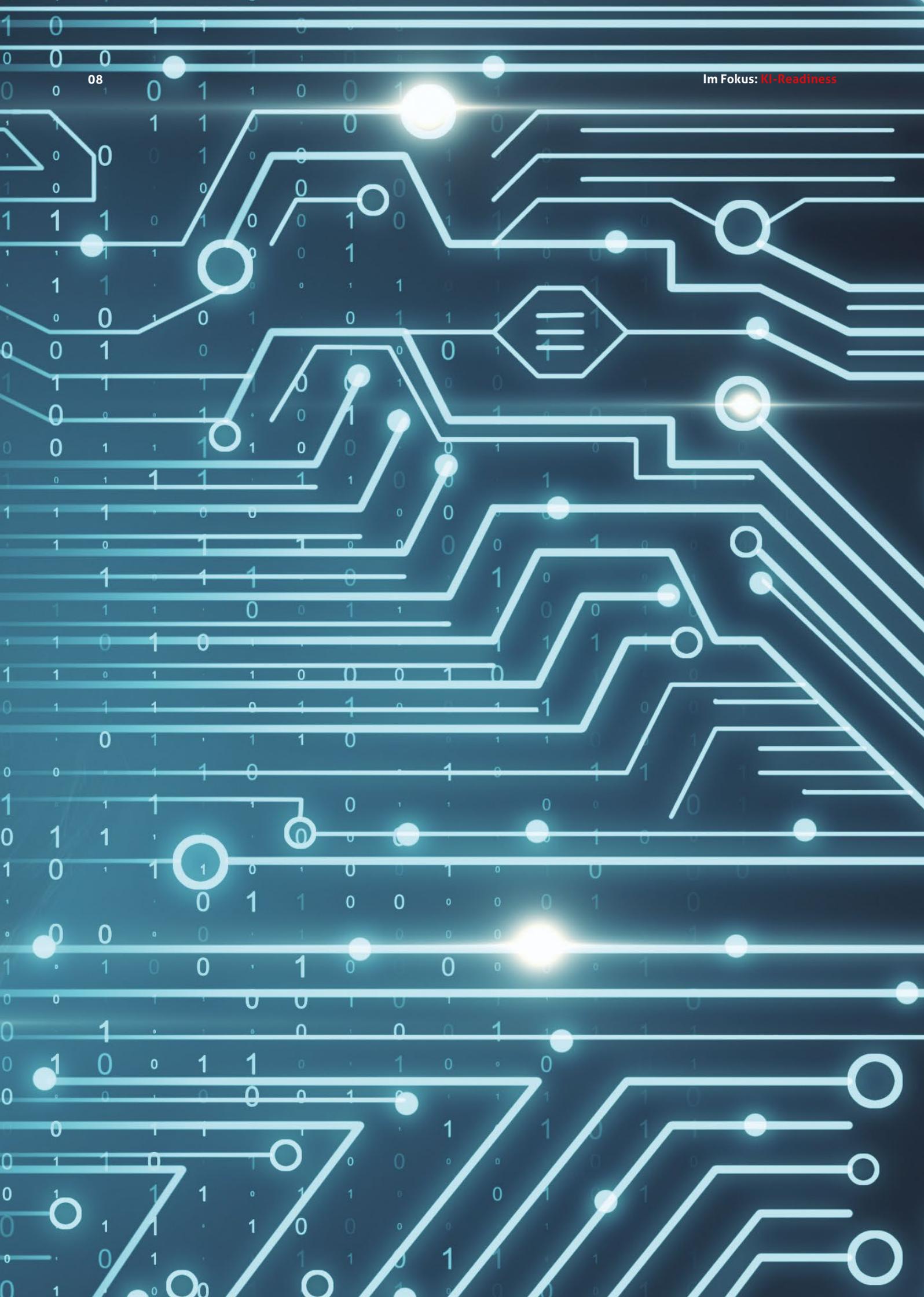
Den ganzen Leitfaden finden Sie unter digitalzentrum-hannover.de/downloads.

Dort können Sie sich auch ein kostenloses Printexemplar bestellen.



Autor

Christoph Digwa
Gastro-4.0-Experte
im Mittelstand-Digital
Zentrum Hannover



KI-Readiness für eine erfolgreiche KI-Integration

Künstliche Intelligenz (KI) ist nicht nur ein Thema für Konzerne, sondern auch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) von entscheidender Bedeutung. KMU erkennen zunehmend, dass die Integration von KI entscheidend für ihre Wettbewerbsfähigkeit ist.

Um KI erfolgreich zu implementieren, ist die KI-Readiness des Unternehmens ausschlaggebend. KI-Readiness bezeichnet die Fähigkeit eines Unternehmens, KI effektiv einzusetzen. Neben einer robusten technischen Infrastruktur und ausreichender hochwertiger Daten ist Fachwissen für die Einführung von KI unerlässlich. Dazu zählen die Fähigkeiten zur Entwicklung und Implementierung von KI-Modellen sowie das Verständnis für deren Anwendung.

Die Einführung von KI erfordert oft einen kulturellen Wandel in der Organisation und die Akzeptanz neuer Arbeitsweisen. Unternehmen müssen sicherstellen, dass ihre Mitarbeitenden offen für Veränderungen sind und bereit sind, KI als Werkzeug zur Verbesserung von Arbeitsabläufen und Geschäftsergebnissen zu nutzen. Dies schließt auch die Bereitschaft der Betriebe ein, in Schulungen und Weiterbildungen zu investieren.

Darüber hinaus sind eine klare Strategie und Vision für die KI-Integration wichtig. Welche geschäftlichen Ziele will ich mit dem Einsatz Künstlicher Intelligenz erreichen? In welchen Bereichen meines Unternehmens sind KI-Anwendungen sinnvoll? Welche Auswirkungen hat KI auf meine langfristigen Unternehmensziele? Die Antworten auf diese Fragen ermöglichen es, Prioritäten zu setzen und Ressourcen gezielt einzusetzen.

Kurz gesagt: Die Berücksichtigung, der unterschiedlichen Aspekte, die der Begriff KI-Readiness bündelt, ist der Schlüssel zur erfolgreichen Integration von Künstlicher Intelligenz in Unternehmen.

Ein Digitaler Zwilling für einen Bienenstock

Projekt-Abschlussbericht von Dr.-Ing. Thomas Lepper

Bienen leisten einen maßgeblichen Beitrag zum Erhalt der biologischen Vielfalt. Sie sorgen dafür, dass wir uns ernähren können, da sie ein wichtiger Bestäuber unserer Nutzpflanzen sind. Um den Ausbruch von Krankheiten oder den Befall von Milben möglichst frühzeitig zu erkennen, müssen Bienenstöcke durch Imker*innen regelmäßig kontrolliert werden. Gibt es erste Anzeichen für ein Ausschwärmen der Bienen, ist darüber hinaus eine schnelle Reaktion erforderlich, bevor sie sich ein neues Nest bauen. Im Rahmen des durch die Phoenix Contact GmbH & Co. KG organisierten (Community-) Projektes Beehyve wurde daher ein Bienenstock mit umfangreicher Sensorik ausgestattet und unter anderem wurden durch das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover digitale Lösungen entwickelt, um auf die genannten Herausforderungen reagieren zu können.

Das Projekt Beehyve

Im Projekt Beehyve haben über einen Zeitraum von zehn Monaten Fachleute und Forschende aus den Bereichen IT, IT-Sicherheit, Automatisierung und dem Maschinen- und Anlagenbau sowohl aus der Industrie als auch aus Universitäten zusammengearbeitet. Neben innovativen Projekten in den Bereichen Künstliche Intelligenz, Cloud- und Edge-Computing, Augmented Reality, Cybersicherheit sowie Dateninfrastruktur und -visualisierung hat das Mittelstand Digital Zentrum Hannover insbesondere durch Digitale Zwillinge des Bienenstocks und des produzierten Honigs dazu beigetragen, dass die gesammelten Daten für alle Partner nutzbar sind. In den erstellten Digitalen Zwillingen werden darüber hinaus auch Informationen über den CO₂-Fußabdruck des Bienenstocks und des produzierten Honigs hinterlegt.

Herausforderung und Zielsetzung

Es gibt bereits Ansätze durch zusätzliche Sensorik, Umgebungsbedingungen und beispielsweise das Gewicht des Bienenstocks zu erfassen. Um mit mehreren Partnern auf diese Sensoren zugreifen zu können, müssen die Schnittstellen für alle Partner dokumentiert werden. Hierfür fehlt es allerdings bisher an einer einheitlichen Beschreibung dieser Schnittstellen und der verfügbaren Daten. Ziel des Projektes ist es daher, den sensorischen Bienenstock durch einen Digitalen Zwilling zu beschreiben, sodass mehrere Dienstleister die im Bienenstock gewonnenen Daten nutzen können. Außerdem sollen die gewonnenen Daten verwendet werden, um den CO₂-Fußabdruck für den sensorischen Bienenstock und den produzierten Honig bereitzustellen. Das Projekt soll damit die Vorteile des Einsatzes eines standardisierten Digitalen Zwillings in der Produktion zeigen.



Projektüberblick

Um die Ausbreitung von Krankheiten in Bienenstöcken zu verhindern oder auf Ereignisse wie das Ausschwärmen der Bienen schnell reagieren zu können, müssen Bienenstöcke regelmäßig kontrolliert werden. Mithilfe von digitalen Technologien wie beispielsweise Künstlicher Intelligenz (KI) sollen Imker*innen hierbei unterstützt werden. Daher wurde im Rahmen des Projektes Beehyve, das durch die Phoenix Contact GmbH & Co. KG organisiert wurde, ein Bienenstock digitalisiert.

Durch unterschiedliche Experten*innen wurden verschiedene Digitalisierungsmaßnahmen entwickelt, um die unterschiedlichen Herausforderungen zu adressieren. Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover hat einen Digitalen Zwilling erstellt, der als Schnittstelle zur Hardware dient, um die Daten den Imkern*innen, Kunden*innen, aber auch den Programmierern*innen der Softwarelösungen und für die KI zugänglich zu machen. Der Digitale Zwilling leistet somit einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Transparenz. Neben dem Bienenstock verfügt auch der produzierte Honig über einen Digitalen Zwilling, der den CO₂-Fußabdruck und die Herkunft des Honigs dokumentiert.

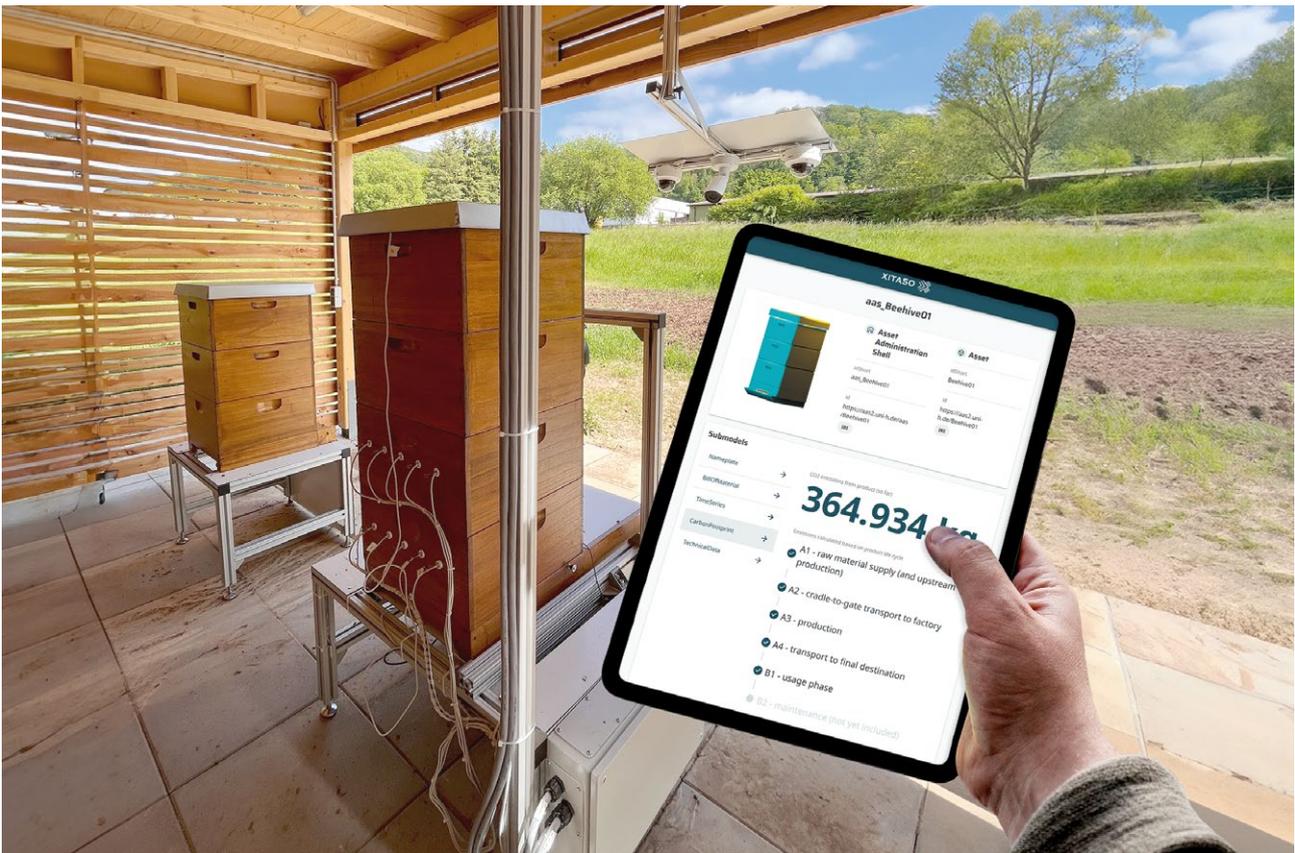


Bild 1
Rückseite des Bienenstocks mit Sensoren und Webseite mit einer Visualisierung des Digitalen Zwillings vom Bienenstock

Lösungsweg

Schritt 1: Aufbau des Bienenstocks

Auf einer grünen Wiese in Bad Pyrmont hat Phoenix Contact einen Bienenstock errichtet, der neue digitale Lösungen präsentiert. Für deren Realisierung verfügt der Bienenstock über eine große Anzahl an Sensoren. Neben Umgebungsbedingungen – erfasst durch eine Wetterstation – wird beispielsweise das Gewicht des Bienenstocks und die Temperatur im Inneren erfasst. Außerdem überwachen Kameras den Eingang zum Bienenstock und die Handbewegungen und Arbeitsschritte der Imker*innen. Zusammengeführt werden die Sensoren über eine zentrale Steuerung, die neben einem KI-Modul über verschiedene Eingangsmodule für die Sensoren verfügt. Die Steuerung ist über eine mobile Datenverbindung aus der Ferne erreichbar und sendet die Daten der Sensoren kontinuierlich in die Zeitreihendatenbank des Projektpartners. Aufgrund der Vielzahl der am Projekt mitwirkenden Personen ist eine systematische Beschreibung der Datenschnittstellen wichtig, sodass neben den Projektarbeitenden auch externe Dienstleister und Kunden wissen, wo und wie welche Daten vom Bienenstock zur Verfügung gestellt werden.

Schritt 2: Der Digitale Zwilling

Im Rahmen des Projektes wird daher der sensorische Bienenstock durch einen Digitalen Zwilling beschrieben. Die Beschreibung erfolgt durch die Verwaltungsschale (engl. Asset Administration Shell, abgekürzt mit AAS). Die Verwaltungsschale ist ein internationaler



Standard (IEC 63278-1) zur Beschreibung von Gegenständen wie beispielsweise Maschinen, Anlagen oder Produkten. Jede Verwaltungsschale eines Gegenstandes erhält eine eindeutige ID, die fest mit dem Gegenstand verbunden ist. Die Verwaltungsschale kann anschließend durch weitere Informationen angereichert werden, mit denen der Digitale Zwilling beschrieben wird. Hierzu werden sogenannte Teilmodelle verwendet, die beispielsweise von der Industrial Digital Twin Association e.V. (IDTA) in Gremien aus unterschiedlichen Unternehmen und Institutionen standardisiert werden.

Um die Verwaltungsschale zentral für unterschiedliche Dienste zur Verfügung zu stellen, werden diese auf einem AAS-Server gespeichert. Neben der IDTA (AASX-Server) bietet auch das Fraunhofer IESE mit Eclipse BaSyx eine Open Source Plattform an: Die Verwaltungsschalen werden über eine standardisierte Schnittstelle zur Verfügung gestellt. Weitere kommerzielle Lösungen halten ebenfalls aktuell Einzug in den Markt.

Im Rahmen des Projektes wurde eine leicht modifizierte Version von BaSyx, die Software Mnestix von der XITASO GmbH verwendet, da diese über eine ansprechende Visualisierung der gespeicherten Verwaltungsschalen verfügt (siehe Bild 1 auf der vorigen Seite). Jede Verwaltungsschale beinhaltet eindeutige IDs, über die das Asset – also der Gegenstand, das Produkt oder die Maschine – mittels Asset-ID und die Verwaltungsschale mit der AAS-ID identifiziert werden. Jedes Asset kann somit über mehrere Verwaltungsschalen verfügen. Im Rahmen des Projektes wird jedoch nur eine Verwaltungsschale je Asset erstellt, da dies ausreicht, um die Vorteile des Einsatzes Digitaler Zwillinge zu zeigen.

Weitere Informationen zur Beschreibung des Bienenstocks bzw. des Honigs finden sich in Teilmodellen. Diese ermöglichen eine einheitliche Informationsstruktur, wodurch der Austausch von Informationen vereinfacht wird. Für den Bienenstock werden die Teilmodelle Nameplate (IDTA 02003), Time Series Data (IDTA 02008), Carbon Footprint (IDTA 02023) und Asset Interfaces Description (IDTA 02017) verwendet. Über das Time Series Data (IDTA 02008-1-1) Teilmodell werden Zeitreihendaten mit der Verwaltungsschale verknüpft. Die Sensordaten fließen hierzu in eine Zeitreihendatenbank, die auf einem zentralen Server gehostet werden. Als Zeitreihendatenbank wird im Projekt die Proficloud von Phoenix Contact genutzt, die auf eine influxDB, also einem Open Source Tool für Zeitreihendaten aufbaut. In der Datenbank werden die Sensordaten sowie der Energieverbrauch und die über die Photovoltaikanlage eingespeiste elektrische Energie gespeichert. Über den Digitalen Zwilling des Bienenstocks wird auf diese Daten verwiesen und als Graph in der Visualisierung dargestellt (Bild 2).

Schritt 3: Der CO₂-Fußabdruck

Die Energiedaten werden anschließend für die Berechnung des CO₂-Fußabdrucks verwendet. Dieser ergibt sich für den Bienenstock aus der Summe aller CO₂-Fußabdrücke der im Bienenstock verbauten Gegenstände (Bienenstock, Steuerung, Sensoren, etc.), die in der Bill of Material (BoM) aufgelistet werden. Aufgrund des Energiebedarfs der Steuerung und Sensorik wächst der CO₂-Fußabdruck kontinuierlich während der Nutzungsphase.

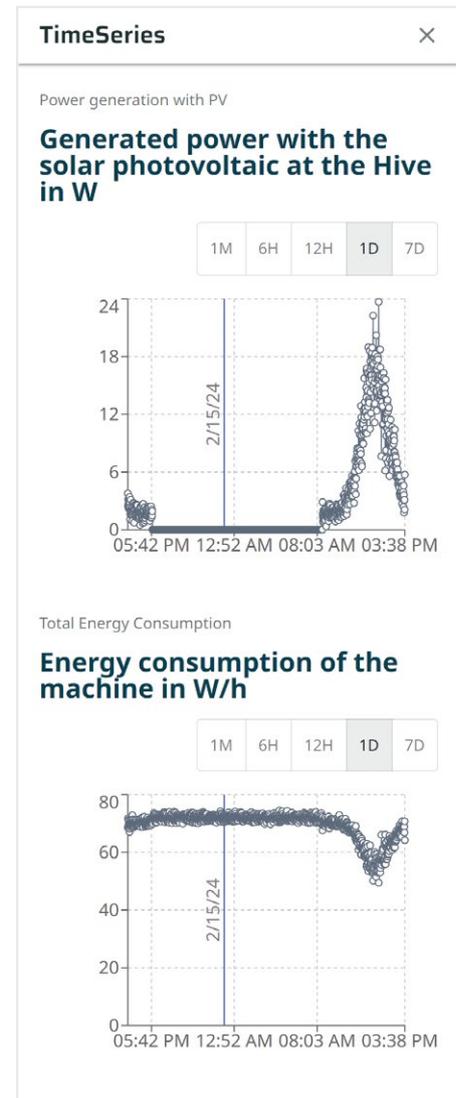


Bild 2

Visualisierung der Energiedaten im Teilmodell Time Series Data



Darüber hinaus wird auch für den produzierten Honig der CO₂-Fußabdruck über das Teilmodell Carbon Footprint in der Verwaltungsschale zu jedem Honigglas ausgegeben und kann vom Konsumenten aufgerufen werden. Bild 3 zeigt die Visualisierung der Daten aus dem Digitalen Zwilling im Webbrowser. Hierzu muss lediglich der QR-Code eingescannt werden, der auf dem Honigglas angebracht ist. Hinter diesem ist die AAS-ID hinterlegt, die auf die Webseite des Digitalen Zwilling verweist, auf der die im Digitalen Zwilling hinterlegten Daten visualisiert werden.

Der CO₂-Fußabdruck wird in der Verwaltungsschale über die Lebenszyklusstadien dargestellt. Die hierbei berücksichtigten Stadien sind die Herstellung (A), Nutzungsphase (B) und End of Life (C). Für die Fertigung sind zunächst nur die Umweltauswirkungen während der Herstellung (Phase A) relevant. Diese unterteilt sich in die Abschnitte Rohmaterial/Halbzeuge (A1), Transport zum Werk (A2), Fertigung (A3) und Transport zum Kunden (A4). Für die Transportwege (A2 und A3) werden Daten zum CO₂-Ausstoß aus Datenbanken verwendet, welche die zurückgelegte Strecke und das verwendete Transportmittel berücksichtigen, da aktuell in der Regel eher selten genaue Daten vorliegen. Somit wird eine standardisierte Schnittstelle bereitgestellt, mit der die Transparenz für den Endkunden verbessert und die Erstellung von CO₂-Fußabdrücken in der Herstellung vereinfacht wird.

Nutzen für den Mittelstand

Der Einsatz von standardisierten Digitalen Zwillingen mithilfe der Verwaltungsschale erhöht die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Herstellern sowohl branchen- als auch länderübergreifend. Durch die industrienaher Umsetzung kann das gezeigte Vorgehen auch in anderen produzierenden Unternehmen eingesetzt werden. Gerade die Erfassung von Energieverbräuchen und die Ausweisung eines CO₂-Fußabdrucks wird durch die standardisierten Schnittstellen einfacher und durch den geringeren Aufwand kostengünstiger als bisherige proprietäre Lösungen. Steigende regulatorische Vorgaben wie beispielsweise das Lieferkettengesetz erfordern eine lückenlose Dokumentation der Lieferkette. Die Verwaltungsschale kann hierfür eine einheitliche Sprache liefern, die über die gesamte Lieferkette erhalten bleibt.

Über diese QR-Codes lassen sich die digitalen Zwillinge aufrufen, links der des Bienestocks, rechts der des Honigs:

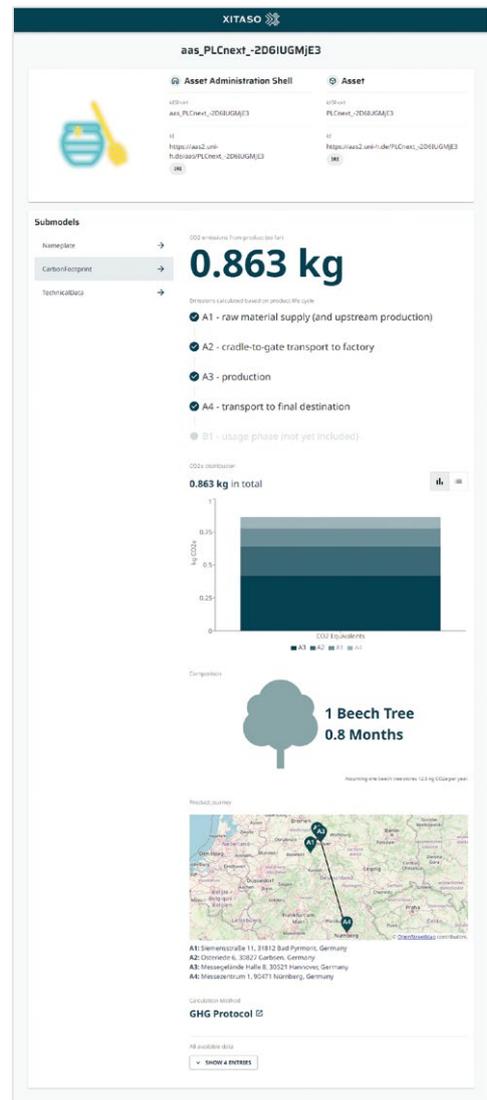
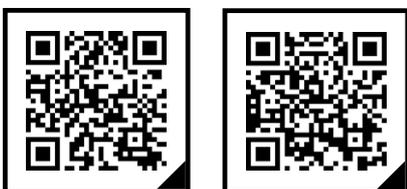


Bild 3
CO₂-Fußabdruck des produzierten Honigs

Autor

Dr.-Ing. Thomas Lepper
Themenmanager Manufacturing-X im
Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

KI im Bienenstock: Gesundheitsüberwachung aus der Ferne durch Bildauswertung

Projekt-Abschlussbericht von Paulina Merkel und Maik Töpler

Bienen stellen einen wichtigen Bestandteil lokaler Ökosysteme dar. Viele Unternehmen lassen als ökologische Maßnahme Bienenstöcke auf ihren Firmengrundstücken aufstellen und von Imker*innen betreuen. Um den Arbeitsaufwand zu reduzieren und gleichzeitig die Gesundheit und den Fortbestand des Bienenvolkes sicherzustellen, kann eine digitale Überwachung aus der Ferne sinnvoll sein. Die entwickelte, prototypische und auf KI basierende Objekterkennung bietet Imker*innen die Möglichkeit, Aktivitätszustände am Bienenstock zu überwachen, Eindringlinge wie beispielsweise Wespen zu bemerken oder frühzeitig eine Drohnenbrütigkeit zu erkennen, die entsteht, wenn die Bienenkönigin stirbt.



Bild 1

Digitale Bienenstöcke der Imkerei Gottlieb & Therese Wittrock auf dem Firmengelände des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Unternehmen und Produkt

Die Imkerei Gottlieb & Therese Wittrock ist ein familiengeführter Imkereibetrieb, der digitalisierte Bienenstöcke in der Region Hannover auf eigenen Grundstücken und bei Kunden aufstellt und betreut. Die Bienenstöcke sind mit Sensoren für die digitale Überwachung ausgestattet (siehe Bild 1). Zu diesen Sensoren gehören zwei Wägezellen, die besonders temperaturstabil sind und das Gewicht des Bienenstocks erfassen können, ein Thermometer für die Messung der Umgebungstemperatur und ein Lux-Meter für die Aufzeichnung der Sonnenstrahlung, die auf den Bienenstock fällt.

Die Sensoren werden mit einer kleinen Solarzelle und Batterie betrieben. Für die Datenübertragung wird das LoRaWan-Netzwerk genutzt, welches auch für den Ausbau von „Hannovers Internet der Dinge (HIID)“ genutzt wird. Diese fortschrittliche Technologie ermöglicht es den Unternehmen, die Gesundheit und Aktivitäten der Bienenstöcke in Echtzeit zu verfolgen.

Die auf Bild 1 erkennbaren Überwachungskameras gehören nicht zur Standardausrüstung, da sie als Voruntersuchung implementiert wurden. Die Überwachungskameras werden genutzt, um KI-basiert die ausschwärmenden Bienen zu zählen und einen Aktivitätsgraphen abzuleiten. Aufgrund der Positionierung und der Qualität der ersten Aufnahmen war keine weitere Auswertung möglich, sodass später eine weitere Kamera implementiert wurde.



Herausforderung und Zielsetzung

Die Nutzung von Digitalisierungsmethoden zur Überwachung von Bienenstöcken bietet großes Potenzial. Imker*innen können damit auch aus der Ferne die Gesundheit des Bienenvolks sowie die Leistung der Bienen bewerten.

Ein Beispielgraph für den Gewichtsverlauf eines Bienenstocks ist in Bild 2 dargestellt. Anhand dieser Daten lässt sich ermitteln, wie hoch der Ertrag des Bienenstocks an diesem Tag war, wie hoch der Wassergehalt in der Beute der Bienen ist und wie viel Honig die Bienen verbrauchen, die im Bienenstock leben. Im Graph ist zu erkennen, dass nachts eine Gewichtsabnahme erfolgt, wenn die Bienen den Honig verbrauchen. Zum Sonnenaufgang kommt es zu einem Absinken des Gewichts, weil die Arbeiterbienen ausschwärmen. Im Verlauf des Tages steigt das Gewicht durch den eingebrachten Nektar. Nachts sinkt das Gewicht wiederum durch die Trocknung des Nektars zu Honig. Bisher untersuchen Imker*innen die Gewichtsdaten manuell und anhand ihres Erfahrungswissens. Durch die Kenntnis des Gewichtsverlaufs können sie dem Verhungern von Bienen vorbeugen.

Wenn die Bienenkönigin stirbt, reagiert das restliche Bienenvolk, indem die weiblichen Bienen – die sogenannten Arbeiterinnen – Eier legen. Aus diesen unbefruchteten Eiern schlüpfen immer männliche Bienen, sogenannte Drohnen. Das Volk gilt dann als drohnenbrütig und ist vom Aussterben bedroht, da Drohnen lediglich Nahrung verbrauchen und keinen Nektar sammeln. Durch den hohen Anteil an Drohnen versucht das Volk, die Überlebenschancen der DNA des Bienenstocks zu sichern, da die Drohnen die Königin eines anderen Volkes befruchten könnten. In einem solchen Fall müssen Imker*innen schnellstmöglich eingreifen und eine neue Königin heranziehen – sonst stirbt das Volk. Anhand der im Rahmen des Projektes entwickelten Technologie kann die Drohnenbrütigkeit aus der Ferne mittels KI detektiert werden, um das Bienenvolk zu retten.

Projektüberblick

Viele Unternehmen gestalten ihre Außengelände naturfreundlich um und lassen dort auch Bienenstöcke aufstellen. Die Imkerei Gottlieb & Therese Wittrock betreut Bienenstöcke auf Firmengrundstücken und nutzt dafür Sensoren zur Fernüberwachung.

Um den Gesundheitszustand eines Bienenvolks überwachen zu können, wurde gemeinsam mit dem Mittelstand-Digital Zentrum Hannover eine KI-basierte Objekterkennung implementiert. Aus Videoaufnahmen vom Eingangsbereich eines Bienenstocks wurden zunächst Bilder extrahiert, die für das Training einer Künstlichen Intelligenz (KI) genutzt wurden. Dafür wurden die Aufnahmen manuell gelabelt – das heißt, jede abgebildete Biene wurde hinsichtlich ihrer Eigenschaften untersucht und beschriftet. Mit diesen Daten wurde ein KI-basierter Algorithmus zur Echtzeit-Bildererkennung angeleitet und getestet. Die so entwickelte Bildererkennung ist in der Lage, Bienen mit und ohne Pollen in Echtzeit zu erkennen und Aktivitätsgraphen abzuleiten, sodass die Imkerei nun zusätzliche Informationen auswerten kann.

Bild 2
Beispielgraph des Gewichtsverlaufs eines Bienenstocks über einen Tag im Frühjahr (mit Trachteintrag)

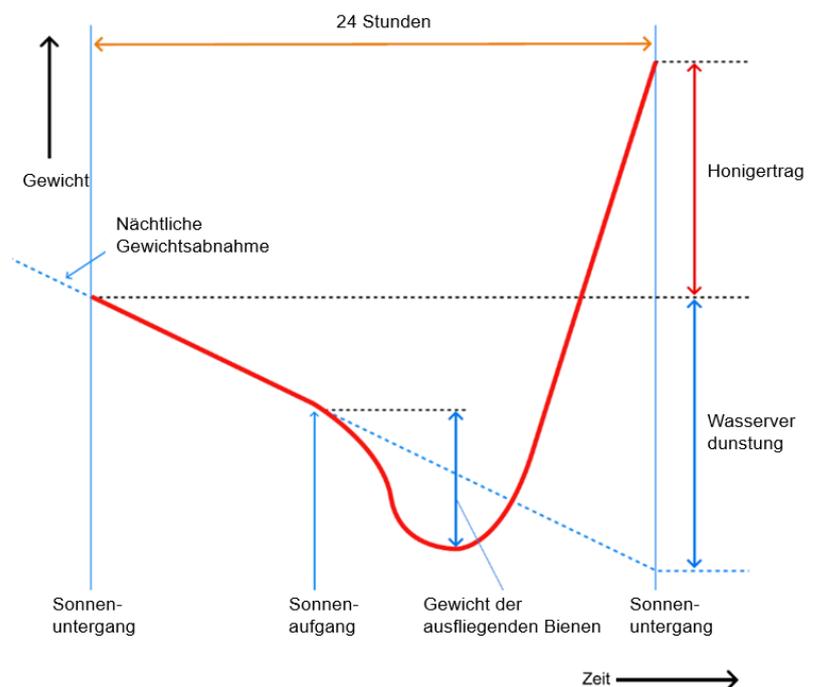




Bild 3
Vorläufiger Aufbau der Kamera für initiale Untersuchungen



Bild 4
Arbeiterin, Bienenkönigin und Drohne lassen sich anhand der Größe und Körperform unterscheiden.

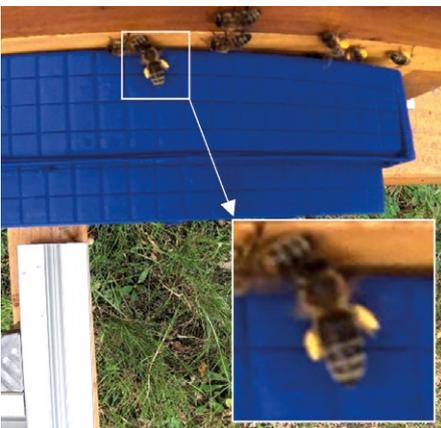


Bild 5
Aus den Kameraaufnahmen extrahierte Bilddatei (Ausschnitt)

Lösungsweg

Um eine Drohnenbrütigkeit zu erkennen, wurde eine wasserfeste Kamera (GoPro Hero 11) aufgestellt, welche hochauflösende Echtzeitvideos vom Eingang des Bienenstocks aufnimmt. Der vorläufige Kameraaufbau ist in Bild 3 zu sehen. Eine Landefläche wurde in CAD designt und auf einem 3D-Drucker gedruckt, um diese vor dem Eingang des Bienenstocks zu montieren.

Drohnen sind deutlich größer als Arbeiterinnen (siehe Bild 4). Um die Unterscheidung der Bienengeschlechter anhand der Größe zu vereinfachen, wurde auf der neuen Landefläche ein Raster eingearbeitet. Mit der GoPro-Kamera wurden erste Aufnahmen erstellt, anhand welcher das Konzept zur Erkennung der Bienen geprüft werden konnte. Da ein Bienenstock im Winter keine Drohnen hat, wurde vorerst eine Analyse entwickelt, die eine Unterscheidung zwischen Arbeiterinnen mit Pollen und Arbeiterinnen ohne Pollen an den Beinen ermöglicht. Sobald im Frühjahr Drohnen schlüpfen, wird der Algorithmus erneut angelernt, um auch eine Unterscheidung zwischen Arbeiterinnen und Drohnen zu ermöglichen.

Für das KI-Training wurden im ersten Schritt Bilder aus den Aufnahmen der Kamera randomisiert extrahiert. Für die Prüfung des Konzepts wurden 300 Bilder aus sechs Stunden Videomaterial gezogen. Ein Beispiel ist in Bild 5 dargestellt. Es ist erkennbar, dass sich mehrere gleich große Bienen (Arbeiterinnen) auf der Landebahn befinden. Einige haben gelbe, rundliche Anhaftungen an den Beinen. Dabei handelt es sich um die Pollen. Für die vorläufige Prüfung des Konzeptes wurden noch keine unterschiedlichen Wetter- und Lichteinflüsse berücksichtigt.

Die Bilder wurden dann zugeschnitten, um den Rechenaufwand zu verringern (siehe Bild 6). Mit dem Programm Roboflow Annotate wurden die Bienen einzeln markiert und manuell gelabelt. Das heißt, jeder abgebildeten Biene wurde entweder der Wert „Arbeiterin“ oder der Wert „Arbeiterin mit Pollen“ zugeordnet.

Mit diesen erzeugten und gelabelten Daten wurde im Anschluss der YOLO-Algorithmus trainiert. YOLO steht in diesem Fall für „You Only Look Once“, ein innovativer KI-Algorithmus für die Echtzeit-Objekterkennung, der aus einem sich faltenden neuronalen Netz besteht (englisch: Convolutional Neural Network, CNN). Der Algorithmus kann in einem Durchlauf verschiedene Klassen erkennen (in diesem Fall: Biene mit vs. Biene ohne Pollen), die Wahrscheinlichkeit für diese Klasse (Konfidenz) und die räumliche Ausdehnung der Klasse bestimmen. Die Ergebnisse des KI-Trainings sind in Bild 7 dargestellt.

Anhand der vorläufigen Auswertung kann gezeigt werden, dass die verwendete Kamera in Kombination mit der genutzten KI-Methode „YOLO“ in der Lage ist, zwischen Arbeiterinnen mit und ohne Pollen zu unterscheiden. Diese Erkenntnisse werden im Frühjahr ausgeweitet, um eine Unterscheidung zwischen Arbeiterinnen und Drohnen zu ermöglichen.



Bild 6
Zugeschnittene und gelabelte Bilddatei



Bild 7
Ergebnisse der KI-Auswertung



Nutzen für den Mittelstand

Im Falle des vorliegenden Projektes wurde die Objekterkennung mittels KI für die Live-Überwachung des Gesundheitszustandes von Bienenstöcken genutzt. KI-Objekterkennung bietet allerdings für viele Unternehmen im Mittelstand noch eine Reihe von anderen Anwendungsmöglichkeiten. Sie ermöglicht die Automatisierung von repetitiven Aufgaben, zum Beispiel die Unterscheidung von Produkten in der Produktion oder im Lager, und kann durch präzise Erkennung Fehler minimieren.

Auch in der Qualitätssicherung kann die KI-Objekterkennung eingesetzt werden. Die Live-Erkennung mit dem YOLO-Algorithmus kann für die effiziente Gestaltung von Arbeitsplätzen genutzt werden oder die Bestandsverwaltung und Logistik optimieren. Dadurch können Kosten gespart und gleichzeitig die Leistung gesteigert werden. Im Rahmen des Projektes wurde zusätzlich gezeigt, dass der Algorithmus in der Lage ist, maschinelle Prozessdaten zu klassifizieren, wenn diese als standardisiertes Bild eingelesen werden. Insgesamt bietet die KI-Objekterkennung mittelständischen Unternehmen die Möglichkeit, ihre operativen Abläufe zu verbessern, Kosten zu senken, innovative Wege zu beschreiten und ihre Wettbewerbsfähigkeit in einer sich ständig weiterentwickelnden Geschäftswelt zu steigern.

Autor*innen

Paulina Merkel
Wissenschaftliche Mitarbeiterin am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH und KI-Koordinatorin im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

Maik Töppler
Studentische Hilfskraft und Bachelorand am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Absatzplanung mit KI: Genauere Prognose reduziert Verschwendung

Projektabschlussbericht von Manuel Savadogo und Hubert Truchan



Eine möglichst genaue Absatzprognose ist für die meisten produzierenden Unternehmen essenziell. Wenn exakt so viel produziert wird, wie sich verkaufen lässt, maximieren Unternehmen ihren Gewinn. Produzieren sie zu wenig, entgeht ihnen möglicher Umsatz – und die Kunden sind enttäuscht, weil die gewünschten Produkte ausverkauft sind. Produzieren Unternehmen dagegen zu viel, verschwenden sie Ressourcen und bleiben auf den Produktionskosten sitzen. Besonders kritisch ist das bei Produkten, die sich nicht lagern lassen, zum Beispiel bei verderblichen Lebensmitteln.

Unternehmen und Produkt

Die Maru Sushi UG ist ein kleines Unternehmen, das sich auf die Produktion nicht-lagerbarer Güter in der Lebensmittelbranche spezialisiert hat. Zur Herstellung ihrer Produkte nutzen sie Industrieroboter, die speziell für die Herstellung von Sushi konzipiert wurden.

Um zu ermitteln, welcher Absatz zu erwarten ist, nutzt das Unternehmen die vergangenen Absatzzahlen in Form von Excel-Tabellen und schätzt ab, wie viel Sushi für die kommenden Tage zu produzieren ist. Um dem Unternehmen eine zielführende und aussagekräftige Absatzprognose gewährleisten zu können, wurde im Rahmen des Projekts ein Prototyp einer KI-basierten Absatzplanung entwickelt.

Herausforderung und Zielsetzung

Die zentrale Herausforderung besteht darin, dass sich Sushi nicht lange lagern lässt und gleichzeitig der Absatz besonderen Schwankungen unterliegt. Diese

Schwankungen werden durch unterschiedliche äußere Faktoren beeinflusst, beispielsweise den Wochentag oder das Wetter (siehe Bild 1). Eine exakte Prognose ist deshalb mit einem erhöhten Aufwand und sehr hoher Komplexität verbunden. Dies führt dazu, dass viele Unternehmen Abstand zu der Entwicklung von vermeintlich komplizierten Prognosemodellen nehmen.

Die Prognose, die die Maru Sushi UG bisher durchgeführt hat, ist in ihrer Aussagekraft stark eingeschränkt und bietet nicht die Möglichkeit, äußere Einflussfaktoren und Gründe für Absatzschwankungen einzubeziehen. Darüber hinaus gibt es keine Methode, um den Absatz mit einer möglichst hohen Genauigkeit vorhersagen zu können. Das Hauptziel des Projekts war es daher, dem Unternehmen durch die Entwicklung einer KI-basierten Absatzplanung ein Tool an die Hand zu geben, um den zu erwartenden Absatz basierend auf historischen Werten optimal bestimmen zu können. Darüber hinaus soll mithilfe des Tools detektiert werden, wie sich vorher definierte Einflussfaktoren auf den Absatz des Unternehmens auswirken.

Hierzu wurde zu Projektbeginn eine Analyse der vorliegenden Daten und deren Qualität durchgeführt. Anschließend wurde ein optimaler Datensatz erstellt. Parallel dazu wurden Faktoren identifiziert, die einen wesentlichen Einfluss auf den Absatz haben können. Nach der Datenvorverarbeitung und der Ermittlung der relevanten Einflussfaktoren folgte die Entwicklung des KI-basierten Modells und deren Evaluierung. Darüber hinaus wurde ein Leitfaden entwickelt, der andere Unternehmen aus dem Bereich nicht-lagerbarer Güter bei der präzisen Ermittlung des zu erwartenden Absatzes unterstützen kann.

Projektüberblick

Bei der Entwicklung einer KI-basierten Absatzplanung und der damit einhergehenden Reduzierung von Verschwendung nicht-lagerbarer Güter unterstützte das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover die Maru Sushi UG im Rahmen eines Digitalisierungsprojekts.

Ziel des Projekts war es, eine Prognose über die zu erwartenden Absätze von Sushi zu entwickeln, das in Supermärkten verkauft wird. Der Absatz unterliegt großen Schwankungen, die stark von äußeren Einflussfaktoren abhängen. Hierbei konzentrierte sich das Projekt auf die Bereitstellung der optimalen Datengrundlage, die Ermittlung relevanter Einflussfaktoren und die Entwicklung eines KI-basierten Modells, das eine aussagekräftige Prognose hinsichtlich des Absatzes generiert. Damit kann das Unternehmen der Verschwendung von Ressourcen vorbeugen und Ausschuss reduzieren.

Darüber hinaus entstand ein Leitfaden, der insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) eine Anleitung bietet, um ihre eigene KI-basierte Absatzplanung zu entwickeln.

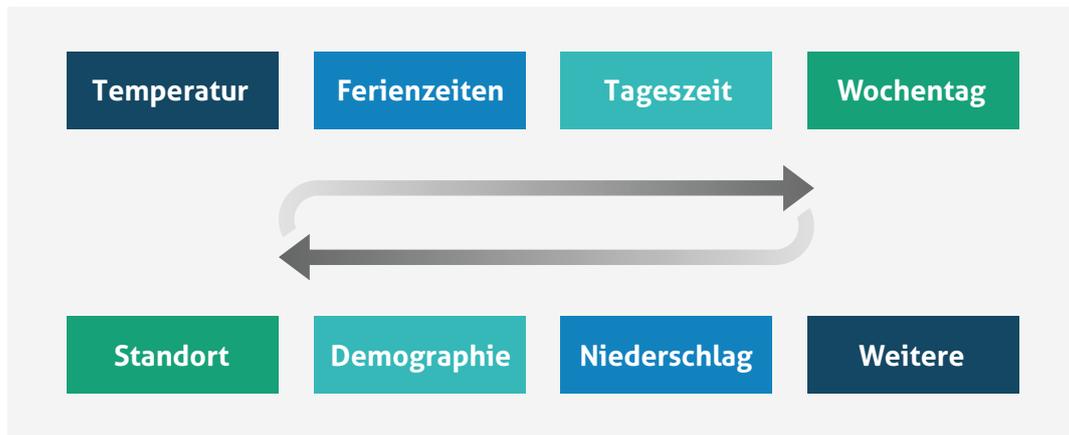


Bild 1

Von diesen Einflussfaktoren hängt ab, wie viel Sushi ein Supermarkt an einem Tag verkauft.

Lösungsweg

Im ersten Schritt des Projekts wurden die vorliegenden Daten hinsichtlich ihrer Relevanz und ihrer Qualität analysiert. Dies ermöglichte einen Überblick über die vorliegende Datenqualität und Selektierung der relevanten Daten.

Nach der Ermittlung der relevanten Daten und der dazu notwendigen Datenqualität wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Ansätze und Methoden diskutiert, mit deren Hilfe die Datenqualität kontinuierlich optimiert werden kann. Darüber hinaus wurde erkannt, dass ein möglichst großer Datensatz vorliegen muss, um eine optimale Prognose gewährleisten zu können.

Neben der notwendigen Datenqualität wurden ebenfalls in enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmen

Einflussfaktoren detektiert, die sich wesentlich auf den Absatz auswirken können. Hierbei wurden das Wetter, die Ferienzeiten, die Demographie, Feiertage und Wochentage als die Einflussfaktoren mit der höchsten Relevanz ermittelt.

Da diese Faktoren zu erheblichen Schwankungen des Absatzes führen können, wurden sie in die Absatzplanung aufgenommen. Durch die Implementierung dieser Einflussfaktoren kann das entwickelte KI-basierte Modell Muster erkennen und ermitteln, wie sich beispielsweise das Wetter oder der Wochentag in der Vergangenheit auf den Absatz ausgewirkt haben. Die daraus resultierenden Ergebnisse kann das Modell auf die Prognose der zu erwartenden Absätze anwenden, um die Prognosegenauigkeit zu erhöhen.

Nach der Bereitstellung der notwendigen Datengrundlage und der Detektion der relevanten Einflussfaktoren erfolgte die Entwicklung der KI-basierten Absatzplanung. Diese wurde unter Verwendung der Programmiersprache Python programmiert. Hierzu wurde auf diverse Bibliotheken zurückgegriffen, wie zum Beispiel matplotlib, numpy oder tensorflow. Diese erleichtern die Programmierung und bieten die Möglichkeit, mit minimalem Aufwand auf vordefinierte Ansätze und Methoden zurückgreifen zu können.

Nach der Programmierung, dem Training und dem Testen des entwickelten Modells wurde eine Visualisierung eingebaut. Diese bietet dem Unternehmen die Möglichkeit, die prognostizierten Absätze aufwandsarm und nachvollziehbar zu deuten. Darüber hinaus lassen sich so Muster und Schwankungen effizienter darstellen.

Um die Genauigkeit des entwickelten Modells kontinuierlich optimieren zu können, wurde zusätzlich eine Upload-Funktion eingebaut. Diese bietet dem Unternehmen die Möglichkeit, jederzeit neue Daten hochzuladen. Werden neue Daten hochgeladen, wird das entwickelte Modell automatisch neu trainiert und kann so bessere Prognosen abgeben. Grundvoraussetzung hierfür ist, dass die hinzugefügten Daten den Qualitätsstandards entsprechen, die im ersten Schritt festgestellt wurden. Sollte dies nicht der Fall sein, müssen die Daten zuvor bereinigt werden.

Das entwickelte Tool bietet dem Unternehmen somit die Möglichkeit, die Produktionsprozesse zu optimieren, die Produktionsmenge dem zu erwartenden Absatz anzupassen und daraus resultierend die Verschwendung zu reduzieren.

Nutzen für den Mittelstand

Nach der erfolgreichen Entwicklung des Prototyps wurde ein [Leitfaden](#) entwickelt. Dieser bietet insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) eine schrittweise Anleitung zur Entwicklung einer KI-basierten Absatzplanung. Der Leitfaden erläutert die dazu notwendigen Grundvoraussetzungen und befasst sich akribisch mit der Detektion der Datengrundlage und der Sicherstellung der notwendigen Datenqualität. Darüber hinaus werden Themen wie die Identifikation der relevanten Einflussfaktoren, Programmierung des KI-Prototyps und der Visualisierung der Ergebnisse detailliert betrachtet.

Der hierbei in Zusammenarbeit mit der Maru Sushi UG entwickelte KI-Prototyp ist eine optimale Referenz für viele Unternehmen, die täglich denselben Herausforderungen gegenüberstehen. Die Reduzierung

von Verschwendung oder Ausschuss ist ein Thema, das insbesondere KMU beschäftigt – in Zeiten gestiegener Rohstoffpreise mehr denn je.

Mithilfe des entwickelten Leitfadens können mittelständische Unternehmen Ansätze der Künstlichen Intelligenz nutzen, um ihre Produktion zu optimieren. Der Leitfaden bietet ihnen die Möglichkeit, sich akribisch mit den vorliegenden Daten auseinanderzusetzen, die vorliegende Datenqualität zu erhöhen und mit dem entwickelten Modell eine optimale Prognose über den zu erwartenden Absatz zu generieren. Dies führt zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit von KMU und stärkt darüber hinaus das Vertrauen in die Nutzung von Ansätzen und Methoden der Künstlichen Intelligenz. Darüber hinaus werden KMU durch den Leitfaden für das Thema Datengenerierung und -nutzung sensibilisiert. Der Leitfaden und der sich daraus ergebene Mehrwert zeigt Unternehmen, dass es vorteilhaft sein kann, sich intensiver mit dem Potenzial der ihnen vorliegenden Daten auseinanderzusetzen.



Autoren

Manuel Savadogo

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH und Projektingenieur im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

Hubert Truchan

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

Projektmanagement-Reports automatisiert bewerten – mit KI-Sprachmodellen

Projektabschlussbericht von Paolo Pappe

Projektüberblick

Lassen sich Projektmanagement-Berichte automatisiert bewerten, um Mitarbeitende bei ihrer täglichen Arbeit zu entlasten? Vor dieser Frage stand die Decisio Projekt- und Prozessmanagement GmbH.

KI-Sprachmodelle, sogenannte Large Language Models (LLM), können die Berichtsbewertung deutlich effizienter, einheitlicher und besser skalierbar machen. Das hat eine Machbarkeitsstudie gezeigt, die das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover GmbH als Partner des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover in Zusammenarbeit mit der Decisio GmbH durchgeführt hat. Dass die automatisierte Berichtsbewertung technisch machbar ist, bestätigte sich im Projekt insbesondere durch die erfolgreiche Extraktion von Textinhalten und die präzise Anwendung festgelegter Bewertungskriterien. Zugleich wurden Herausforderungen der automatisierten Bewertung identifiziert.

Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) eröffnet die KI-gestützte Bewertungshilfe bedeutende Möglichkeiten, um Ressourcen gezielter einzusetzen und die Qualität zu verbessern.

Die Digitalisierung und Automatisierung von Geschäftsprozessen sind zentrale Herausforderungen der modernen Arbeitswelt, insbesondere in Bereichen, die traditionell durch einen hohen manuellen Aufwand gekennzeichnet sind. Die Decisio Projekt- und Prozessmanagement GmbH, ein Anbieter von Projektmanagement-Lehrgängen, sieht sich mit der Herausforderung konfrontiert, die zeitaufwendige Korrektur von Projektreports zu optimieren. Dieser Bericht beleuchtet eine Machbarkeitsstudie zur Implementierung eines KI-basierten Bewertungssystems für ebjenere Reports.



Fortsetzung
auf der nächsten Seite

Unternehmen und Produkt

Die Decisio Projekt- und Prozessmanagement GmbH bietet unter anderem Lehrgänge zum Projektmanagement-Fachmann (GPM) / IPHMA Level D an. Die Teilnehmenden, die diese Lehrgänge absolvieren, werden gezielt auf die anspruchsvolle Prüfung vorbereitet, die den Abschluss des Levels D ermöglicht. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Prüfung ist die Erstellung eines umfassenden Projektreports, der eigenständig verfasst werden muss.

Herausforderung und Zielsetzung

Die sorgfältige Korrektur der eingereichten Projektreports ist für das Unternehmen äußerst zeitaufwendig. Die ca. 20-seitigen Berichte werden durch Mitarbeitende korrigiert und es werden Verbesserungsvorschläge gemacht. Diese zeitintensive Tätigkeit führt dazu, dass die Mitarbeitenden für andere Aufgaben nicht mehr in vollem Umfang zur Verfügung stehen.

Das Unternehmen hat nach einer Lösung gesucht, um die Arbeitsbelastung der Mitarbeitenden zu reduzieren, ohne dabei die Qualität der Bewertung der Projektreports zu beeinträchtigen. Abhilfe schaffen soll eine innovative Bewertungshilfe, die auf Large Language Models (LLM) basiert – einer Form der Künstlichen Intelligenz (KI). LLM sind in der Lage, große Mengen an Textdaten schnell und präzise zu analysieren. Sie können Grammatik- und Rechtschreibfehler identifizieren, den Schreibstil bewerten und wertvolle Verbesserungsvorschläge zur sprachlichen Qualität des Projektreports geben. Darüber hinaus können LLM auch bei der inhaltlichen Bewertung der Projektreports eine Rolle spielen. Sie können Schlüsselbegriffe und Konzepte erkennen, die in den Berichten behandelt werden, und anhand vordefinierter Kriterien eine qualitative Einschätzung vornehmen.

Allerdings haben sie auch einige Defizite. Sie können Schwierigkeiten beim Verstehen des Kontexts haben und in manchen Fällen voreingenommene oder fehlerhafte Informationen generieren. Und: Sie haben nur geringe Fähigkeit, neue und einzigartige Ideen zu entwickeln und sich originell auszudrücken. Sichtbar wird auch, dass die Bedeutung einzelner Fachbegriffe von LLM nicht immer eindeutig erfasst werden, diese fehlende Kenntnis jedoch nicht von den Modellen kommuniziert werden.

Lösungsweg

Innerhalb des Digitalisierungsprojekts wurde untersucht, ob eine automatisierte KI-basierte Bewertung der Projektmanagement-Reports möglich ist. Diese Bewertungssoftware sollte in der Lage sein, die Informationen bzw. zu bewertende Textbausteine aus den Reports in Word-Format zu extrahieren, anhand LLM zu analysieren, akkurat nach definierten Bewertungskriterien zu bewerten und gezielt Feedback zu generieren.

Phase 1: Zusammenstellung und Fehleranalyse

In der ersten Phase der Studie wurden diverse Projektmanagementberichte zusammengestellt. Diese Auswahl umfasste sowohl Musterberichte als auch solche, die bewusst Fehler in z. B. Grammatik, Rechtschreibung, Stil und inhaltliche Konsistenz enthielten. Ziel war es, ein breites Spektrum an Herausforderungen zu simulieren, mit denen die Bewertungshilfe umgehen sollte. Parallel dazu wurden spezifische Bewertungskriterien entwickelt, die sich an den Standards des Projektmanagements orientieren und sowohl qualitative als auch quantitative Aspekte abdecken. So sollte beispielsweise überprüft werden, ob ein Kapitel alle relevanten Informationen, die für dieses Kapitel von Bedeutung sind, enthält. Auch sollte überprüft werden, ob die Projektplanlaufzeit eingehalten wurde oder ob es Abweichungen gab.

Phase 2: Automatisierte Textextraktion

Die zweite Phase konzentrierte sich auf die technische Umsetzung der Textextraktion aus den Word-Dokumenten. Unter Verwendung der Programmiersprache Python und verschiedenen Bibliotheken für Textverarbeitung (docx, openai, pickle) wurde ein Tool entwickelt, welches in der Lage war, Texte effizient zu extrahieren, zu bereinigen und für die Analyse vorzubereiten. Das geschriebene Programm musste zudem die Formatierung berücksichtigen, um Abschnitte, Überschriften, Tabellen und andere strukturelle Elemente der Berichte zu erkennen. Die Herausforderung bestand darin, die Texte so aufzubereiten, dass sie von den LLM effektiv analysiert werden konnten, ohne dass die ursprüngliche Bedeutung oder der Kontext verloren ging.

Phase 3: Einsatz von GPT-3.5-Turbo

In der dritten Phase wurde mit den extrahierten Textdaten ein LLM, das auf dem KI-Sprachmodell von ChatGPT (GPT-3.5-Turbo) basiert, verwendet. Für die Verwendung der Schnittstelle zum LLM war eine Lizenz erforderlich. Die zu bewertenden Textbausteine wurden zusammen mit den in Phase 1 entwickelten Bewertungskriterien an das LLM übergeben. Hierbei mussten die festgelegten Bewertungskriterien durch gezieltes Prompt Engineering in Eingabeaufforderungen (Prompts) umformuliert werden, sodass die Textbausteine zielgerichtet analysiert werden konnten. Dieser Prozess erforderte eine enge Zusammenarbeit zwischen den Projektbearbeiter*innen und den Fachexpert*innen im Projektmanagement, um sicherzustellen, dass die Bewertungskriterien korrekt interpretiert und angewendet wurden.

| | | |
|--------------------|---|--|
| Geplante Termine | Start: 27.05.2021 Ende: 29.10.2021 | Dauer: 5 Monate |
| Prompt | Prüfe, ob der Text folgende Kriterien erfüllt: *Entspricht die Dauer des Projekts der Zeit zwischen Start- und Endtermin? Schreibe ‚erfüllt‘, wenn das Kriterium erfüllt wurde. | Prüfe, ob der Text folgende Kriterien erfüllt: *Entspricht die Dauer des Projekts der Zeit zwischen Start- und Endtermin? Schreibe ‚erfüllt‘, wenn das Kriterium exakt erfüllt wurde. |
| Generierte Antwort | Das Kriterium, dass die Dauer des Projekts der Zeit zwischen Start- und Endtermin entsprechen soll, wurde erfüllt . Die Dauer des Projekts beträgt genau 5 Monate. | Das Kriterium wurde nicht exakt erfüllt ; die tatsächliche Dauer beträgt 5 Monate und 2 Tage. |

Bild 1

Zwei Prompts, die leicht unterschiedlich formuliert sind, generieren zwei völlig verschiedene Antworten – das zeigt, wie wichtig eine genaue Formulierung ist.

Nutzen für den Mittelstand

Die Machbarkeitsstudie verdeutlicht, dass LLM erfolgreich für die Bewertung von Berichten eingesetzt werden können. Die Anwendung des Sprachmodells GPT-3.5-Turbo ermöglicht nicht nur eine Beschleunigung des Bewertungsprozesses einzelner Textpassagen, sondern steigert auch die Effizienz und hat das Potenzial, das Personal zu entlasten.

Gerade im Mittelstand, in Betrieben mit begrenzten Ressourcen, kann die Effizienzsteigerung durch Automatisierung einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil darstellen. Die Vorteile, die sich aus der Nutzung von KI-basierten Textverarbeitungstools ergeben, sind nicht nur auf die Bewertung von Projektmanagementberichten beschränkt. Die gleiche Technologie kann erfolgreich auf andere Bereiche übertragen werden. So könnten Qualitätsberichte oder Evaluierungsbögen automatisiert ausgewertet werden.

Trotz der vielversprechenden Potenziale ist es jedoch wichtig, der Technologie nicht blind zu vertrauen. Eine Kontrolle zur Qualitätsprüfung ist unerlässlich, um sicherzustellen, dass die automatisierten Bewertungen zuverlässig und konsistent sind. Eine Kombination aus menschlicher Überprüfung und algorithmischer Analyse kann dazu beitragen, potenzielle Fehlerquellen zu identifizieren und die Genauigkeit der Ergebnisse zu verbessern.

Phase 4: Analyse und Dokumentation

Die vierte und letzte Phase der Machbarkeitsstudie konzentrierte sich auf die sorgfältige Auswertung der durch das LLM erzielten Bewertungsergebnisse und die umfassende Dokumentation der gewonnenen Erkenntnisse. Nachdem die KI-basierte Bewertungshilfe auf einzelne Projektmanagement-Berichte angewendet wurde, galt es, die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Systems zu analysieren. Dabei wurden die von der KI generierten Bewertungen mit den manuell durchgeführten Bewertungen durch die Fachexpert*innen verglichen, um Abweichungen und Genauigkeit zu identifizieren.

Die Studie zeigt, dass eine automatisierte Bewertung von Projektmanagementberichten durch LLM grundsätzlich möglich ist. Die Textextraktion aus Word-Dokumenten erwies sich als machbar, wenn auch der Programmieraufwand hoch war. Insbesondere der gezielte Zugriff auf Inhalte von Word-Tabellen war programmiertechnisch herausfordernd. Das Sprachmodell GPT-3.5-Turbo war in der Lage, die definierten Bewertungskriterien in vielen Fällen erfolgreich anzuwenden. Abfragen von mathematischen Aufgaben oder einzelnen Begriffen funktionierten problemlos. Bei komplexeren Abfragen musste auf eine klar definierte und eindeutige Formulierung der Kriterien geachtet werden. So führten schon leichte Formulierungsunterschiede zu teils deutlich unterschiedlichen Antworten (siehe Bild 1). Hierbei war das Feedback der Decisio-Mitarbeitenden entscheidend, um die bestmögliche Antwort finden zu können.

Während der Machbarkeitsstudie wurden auch Grenzen des LLM sichtbar. Die Prüfung konkreter Bewertungskriterien funktionierte sehr gut, jedoch konnten Mängel bei der Konsistenz der Antworten beobachtet werden. So wurden einzelne Textbausteine mit dem gleichen Prompt teilweise unterschiedlich bewertet. Diese Problematiken sollen in einem nachfolgenden Projekt durch verbessertes Prompt Engineering gelöst werden.

Autor

Paolo Pappe

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am
 IPH - Institut für Integrierte Produktion
 Hannover gGmbH und KI-Trainer im
 Mittelstand-Digital Zentrum Hannover



Meisterhaft voraus: KI-Readiness im Handwerk der Schmuckherstellung

Malte Stichnoth ist mit seinem Bruder Florian Geschäftsführer der Horst Stichnoth GmbH & Co. KG in dritter Generation. Die 1954 gegründete Schmuckmanufaktur fertigt am Standort Hannover kundenindividuelle Produkte. Sie verbindet klassisches Handwerk mit moderner Schmuckproduktion.

Herr Stichnoth, Ihr Familienunternehmen ist bereits seit drei Generationen in der Herstellung von Schmuckstücken tätig, wobei sowohl traditionelle als auch moderne Fertigungstechniken Anwendung finden. Wie kam es dazu, dass Sie sich mit dem Thema „Künstlicher Intelligenz“ auseinandergesetzt haben?

Durch die Globalisierung ist Digitalisierung auch im Handwerk zu einem Thema geworden. Um unsere Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen, müssen wir neue Wege gehen und uns stetig weiterentwickeln. Dabei bietet Künstliche Intelligenz (KI) sehr viele Möglichkeiten. Wir haben früh erkannt, dass KI eine hohe Bedeutung im Goldschmiedehandwerk bekommen wird. Dies ermöglicht uns unter anderem, die maßgeschneiderte Fertigung von Schmuckstücken voranzutreiben. Vor allem im Bereich der Prozessoptimierung und -vereinfachung eröffnen sich neue und vielversprechende Möglichkeiten.

Im Rahmen des gemeinsamen Digitalisierungsprojekts wurden bereits erste Gespräche geführt. Welche Erkenntnisse haben Sie dabei für sich gewonnen? In welchen Bereichen Ihres Unternehmens ziehen Sie den Einsatz von Künstlicher Intelligenz in Betracht?

Die in dem Projekt durchgeführten Workshops haben uns gezeigt, dass bei uns vor allem in drei Bereichen der Einsatz von KI viel Potenzial bietet: in der Qualitätskontrolle, im Designprozess und im Marketing. Im Warenein- und -ausgang kann die Qualitätskontrolle

mithilfe von KI automatisiert werden, indem durch maschinelles Sehen die Oberflächenqualität geprüft und Unregelmäßigkeiten identifiziert werden. Darüber hinaus können Bildgenerierungs-Tools mithilfe von KI unseren Designprozess deutlich vereinfachen und bieten gleichzeitig ein neues Kundenerlebnis.

Auch im Marketing kann KI uns unterstützen, den Arbeitsaufwand bei der Content-Erstellung zu reduzieren und eine zielgerichtete Kundenansprache ermöglichen. Vor allem aber hat uns das Digitalisierungsprojekt verdeutlicht, dass es unabdingbar ist, sich mit KI auseinanderzusetzen und dass es viele Möglichkeiten gibt, KI im Unternehmen zu implementieren.

Herr Stichnoth, welche Potenziale beim Einsatz von Künstlicher Intelligenz sehen Sie für Ihr Unternehmen? Welche Chancen und welchen Nutzen erwarten Sie?

Vor allem ist die Effizienzsteigerung durch optimierte Produktionsprozesse eine große Chance. KI bietet die Möglichkeit, Prozesse zu vereinfachen und Arbeitsabläufe aufwandsärmer zu gestalten, denn im Handwerk erfordern diese häufig einen erheblichen Zeitaufwand und personelle Ressourcen. Durch automatisierte Prozesse können wir uns verstärkt auf den individualisierten Designprozess von Schmuckstücken und deren Anfertigungen fokussieren. Gleichzeitig bietet KI die Möglichkeit, den individuellen Designprozess durch die Generierung fotorealistischer Designvorschläge zu unterstützen und die Angebotserstellung effizien-

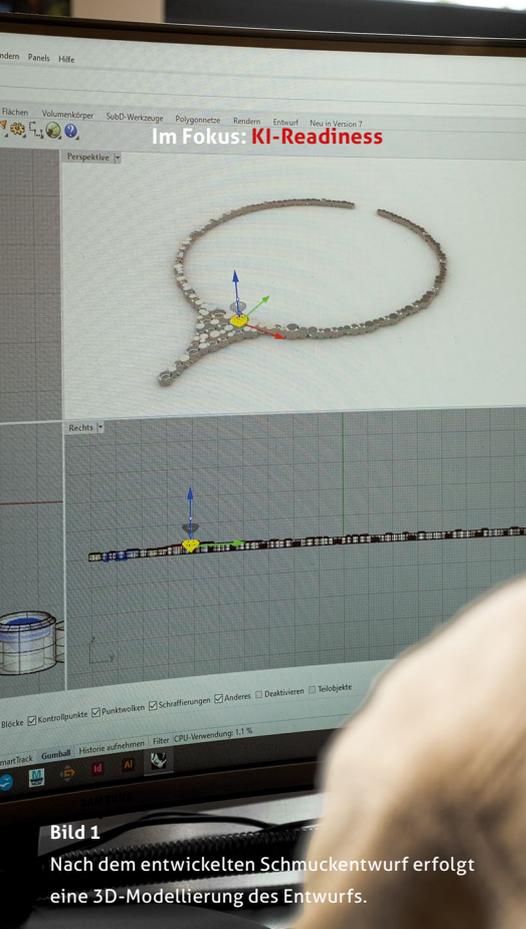


Bild 1
Nach dem entwickelten Schmuckentwurf erfolgt eine 3D-Modellierung des Entwurfs.

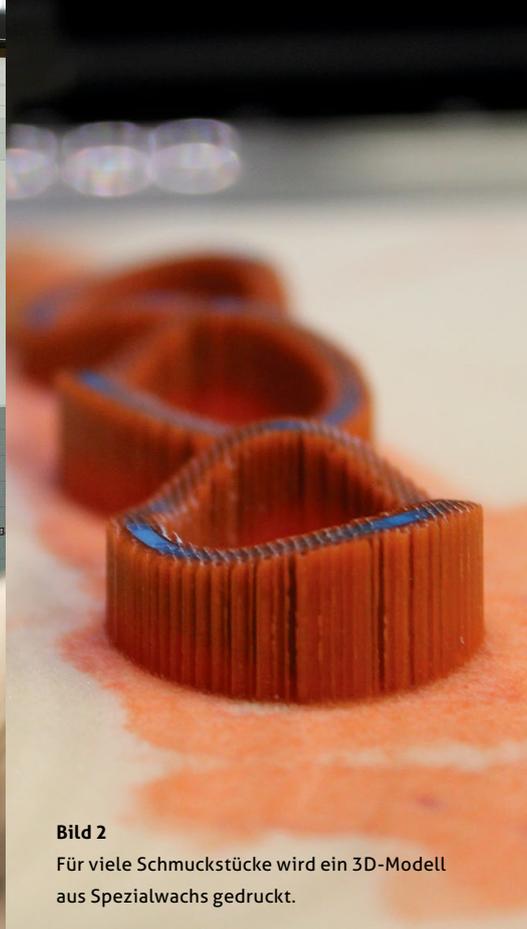


Bild 2
Für viele Schmuckstücke wird ein 3D-Modell aus Spezialwachs gedruckt.



Bild 3
Traditionelle Herstellungsverfahren bilden die Grundlage für die Handwerkskunst.

ter zu gestalten. Während des Kundengesprächs können gewünschte Schmuckstücke direkt visualisiert und durch Wortbeschreibungen einfach angepasst werden. Erstmals können wir unseren Kund*innen somit ein völlig neues Kundenerlebnis bieten und sie bereits im Designprozess einbinden. Im Rahmen des Projekts haben wir bereits ein entsprechendes Bildgenerierungstool installiert und erste Tests durchgeführt.

Welche Herausforderungen sehen Sie bei der Implementierung von Künstlicher Intelligenz in Ihr Unternehmen?

Die wichtigste und größte Herausforderung ist das Schaffen der Voraussetzungen, um erfolgreich KI-Lösungen zu implementieren. Vor allem die Verfügbarkeit der Daten, beispielsweise für die Zielgruppenanalyse für ein gezieltes Marketing und die IT-Sicherheit sind Komponenten, die nicht zu unterschätzen sind. Hinzu kommt die Bereitstellung notwendiger Hard- und Software mit den entsprechenden Systemanforderungen.

Auch die Integration von KI in bestehende Arbeitsprozesse ist für uns eine Herausforderung, die es zu meistern gilt. Unsere Mitarbeitenden spielen dabei eine wesentliche Rolle. Ihre Ideen und ihre aktive Teilnahme sind wichtige Bausteine, um KI in den verschiedenen Anwendungsbereichen erfolgreich zu implementieren. Um eine Beteiligung unseres Teams zu gewährleisten, ist der Aufbau von notwendigem Wissen unabdingbar. Dies beinhaltet beispielsweise, dass unser Team ein Verständnis dafür hat, wie man mit KI umgeht und wie sie in den Grundzügen funktioniert. Ein wichtiger

Punkt auf unserer Agenda zur KI-Implementierung ist deswegen die Schulung unserer Mitarbeitenden in den verschiedenen Anwendungsbereichen.

Was sind die nächsten Schritte, die Sie im Zusammenhang mit der Integration von Künstlicher Intelligenz in Ihrem Unternehmen planen?

Für uns ist es wichtig, dass KI ein wesentlich unterstützender Bestandteil in unserem Unternehmen ist und sein wird. An erster Stelle steht für uns derzeit die Schaffung der Voraussetzungen für die Implementierung von KI. In den Workshops mit dem Mittelstand-Digital Zentrum Hannover haben wir damit begonnen, uns mit der grundlegenden Funktionsweise von KI und deren Anwendungsmöglichkeiten auseinanderzusetzen.

Ein weiterer Themenschwerpunkt betraf die notwendigen Voraussetzungen der Hard- und Software. Um KI im Designprozess anzuwenden, werden wir nach der bereits erfolgten Installation des Bildgenerierungstools weitere Anpassungen an unsere Anforderungen vornehmen und das Tool im direkten Kundengespräch erproben. Der Anfang ist somit gemacht. Unser Ziel ist es, unser Unternehmen auch erfolgreich in der kommenden Generation zu führen und unseren Kund*innen ein umfassendes und individuelles Sortiment anzubieten. KI wird uns dabei unterstützen, dieses Ziel zu erreichen.

Wir danken Ihnen, Herr Stichnoth, für Ihre Zeit und die Einblicke in Ihre Arbeit.

Strategie zur ökologischen Bilanzierung des **Treibhausgaspotenzials** unterschiedlicher Produktionsprozesse

Projekt-Abschlussbericht von Felix Niemeyer und Sebastian Weise

Die verschwindende Artenvielfalt, die Verschmutzung der Meere sowie der zunehmende Klimawandel haben UN Generalsekretär António Guterres im Jahr 2020 im „World Leads Forum“ in einer Ansprache dazu bewegt, den Zustand der Erde mit den ernstesten Worten zusammenzufassen: „To put it simply: The state of our planet is broken“. [1] Die (inter-)nationalen Richtlinien und Regularien zur Verbesserung des Umweltschutzes, insbesondere mit Fokus auf den Klimaschutz, setzen Unternehmen zunehmend wirtschaftlich unter Druck. Auch Deutschland hat im Klimaschutzgesetz die Klimaschutzvorgaben mit dem Ziel, bis 2045 klimaneutral zu sein, weiter verschärft.

Eine wichtige Methodik zur Bilanzierung der für den Klimawandel verantwortlichen Treibhausgasemissionen ist die Ökobilanz. Sie ermöglicht eine ganzheitliche ökologische Bewertung der Umweltauswirkungen

von Produkten, Dienstleistungen oder Prozessen unter Berücksichtigung des vollständigen Produktlebenszyklus von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung (Cradle-to-Grave). Hierbei werden verschiedene Wirkungskategorien (z. B. der Klimawandel) mit dem Ziel betrachtet, Hot Spots zu identifizieren sowie Problemverschiebungen zwischen verschiedenen Umweltauswirkungen und/oder unterschiedlichen Lebensphasen zu vermeiden. Eine Ökobilanz zielt entsprechend auf die Erhöhung der Transparenz über relevante Umweltauswirkungen von betrachteten Produkten und Prozessen und schafft die Möglichkeit zur vergleichenden Bewertung und Optimierung verschiedener Produkte und Prozesse. Durch Bilanzierung der Umweltauswirkungen in der frühen Designphase von Produkten wird die Entwicklung von nachhaltigen technologischen Lösungen ermöglicht.



Bild 1

Bearbeitung eines Bauteils durch einen Walzprozess

Projektüberblick

Durch gestiegene Nachhaltigkeitsanforderungen stehen produzierende Unternehmen wie die ECOROLL AG Werkzeugtechnik zunehmend vor der Herausforderung, ihre Produkte oder Prozesse im Hinblick auf die mit ihnen verbundenen Umweltauswirkungen miteinander vergleichen und optimieren zu können. Bei der ECOROLL AG werden durch den Einsatz von Festwalzprozessen die Eigenschaften von Bauteiloberflächen optimiert. Dadurch kann bei zyklisch belasteten Bauteilen nach Unternehmensangaben dieselbe technische Funktionalität bei geringerem Bauteilgewicht erreicht werden. Um zu quantifizieren, inwieweit der Festwalzprozess aufgrund der Möglichkeiten zur Materialeinsparung zu geringeren Umweltauswirkungen führt, wurde in diesem Projekt eine ökologische Bewertung durchgeführt. Hierzu werden die im Festwalzprozess entstehenden Treibhausgase berücksichtigt und die Lebenszyklus-Umweltwirkungen eines nicht-gewalzten Produktes mit einem gewalzten Produkt (Cradle-to-Grave) verglichen.

Unternehmen und Produkt

Die ECOROLL AG Werkzeugtechnik ist ein führender Anbieter von Werkzeugen und Maschinen für die mechanische Oberflächenveredelung metallischer Werkstücke. Bedarfsorientierte Werkzeuge und Maschinen zum Glatt- und Festwalzen, zur Zylinderbearbeitung sowie zum Umformen werden kundenorientiert konzipiert, produziert und weltweit verkauft. Durch das Festwalzen (siehe Bild 2) kann eine erhöhte Dauerfestigkeit erzielt werden, welche die Materialermüdung und das Versagen von hoch beanspruchten Bauteilen in Maschinen, Fahrzeugen, Flugzeugen und in der Kraftwerks- und Medizintechnik verhindert. (Quelle: ECOROLL AG Werkzeugtechnik)

Bild 2

Festwalzen einer Zylinderlaufbuchse



Herausforderung und Zielsetzung

Die ECOROLL AG steht wie viele andere Unternehmen vor der Herausforderung Umweltauswirkungen unterschiedlicher Produktionsprozesse über eine ökologische Bilanzierung zu quantifizieren und zu bewerten. Das vom Unternehmen durchgeführte Bearbeitungsverfahren kann die Werkstückoberfläche glätten und die Lebensdauer des Werkstücks erhöhen. Je nach Anwendungsfall wird das Verfahren entweder Glattwalzen (Oberflächen glätten) oder Festwalzen (Lebensdauer erhöhen) genannt. Die verbesserte Lebensdauer und die Möglichkeit durch den Walzprozess Materialeinsparungen beim gleichzeitigen Beibehalten der Produkteigenschaften zu realisieren, bieten das Potenzial, Umweltauswirkungen zu verringern. Diesen Vorteilen müssen jedoch auch mögliche zusätzliche Aufwände, z. B. zusätzliche Energieverbräuche für den Walzprozess, gegenübergestellt werden.

Ziel des Projekts ist die Durchführung einer vereinfachten vergleichenden ökologischen Bewertung der Umweltwirkungen eines gewalzten mit einem nicht-gewalzten Bauteil. Im Rahmen des Projektes wird daher exemplarisch nur die Wirkungskategorie Klimawandel betrachtet. Entsprechend ist zu berücksichtigen, dass die Betrachtung weiterer Wirkungskategorien eine Identifikation und Vermeidung potenzieller Problemverschiebungen ermöglicht.

[1]

United Nations (2022): The UN Secretary-General speaks on the state of the planet. www.un.org/en/climate-change/un-secretary-general-speaks-state-planet

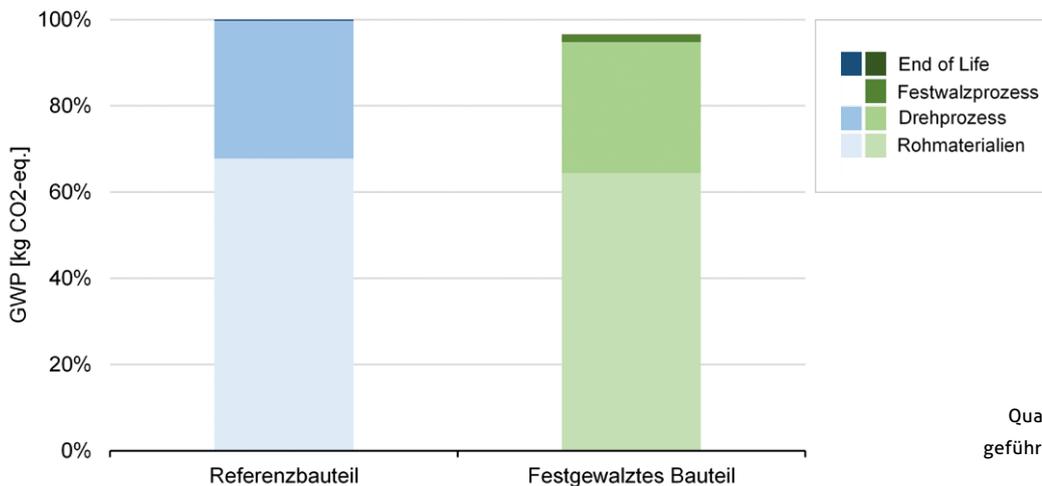


Bild 3
Qualitative Ergebnisse der durchgeführten Treibhausgasbilanzierung

Lösungsweg

Um das Treibhausgaspotenzial des Festwalzprozesses zu quantifizieren, werden die folgenden vier Schritte durchgeführt.

Schritt 1: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

In dieser Phase werden die Ziele und der Rahmen der ökologischen Bewertung definiert. Das beinhaltet u. a. die Festlegung des Zwecks der Untersuchung, die Abgrenzung des Systems, das analysiert werden soll, sowie die Festlegung der funktionellen Einheit. Ziele des gemeinsamen Projekts waren:

- Quantifizierung des Treibhausgaspotenzials von Bauteilen am Beispiel des Festwalzprozesses
- Einsparpotenziale und Auswirkungen innovativer Prozesse
- Prozessbilanzierung im Rahmen einer ökologischen Bewertung

Das Ziel war es, einen ökologischen Vergleich eines nicht festgewalzten Bauteils (Referenz) mit einem festgewalzten Bauteil bei gleicher Lebensdauer durchzuführen. Im Rahmen des Projekts wurde bewusst die Wirkungskategorie Klimawandel fokussiert. Der Untersuchungsrahmen wurde somit wie folgt gewählt:

- Funktionelle Einheit: generisches Bauteil 1 kg
- Betrachtung des gesamten Lebenszyklus (cradle-to-grave)
- Wirkungskategorie: Klimawandel
- Wirkungsindikator: Treibhausgaspotenzial (engl. Global warming potential – GWP) in CO₂-Äquivalenten (GWP100a nach IPCC 2013)
- Betrachtung: Nutzphase im automobilen Kontext über die gesamte Lebensdauer im Kraftfahrzeug (ohne Austausch)
- Zeitbezogener Erfassungsbereich: 5 Jahre (2018-2022)
- Geographischer Erfassungsbereich: Deutschland bzw. Europa
- Datenbank: Ecoinvent v3.8

Schritt 2: Erstellung einer Sachbilanz

Bei der Sachbilanz werden relevante Eingangs- und Ausgangsströme eines Produkts oder Prozesses erfasst. Dies umfasst die Material- und Energieflüsse von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung.

Im Rahmen des Projekts wurde die Sachbilanz mit Unterstützung einer Ökobilanz-Software erstellt. Dafür wurde im ersten Schritt der festgelegte Betrachtungsraum (cradle-to-grave) prototypisch modelliert. Bis auf die Phase des „Festwalzens“ wurden Szenarien und Annahmen basierend auf umfangreichen Literaturrecherchen durchgeführt. Die Daten stammen aus der kostenpflichtigen Ecoinvent-Datenbank.

In der ersten Phase des Cradle-to-Grave Ansatzes, der Rohstoffgewinnung ist beispielsweise die Stahlproduktion (z. B. Energiebedarf des Hochofenbetriebs) in die Umweltbilanzierung mit eingeflossen, weil das Bauteil ausschließlich aus Stahl besteht. Falls das Bauteil aus unterschiedlichen Materialien besteht, müssen weitere Quellen beachtet und ergänzt werden.

In der zweiten Phase der Herstellung des Produktes sind beispielsweise Daten aus dem Drehprozess (z. B. Stromverbrauch, 23 % Verschnitt inkl. dessen Umweltauswirkungen im End-of-Life, ...) in die Bilanzierung eingeflossen.

In der dritten Phase „Festwalzen“, bei der die Umweltauswirkungen maßgeblich durch ECOROLL AG bestimmt werden, sind beispielsweise Energiedaten (z. B. CNC-Maschine, Kühlschmierstoffpumpe, Druckluft, ...), Hilfsstoffe (z. B. Kühlschmierstoffe) oder Prozessdaten des Festwalzprozesses (z. B. 15 Sek Prozesszeit, 20 kW Leistungsaufnahme, ...) berücksichtigt worden.

Für die vierte Phase „Nutzung“ wurde festgelegt, dass das Bauteil in einem Fahrzeug verbaut wird, das eine Laufleistung

von 200.000 km und einen Verbrauch von bleifreiem Benzin (0,15 l /100 km pro 100 kg) hat.

In der letzten Phase des End-of-Lifes ist die Untersuchungsprämisse, dass das Bauteil bei einem Schrotthändler verschrottet und recycelt wird.

Schritt 3: Durchführung der Wirkungsabschätzung

Basierend auf der Sachbilanz werden die Umweltwirkungen bilanziert. Es wird auf Grundlage einer Einschätzung von ECOROLL davon ausgegangen, dass 5 % Material bei gleicher Lebensdauer eingespart werden kann, wenn das Bauteil vorher gewalzt wurde. Bild 3 zeigt eine qualitative Auswertung der Ergebnisse unter Berücksichtigung der verschiedenen Lebenszyklusphasen für die beiden betrachteten Bauteile. Es wird deutlich, dass die Treibhausgasemissionen durch den zusätzlichen Walzprozess aufgrund des eingesparten Materials in den Phasen „Rohmaterial“ und „Drehprozess“ sinken.

Weiterhin ist zu sehen, dass sich die Umweltauswirkungen über den Produktlebenszyklus trotz des zusätzlichen Festwalzprozesses reduzieren. Wenn die Nutzungsphase in einem Kraftfahrzeug miteinbezogen wird, reduzieren sich die Umweltauswirkungen je nach gefahrenen Kilometer in Verbindung mit dem reduzierten Bauteilgewicht und somit dem reduzierten Benzinverbrauch weiter.

Schritt 4: Auswertung und Interpretation

Die Ergebnisse zeigen, dass der Festwalzprozess ein Potenzial zur Verringerung der Umweltauswirkungen bietet. Folgendes Fazit kann geschlossen werden:

- Gegenüber dem Referenzbauteil hat das festgewalzte Bauteil ein geringeres GWP.
- Durch die aufgrund des Festwalzprozesses ermöglichte Materialreduzierung lässt sich bereits ohne Nutzungsphase das Treibhausgaspotenzial reduzieren.
- Der Festwalzprozess hat einen sehr geringen Anteil am Gesamt-GWP des festgewalzten Bauteils.

Aufgrund des gewählten Projektrahmens sind die Inhalte und Ergebnisse mit Unsicherheiten verbunden und wurden bewusst qualitativ und nicht quantitativ aufgezeigt. Zudem wurde nur die Wirkungskategorie Klimawandel betrachtet. Die hier gezeigte Auswertung dient daher lediglich dazu, ein Verständnis für das Vorgehen zur Quantifizierung von Umweltauswirkungen und die Auswertung zu schaffen.

Wenn eine Ökobilanzierung von Unternehmen nach außen kommuniziert werden soll, sollte eine Verifizierung durch Dritte angestrebt werden, um die Glaubwürdigkeit zu erhöhen. Außerdem sollten weitere Wirkungskategorien neben Klimawandel analysiert werden, um Problemverschiebungen zwischen einzelnen Wirkungskategorien zu vermeiden und ein ganzheitliches Bild der Umweltwirkungen zu erhalten.

Nutzen für den Mittelstand

Die ECOROLL AG steht exemplarisch für viele andere Unternehmen, die vor der Herausforderung stehen, Umweltauswirkungen unterschiedlicher Produktionsprozesse mittels einer Ökobilanzierung zu quantifizieren und zu bewerten, weil häufig die Kompetenz zur Quantifizierung von Umweltauswirkungen fehlt.

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover hat im Rahmen des Projekts praxisnah demonstriert, wie Umweltauswirkungen strukturiert erfasst werden können. Diese Transparenz trägt dazu bei, dass Unternehmen ein Verständnis für die Durchführung einer ökologischen Bewertung entwickeln. Im Projekt wurde eine kostenpflichtige Datenbank verwendet. Falls Sie Interesse an kostenlosen Datenbanken haben, schauen Sie gerne hier vorbei:

- Probas, bereitgestellt durch das Umweltbundesamt
- EPD-Sweden, bereitgestellt durch die schwedischen Umweltbehörden
- ELCD, bereitgestellt durch das Europäische Umweltbüro
- LCI-Database, bereitgestellt durch das National Renewable Energy Laboratory in den USA

Autoren

Felix Niemeyer

Gruppenleiter und Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der Technischen Universität Braunschweig und Nachhaltigkeitsexperte im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

Sebastian Weise

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWF

IT-Security Musterprozess für einen sicheren Produkt-Entwicklungs- Lebenszyklus

Projekt-Abschlussbericht von Jan-Niklas Puls und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Niemann

IT-Systeme sind einer kontinuierlich ansteigenden Anzahl von Cyberangriffen ausgesetzt. Diese Beobachtung lässt sich ebenfalls auf Komponenten der Automatisierungstechnik übertragen. Und so verwundert es nicht, dass Betreiber von Industrieanlagen einen größtmöglichen Schutz für ihre Anlagen fordern. Dies hat zur Folge, dass bereits ab dem ersten Entwicklungsschritt von neuen Anlagenkomponenten, beispielsweise eingebetteten Systemen, das Thema Sicherheit mitgedacht werden muss. Mit dieser Betrachtung, beginnend mit der Idee einer Komponente bis hin zur Außerbetriebnahme jenes Produktes, beschäftigt sich die Norm IEC 62443-4-1. Die Norm adressiert Anforderungen an Unternehmen, die es im Zuge des gesamten Produkt-Entwicklungslebenszyklus umzusetzen gilt. Da gerade kleine und mittlere Unternehmen (KMU) vor der Herausforderung stehen, nicht über große personelle und finanzielle Ressourcen zu verfügen, wird mithilfe dieses Digitalisierungsprojektes ein Musterprozess definiert, der KMU bei der Umsetzung der IEC 62443-4-1 unterstützt.



Projektüberblick

Bei der Einführung eines sicheren Produkt-Entwicklungslebenszyklus für Automatisierungskomponenten gemäß Norm IEC 62443-4-1 unterstützte das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover die SSV Software Systems GmbH aus Hannover im Rahmen eines Digitalisierungsprojektes. Ziel war die Erstellung eines an die Norm angelehnten Musterprozesses.

Hierzu wurde zunächst eine Gap-Analyse durchgeführt, bei der vorhandene Prozesse im Unternehmen dokumentiert sowie neu einzuführende Prozesse und Anpassungen erfasst wurden. Anschließend wurde auf dieser Basis ein Musterprozess entwickelt, der den gesamten sicheren Produkt-Entwicklungslebenszyklus von der Projektidee über die Entwicklung und den Betrieb bis hin zur Außerbetriebnahme betrachtet. Der Musterprozess wurde in einem gesonderten Dokument veröffentlicht.

Unternehmen und Produkt

Das Unternehmen SSV Software Systems GmbH aus Hannover wurde 1981 gegründet und ist heute mit gut 20 Mitarbeitenden als Anbieter im Bereich Mikrorechnermodule (eingebettete Systeme) sowie Baugruppen und Systeme tätig (siehe Bild 1). Hierzu gehören neben spezifischer Software für Kommunikationsaufgaben in der Industrie- und Prozessautomation, die Entwicklung und Vermarktung von Sensordaten-Feldbus-Kopplern, LTE-basierte Cloud-Gateways sowie komplexe Cyber-Physical Systeme.

Auch das Thema IT-Sicherheit ist seit langer Zeit ein strategischer Arbeitspunkt des Unternehmens. So bietet die SSV Software GmbH beispielsweise eine Secure-Boot-Funktion sowie Vorlagen zur Schwachstellenbewertung für Kundinnen und Kunden an. Zentrale Anlaufpunkt für das international agierende Unternehmen ist der Standort in Hannover.

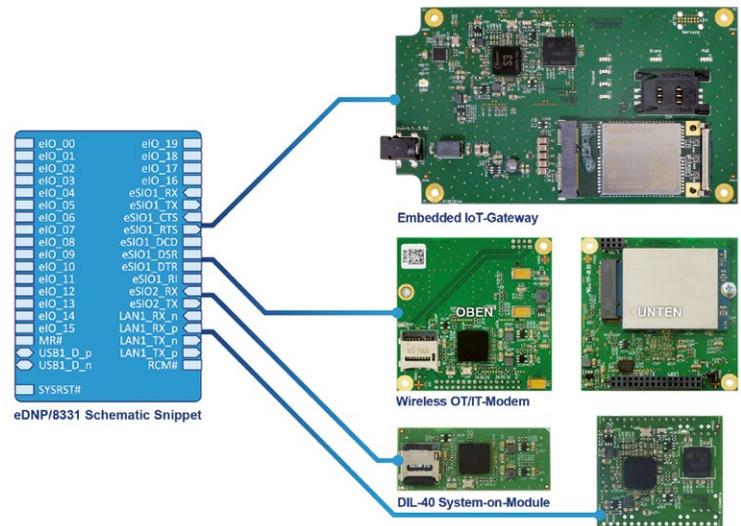


Bild 1
CAD-Daten zur eDNP/8331-Hardware

Herausforderung und Zielsetzung

Aktuelle Komponenten von Automatisierungssystemen sind noch nicht nach aktuellen Standards der IT-Sicherheit entwickelt worden. Ziel ist es, bei Überarbeitungen und Neuentwicklungen den Aspekt der OT-Security im Produktlebenszyklus zu berücksichtigen. Deshalb wird im Rahmen dieses Digitalisierungsprojektes ein sicherer Produkt-Entwicklungslebenszyklus (engl. Secure Development Lifecycle – SDL) für ein eingebettetes System nach der IEC 62443-4-1 definiert, eingeführt und kontinuierlich weiterentwickelt. Hierbei verfügen sowohl das Unternehmen SSV Software Systems GmbH als auch das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover bereits über Vorerfahrungen aus vergangenen Projekten.

Lösungsweg

Um IEC 62443-4-1 normenkonforme Musterprozesse auszuarbeiten, einzuführen und anschließend kontinuierlich umzusetzen, ist es wichtig, dass die Norm allen eingebundenen Parteien bekannt ist. Die Norm beschreibt allgemein einen sicheren Produkt-Entwicklungslebenszyklus und betrachtet hierbei den Lebenszyklus einer Komponente von der Produktidee bis hin zu Produktaußerdienststellung. Dabei kann die Norm in die folgenden vier Abschnitte eingeteilt werden:

1. Grundlegende Prozesse
2. Produktentwicklung
3. Produktverwendung (Betriebsphase)
4. Produktaußerdienststellung

Die vier genannten Abschnitte stellen die Grundlage für eine Gap-Analyse dar, mit der ermittelt wird, welche Prozesse bereits im Unternehmen vorhanden sind, welche angepasst oder neu ausgearbeitet werden müssen. Im Zuge des Projektes liegt der Fokus auf der Entwicklung sicherer Prozesse für die

Den vollständigen Musterprozess finden Sie unter digitalzentrum-hannover.de/downloads



Entwicklung von eingebetteten Systemen. Eingebettete Systeme zeichnen sich besonders durch die kompakte Bauweise aus. Sie führen Funktionen wiederholend aus und müssen in Echtzeit auf äußere Einflüsse reagieren. Im Folgenden werden die wesentlichen Inhalte der vier Abschnitte beschrieben in Entsprechung des Vorgehens im Digitalisierungsprojekt. Die detaillierten Projektergebnisse sind im „Musterprozess für einen sicheren Produkt-Entwicklungslebenszyklus nach IEC 62443-4-1“ aufgeführt (siehe QR-Code auf der vorigen Seite).

1. Grundlegende Prozesse

Die grundlegenden Prozesse sind elementar für den Erfolg der Produktentwicklung, da diese über den gesamten sicheren Produkt-Entwicklungslebenszyklus hinweg kontinuierlich betrieben werden. So beginnt jede Produktentwicklung mit der Produktidee. Um diese anschließend in ein sicheres Produkt zu überführen, sind Mitarbeitende mit Security-Know-how notwendig. Dies gilt es beispielsweise mithilfe von Schulungen aufzubauen sowie das bereits vorhandene Wissen zu dokumentieren. Weiterhin sind die jeweiligen Prozessschritte des Produkt-Entwicklungslebenszyklus zu definieren und Prozessverantwortliche auszuwählen.

2. Produktentwicklung

In der Produktentwicklung beginnen die weiteren Prozessschritte des Produkt-Entwicklungslebenszyklus. Ein besonders wichtiger Bereich, der hierbei eine

entscheidende Rolle spielt, ist das Durchführen einer Bedrohungs- und Risikoanalyse. Das Ziel dabei ist die Ermittlung von möglichen Schwachstellen und daraus resultierenden Bedrohungen, welche diese Schwachstellen ausnutzen können. Ein Angreifender könnte unter Ausnutzung einer Schwachstelle ein eingebettetes System im schlimmsten Fall zum Ausfall bringen. Um Bedrohungen für ein System zu identifizieren, wurde das STRIDE-Modell entwickelt. STRIDE steht für:

- Spoofing (Vortäuschung)
- Tampering (Manipulation)
- Repudiation (Abstreitbarkeit)
- Information disclosure (Offenlegung von Informationen)
- Denial of service (Dienstleistungsverhinderung)
- Elevation of privilege (Erhöhung von Rechten)

Das STRIDE-Modell betrachtet unter anderem interne Prozesse des eingebetteten Systems, Vertrauensgrenzen zwischen dem eingebetteten System und Komponenten Dritter, Datenspeicher, Datenflüsse oder interne und externe Kommunikationsprotokolle. Um Bedrohungen zu identifizieren, bietet es sich an, auf Hilfsmittel zurückzugreifen. Mögliche Hilfsmittel sind beispielsweise Datenflussdiagramme. Bild 2 beschreibt ein solches Datenflussdiagramm für ein eingebettetes System.

Mögliche Bedrohungen, die sich hieraus ableiten lassen, können beispielsweise Softwareschwachstellen, die ein unbefugtes Eindringen in das System ermögli-

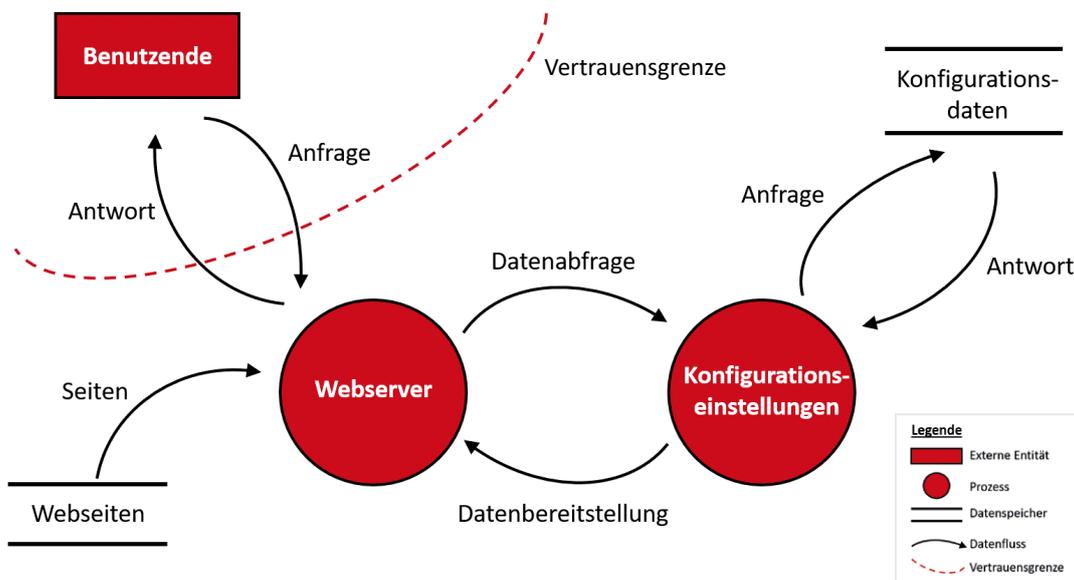


Bild 2 Datenflussdiagramm, angelehnt an Larry Conklin, Victoria Drake, Sven Strittmatter: Threat Modeling Process

chen oder ein Verschlüsselungstrojaner sein. Nach der Ermittlung der Bedrohungen gilt es, diese zu bewerten. Hierbei sollten alle ermittelten Risiken mithilfe von vergleichbaren Kriterien bewertet werden. Das ist mithilfe der Umsetzung einer Risikoanalyse möglich.

3. Produktverwendung (Betriebsphase)

Auch nach der Installation und der Inbetriebnahme gilt es, das gewünschte System während des Betriebs zu überwachen und weiterzuentwickeln, um auf mögliche äußere Einflüsse reagieren zu können. Äußere Einflüsse können z. B. erkannte Schwachstellen in der Produktsoftware sein. Diese gilt es mithilfe von Sicherheitsupdates zu schließen. Dies erfordert die Einführung eines Prozesses, der es Kundinnen und Kunden sowie Dritten ermöglicht, Schwachstellen – auch anonym – zu melden.

4. Produktaußerdienststellung

Auch am Ende eines Produktlebens sind Maßnahmen umzusetzen, die dem sicheren Produkt-Entwicklungslebenszyklus entsprechen. So ist zu klären, wie ein Gerät sicher aus seiner Aktivumgebung entfernt werden kann. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass auf Systemen sensible Dateien, beispielsweise unternehmensspezifische Daten oder kryptografische Schlüssel gespeichert sein können. Diese müssen mithilfe eines Prozesses gelöscht oder der verwendete Datenspeicher physisch zerstört werden.

Nutzen für den Mittelstand

Neben der SSV Software Systems GmbH stehen viele kleine und mittlere Unternehmen vor der unmittelbaren Herausforderung, kontinuierlich sichere Produkte zu entwickeln. Dabei unterstützt die Norm IEC 62443-4-1 maßgeblich. Der erarbeitete Musterprozess des durchgeführten Digitalisierungsprojektes hilft Unternehmen, indem er einen Ablauf bei der Prozessumsetzung darstellt, erklärt und Vorlagen zur Verfügung stellt.

Autoren

Jan-Niklas Puls

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fakultät 1 Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Hannover und Experte für IT-Sicherheit im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Niemann

Professor im Fachbereich Prozessinformatik und Automatisierungstechnik (PIA) der Fakultät 1 Elektro- und Informationstechnik, Hochschule Hannover



Verschlüsselungs- trojaner-resiliente Datensicherungen

Projekt-Abschlussbericht von Jan-Niklas Puls und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Niemann

Projektüberblick

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover hat die onoff engineering gmbh aus Wunstorf im Rahmen eines Digitalisierungsprojektes bei der Einführung von verschlüsselungstrojaner-resilienten Datensicherungen unterstützt. Das Unternehmen ist in vielen Bereichen bei der Automatisierung von verfahrenstechnischen Anlagen tätig. Das Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Best-Practice-Ansatzes für Datensicherungen, um über einen guten Schutz vor Angriffen durch moderne Verschlüsselungstrojaner, die neben den Aktivdaten ebenfalls vorhandene Datensicherungen verschlüsseln, zu verfügen.

Hierzu fand im ersten Schritt die Analyse der verschiedenen Phasen eines Angriffs durch einen Verschlüsselungstrojaner statt. Darauf aufbauend wurden im zweiten Schritt konkrete Maßnahmen, wie unter anderem Pull-Datensicherungen und unveränderliche Datensicherungen, ermittelt. Diese dienen im Anschluss als Basis für die Entwicklung eines Best-Practice-Dokuments (siehe QR-Code).

Viele Unternehmen, Behörden und öffentliche Einrichtungen sind in der Vergangenheit Opfer von Cyberangriffen geworden. Die Folge dieser Angriffe war häufig, dass computerbasierte Dienste nicht mehr verfügbar waren. Die Ursache für derartige Ausfälle sind in der Regel Verschlüsselungstrojaner (engl. Ransomware). Diese sorgen dafür, dass zentrale Server, aber häufig auch deren Datensicherungen, verschlüsselt werden und anschließend nicht mehr zu verwenden sind.

Um kleine und mittlere Unternehmen bei dieser Herausforderung zu unterstützen, wurde ein Digitalisierungsprojekt mit der onoff engineering gmbh durchgeführt. Ziel des Digitalisierungsprojektes war es, verschlüsselungstrojaner-resiliente Datensicherungen zu entwickeln, damit diese vor Cyberangriffen geschützt sind und Unternehmen im Falle eines Angriffs auf diese zurückgreifen können.

Unternehmen und Produkt

Die onoff engineering gmbh ist ein Unternehmen aus Wunstorf und Teil der onoff GmbH. Diese wiederum ist seit April 2022 Teil der SpiraTec Group. Das Unternehmen ist in vielen Bereichen bei der Automatisierung von verfahrenstechnischen Anlagen tätig. Konkret werden in diesem Bereich unter anderem Kundinnen und Kunden bei der Planung von Prozessleitsystemen, Steuerungs-Software, Anlagensimulationen und einem Anlagenmanagement unterstützt. Außerdem ist das Unternehmen beispielsweise im Bereich Service und Wartung aktiv. Weiterhin bietet die onoff engineering gmbh Leistungen rund um die Themen Digitaler Zwilling, Digitalisierung und künstliche Intelligenz an.

Herausforderung und Zielsetzung

Aktuell findet bei der onoff engineering gmbh eine Überarbeitung der digitalen Infrastruktur statt. Gleichzeitig ist in den Medien immer häufiger die Nachricht von erfolgreichen Cyberangriffen durch Verschlüsselungstrojaner zu lesen. Auf Basis dieser Entwicklungen möchte das Unternehmen gerne ein Datensicherungskonzept entwickeln, das gegen diese Gefahr einen guten Schutz bietet.



Das ganze Best-Practice-Verfahren finden Sie unter digitalzentrum-hannover.de/downloads.

Lösungsweg

Um eine verschlüsselungstrojaner-resiliente Datensicherung umsetzen und die notwendigen Anforderungen ermitteln zu können, ist es wichtig, im ersten Schritt zu wissen, wie Angriffe eines Verschlüsselungstrojaners konkret ablaufen. Im nächsten Schritt werden problemlösende Maßnahmen ermittelt, bevor abschließend im letzten Schritt das Best-Practice-Verfahren entwickelt und dokumentiert wird.

Schritt 1: Wie ist der Ablauf eines Angriffs durch einen Verschlüsselungstrojaner

Die nachfolgenden Punkte beschreiben die verschiedenen Phasen eines Angriffs durch einen modernen Verschlüsselungstrojaner, angelehnt an [1]:

1. Aufklärungsphase (optional): Angreifende sammeln in dieser Phase öffentlich zugängliche Informationen über das Unternehmen, beispielsweise Kontaktdaten oder aktuelle Entwicklungen im Unternehmen sowie potenzielle Ziele.
2. Eindringphase: In dieser Phase schaffen sich die Angreifenden einen Zugang in die Systeme über mögliche Einfallsvektoren, beispielsweise E-Mails oder Schwachstellen in IT-Systemen.
3. Ausbreitungsphase: Nach einem erfolgreichen Eindringen versuchen Angreifende auf weitere Systeme zuzugreifen und somit möglichst viele Systeme im Unternehmen zu kompromittieren.
4. Rechtausweitung: Angreifende versuchen möglichst hohe Rechte in einem System, beispielsweise einer Domain, zu erlangen.
5. Abgreifphase (optional): In dieser Phase werden wichtige Daten des Unternehmens aus dem Unternehmen hin zu den Angreifenden ausgeleitet.
6. Verschlüsselungsphase: Die Daten des Unternehmens werden in dieser Phase aktiv verschlüsselt. Hierbei ist es möglich, dass ebenfalls die Datensicherungen verschlüsselt werden.
7. Erpressungsphase: Nach der Verschlüsselung erfolgt die Erpressung. Eine Entschlüsselung ist nur gegen eine Bezahlung, meist in Form von Kryptowährungen, möglich. Eine Zahlung des geforderten Lösegelds sollte nicht erfolgen. Hierzu rät auch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI).
8. Zweite Erpressungsphase: Angreifende kommen nach einer erfolgreichen ersten Erpressung, bei der das Unternehmen Lösegeld bezahlt hat, in der Regel nach einiger Zeit zurück, um die Daten ein zweites oder drittes Mal zu verschlüsseln und Lösegeld zu erpressen.

Um möglichen Erpressungsphasen vorbeugen zu können, sollten deshalb verschlüsselungstrojaner-resiliente Datensicherungen vorhanden sein.

Schritt 2: Maßnahmen zur Umsetzung einer Schadsoftware-Resilienz

Auf Basis der verschiedenen Phasen, die ein Angriff eines Verschlüsselungstrojaners durchläuft, lassen sich im nächsten Schritt Maßnahmen ableiten, die vorhandenen Datensicherungen vor einer möglichen Kompromittierung bestmöglich schützen. Konkret sind hierbei exemplarisch die zwei wichtigsten von mehreren Maßnahmen zu nennen: Pull-Datensicherung und unveränderliche Datensicherung. Diese beiden werden auf der folgenden Seite näher erläutert.

[1] Landesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: LSI-Leitfaden. Ransomware. URL: https://lsi.bayern.de/mam/aktuelles/ransomware_leitfaden_v1_2.pdf, 09.02.2024.

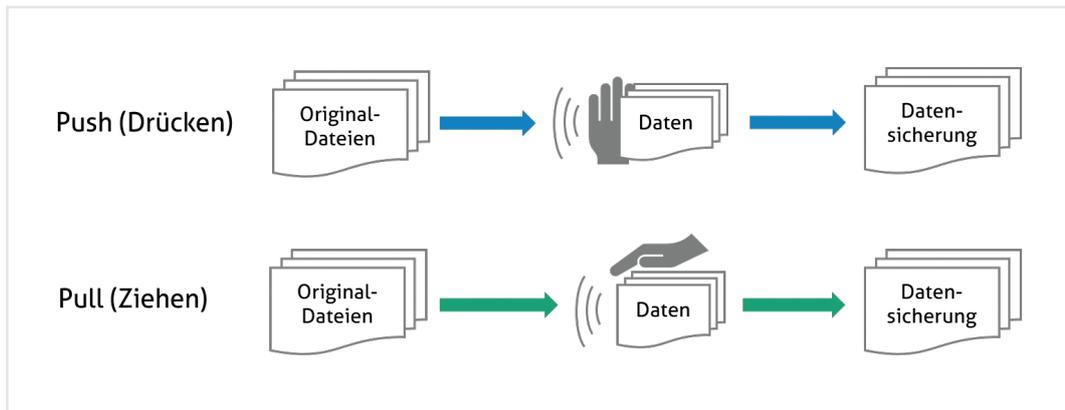


Bild 1
Push- und Pull-
Datensicherungen

Pull-Datensicherung

Die Pull-Datensicherung zieht sich im Gegensatz zur Push-Datensicherung, in der Daten mithilfe von schreiben Zugriffsrechten vom Quellsystem, beispielsweise einem Dateiserver, auf das Zielsystem geschrieben werden, die zu sichernden Daten von den jeweiligen Quellsystemen. Auf diese Weise benötigt nur der Datensicherungs-Server lesende Zugriffsrechte für das entsprechende Quellsystem. Die Quellsysteme hingegen benötigen keinerlei Zugriffsrechte, weder lesend noch schreibend, für den Datensicherungs-Server. Bei einer Kompromittierung der Quellsysteme mittels Schadsoftware haben diese dementsprechend auch keinen Zugriff (keine Schreib- und Änderungsrechte) auf den Datensicherungs-Server und können diesen nicht aktiv kompromittieren. Bild 1 zeigt den Unterschied zwischen einer Push- und einer Pull-Datensicherung.

Unveränderliche Datensicherung

Neben der veränderlichen Speicherung, beispielsweise auf normalen Festplatten oder USB-Sticks, gibt es auch die Möglichkeit der unveränderlichen Datenspeicherung. Eine Möglichkeit zur Umsetzung beschreibt das WORM-Prinzip (write once, read many). Dieses Prinzip wird bei optischen Medien, beispielsweise CDs oder DVDs, verwendet. Nach einem Schreibvorgang auf den optischen Datenträgern ist eine erneute Veränderung der Daten nicht mehr möglich. Dieses Vorgehen lässt sich auf Datensicherungssysteme ohne optische Medien sinngemäß übertragen. Dabei sollte es sowohl für Administratoren als auch für eingeschränkte Benutzer unmöglich sein, die unveränderlichen Daten während eines vor der Speicherung festgelegten Aufbewahrungszeitraums zu löschen oder zu verändern. Somit wäre es auch für einen Verschlüsselungstrojaner nicht möglich, die Datensicherungen während des Aufbewahrungszeitraums zu kompromittieren. Nach dem festgelegten Aufbewahrungszeitraum ist eine Veränderung der Daten wieder möglich. Dies ermöglicht es, alte Datensicherungen wieder durch aktuelle zu überschreiben und so Speicherplatz erneut zu nutzen.

Schritt 3: Entwicklung des Best Practices

Durch das Durchführen der Schritte eins und zwei wurden die Vorarbeiten durchgeführt, um im letzten Schritt das Best-Practice-

Verfahren zu entwickeln. Dieses wird in der gesonderten Veröffentlichung detailliert dargestellt. Außerdem umfasst die Veröffentlichung unter anderem Anforderungen an Datensicherungen, Datensicherungsgenerationen sowie mögliche Speichermedien.

Nutzen für den Mittelstand

Neben der onoff engineering gmbh stehen viele weitere Unternehmen vor der Gefahr, Opfer eines Angriffs durch einen Verschlüsselungstrojaner zu werden. Verschlüsselungstrojaner verschlüsseln hierbei neben den Aktivdaten ebenfalls die Datensicherungen. Um Unternehmen hierbei präventiv zu unterstützen, wurde im Rahmen dieses Digitalisierungsprojektes ein Best-Practice-Verfahren entwickelt, das Unternehmen dazu befähigt verschlüsselungstrojaner-resiliente Datensicherungen umsetzen zu können, die im Falle eines Angriffs durch einen Verschlüsselungstrojaner einen verbesserten Schutz aufweisen.

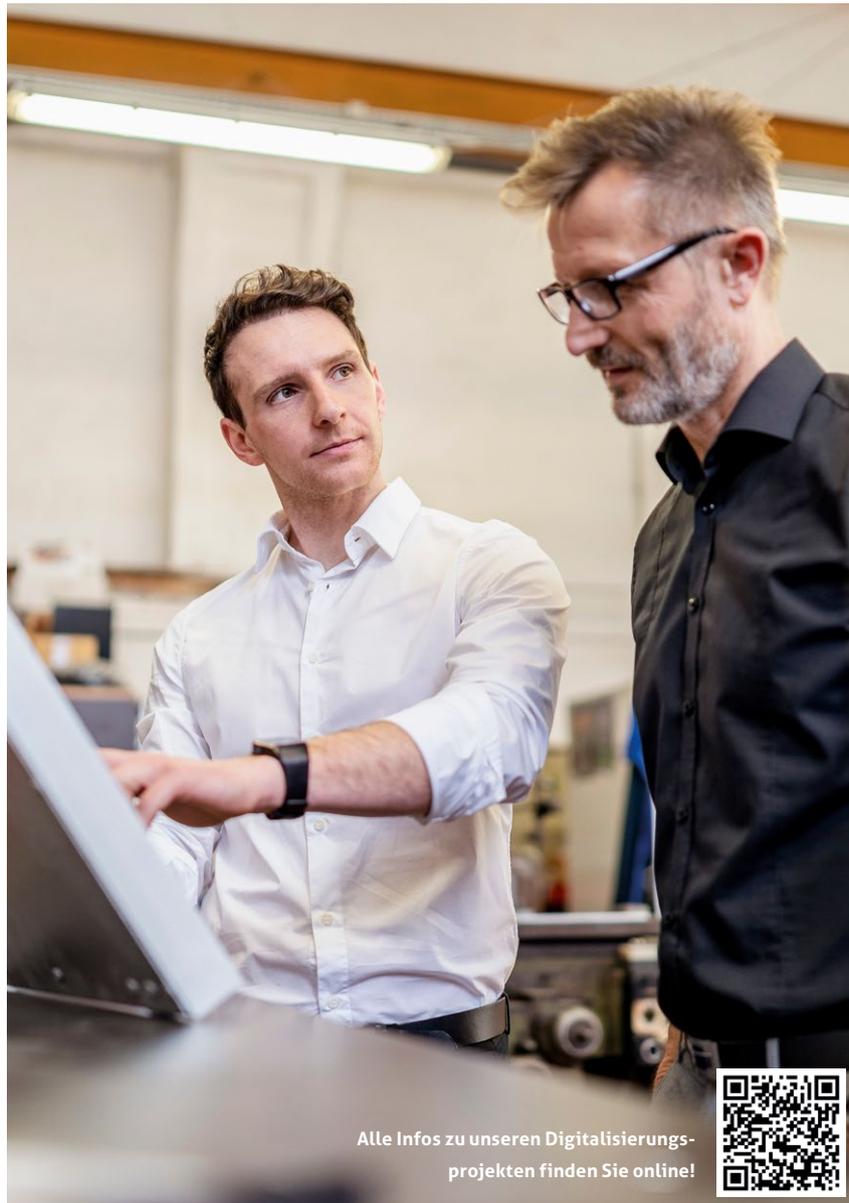
Autoren

Jan-Niklas Puls

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fakultät 1 Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Hannover und Experte für IT-Sicherheit im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Niemann

Professor im Fachbereich Prozessinformatik und Automatisierungstechnik (PIA) der Fakultät 1 Elektro- und Informationstechnik, Hochschule Hannover



Wollen wir Projektpartner werden?

Auch in dieser Ausgabe der „Zukunft.Digital“ finden Sie wieder diverse Projektberichte zu den unterschiedlichsten Themenbereichen: Künstliche Intelligenz, Nachhaltigkeit, IT-Sicherheit und mehr. Hintergrund dieser Zusammenarbeit mit Unternehmen ist ein Angebot unseres Mittelstand-Digital Zentrums: Wir unterstützen kleine und mittlere Unternehmen bei der Entwicklung und Realisierung von Digitalisierungslösungen. Dabei begleiten wir die Betriebe Schritt für Schritt von der Konzeptionierung bis zur prototypischen Umsetzung.

Sie haben eine Projektidee, mit der wir auch Ihrem Unternehmen im Rahmen eines Digitalisierungsprojektes helfen könnten? Dann teilen Sie sie uns doch mit und wir melden uns umgehend bei Ihnen. Unsere Koordinatorin für Digitalisierungsprojekte Leonie Hormig freut sich auf Ihre Anfrage. Sie erreichen sie unter der Telefonnummer 0173 203 9329 oder per Mail unter projekt@mitunsdigital.de. Sie benötigen weitere Informationen oder wollen direkt online Ihre Idee einreichen? Der QR-Code im Bild führt Sie zu unserer Website <https://digitalzentrum-hannover.de/digitalisierungsprojekte>.

Zuverlässige Überwachung bei kleinen Stückzahlen mit prozessübergreifendem Lernen

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, Dr.-Ing. Heinrich Klemme, Maximilian Krüger

Datenbasierte Verfahren verfügen über großes Potenzial, produzierende Unternehmen bei der Optimierung und Überwachung ihrer Prozesse zu unterstützen. Allerdings sind die dafür benötigten Daten oftmals nicht in ausreichender Menge vorhanden. Dies ist insbesondere bei der Fertigung kleiner Losgrößen der Fall. Im Folgenden wird anhand der Überwachung von Fräsprozessen gezeigt, wie sich Datendefizite durch prozessübergreifendes Lernen überwinden lassen.

Aufgrund des hohen Wettbewerbes und des Strebens nach einer nachhaltigen Gesellschaft müssen produzierende Unternehmen ihre Produktivität stetig steigern sowie bewusster und schonender mit den natürlichen Ressourcen umgehen. Gleichzeitig nimmt jedoch die Komplexität der Produktion durch immer kürzere Produktlebenszyklen, individuellere Produkte und die daraus resultierende hohe Variantenvielfalt zu. Die Fertigung muss daher insbesondere in Hochlohnländern wie Deutschland trotz zunehmender Anzahl unterschiedlicher Fertigungsprozesse effizient und hochgradig automatisiert sein.

Das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover und die UT-Tec GmbH & Co. KG erforschen daher im Projekt RoPro „Robuster und selbstparametrierende Prozessüberwachung bei kleinen Losgrößen“ im Rahmen des Zen-

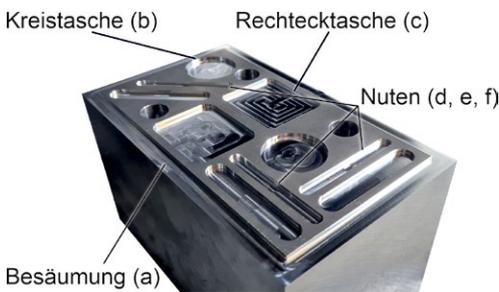
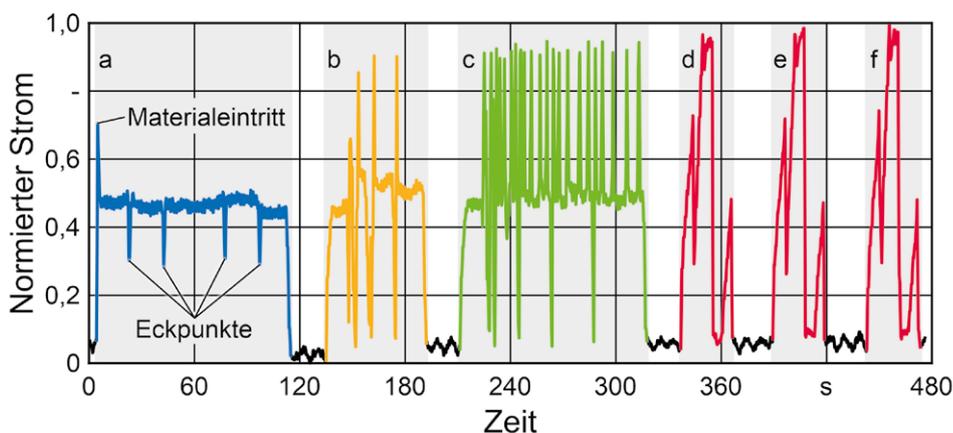


Bild 1

Zur Datenakquise gefertigtes Analogiebauteil mit Standardformelementen



Prozessparameter:

$a_p = 3 \text{ mm}$
 $v_c = 80 \text{ m/min}$
 $f_z = 0,016 \text{ mm}$

Werkzeug:

VHM Schaftfräser
Durchmesser $d = 6 \text{ mm}$
Zähnezahl $z = 4$

Werkstoff:

42CrMo4

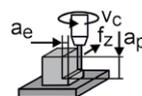


Bild 2

Charakteristische Muster im aufgezeichneten Spindelstrom

tralen Innovationsprogramm Mittelstand innovative Methoden für eine robuste und wirtschaftliche Prozessüberwachung bei geringen Stückzahlen. Hierfür wird ein prozessübergreifend lernendes System entwickelt und erforscht. Dieses soll durch die autonome Identifikation ähnlicher Prozess- und Fehlermuster Wissen zwischen Prozessen transferieren und so auch bei häufiger Prozessvariation eine datenbasierte Prozessüberwachung ermöglichen.

Prozessüberwachung ermöglicht automatisierte und sichere Fertigung

Eine zentrale Rolle bei der Automatisierung von Fertigungsprozessen nehmen Prozessüberwachungssysteme (PÜ-Systeme) ein. Diese ermöglichen es, Prozessfehler, wie übermäßigen Werkzeugverschleiß oder -bruch, frühzeitig und automatisiert zu detektieren. So kann beim Vorliegen eines Prozessfehlers rechtzeitig eingegriffen werden, wodurch Ausschuss, kostspielige Folgeschäden und längere Produktionsstillstände vermieden werden. PÜ-Systeme gewährleisten folglich die Prozesssicherheit und sind daher für eine vollständig automatisierte Produktion unerlässlich.

Die besten Überwachungsergebnisse werden derzeit mit statistischen Verfahren erzielt, wenn diese mit ausreichend Prozessdaten

angelernt werden. Dabei sind sie in der Lage, die optimalen Grenzen automatisiert zu bestimmen. Statistische Verfahren sind jedoch aufgrund der benötigten Datenmengen nur auf häufig ausgeführte, homogene Prozesse anwendbar, wie sie in der Großserienfertigung vorliegen. Regelmäßige Prozessvariationen führen hingegen zu einem Datendefizit. Bislang gibt es keine Methode, um die Prozesssicherheit bei kleinen Losgrößen äquivalent zu gewährleisten.

Aus ähnlichen Prozessen lernen

Eine Möglichkeit Datendefizite zu überwinden, ist die Anwendung von prozessübergreifendem Lernen. Die Prämisse ist dabei, Wissen, welches bei der Lösung einer Aufgabe generiert wurde, zur Lösung ähnlicher Aufgaben zu nutzen. Hierfür werden im Projekt RoPro die in ihrer Gesamtheit hochgradig individuellen Fertigungsprozesse zunächst in einzelne Bearbeitungssegmente wie bspw. Besäumungen, Taschen oder Nuten zerlegt (siehe Bild 1). Diese Standardformelemente besitzen jeweils charakteristische Signalverläufe (siehe Bild 2), die unabhängig von der Position im Bauteil oder dem zeitlichen Verlauf des restlichen Prozesses sind. So zeichnen sich rechteckige Besäumungen (vgl. Bild 2 a) bspw. durch einen markanten Peak bei seitlichem Materialeintritt und lokale Minima an den vier Eckpunk-

ten aus. Die Idee ist nun, das aus früheren Prozessen extrahierbare Wissen über die Charakteristiken der Standardformelemente für neue unbekannte Prozesse mit anderen Folgen und Variationen von Standardformelementen zu nutzen.

Das prozessübergreifend lernende PÜ-System für kleine Losgrößen

Für die Umsetzung des prozessübergreifenden Wissenstransfers wurde die in Bild 3 dargestellte Struktur erarbeitet. Das Rückgrat des neuen Systems bildet eine Prozess- und Fehlermusterdatenbank (Bild 3 o. r.). Sie enthält sämtliches Prozesswissen in Form von Referenzdaten und ermöglicht den prozessübergreifenden Transfer, durch den nach der Fertigung des ersten Bauteils eine maßgeschneiderte Referenz für den Gesamtverlauf des Prozesses generiert wird. Hierfür werden zunächst durch eine autonome Segmentierung und ein Clustering die vorliegenden Formelement- bzw. Fehlermuster identifiziert.

Liegt ein fehlerfreier Prozess vor, erfolgt anschließend der prozessübergreifende Wissenstransfer bei dem die optimalen Überwachungsgrenzen bestimmt werden. Diese werden genutzt, um ab dem zweiten Bauteil eine Echtzeitprozessüberwachung zu ermöglichen, die Anomalien detektiert. Neue Signalverläufe werden dabei stets in

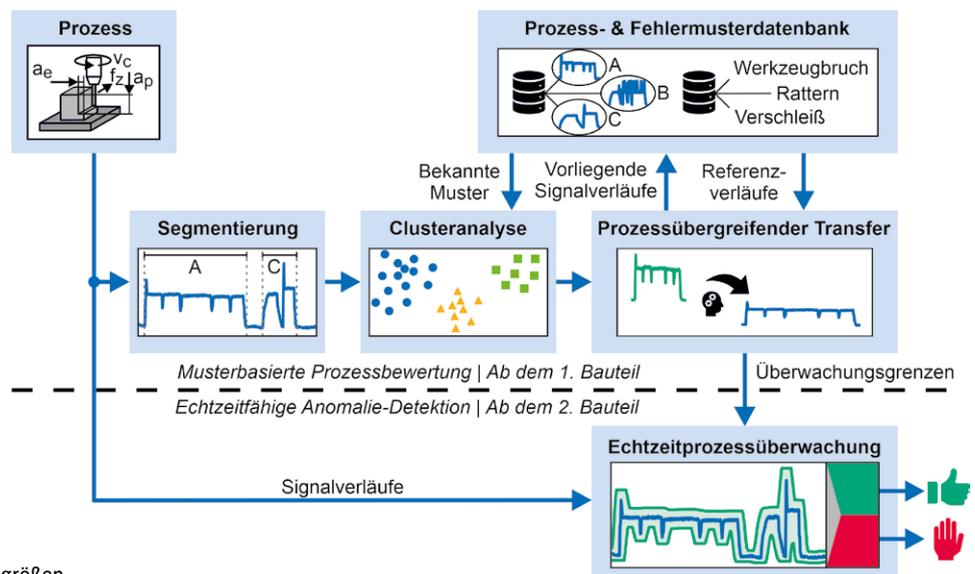


Bild 3
Struktur des prozessübergreifend lernenden PÜ-Systems für kleine Losgrößen

der Datenbank abgelegt, sodass ein fortlaufender Lernprozess realisiert wird und die Datenbasis kontinuierlich erweitert wird.

Ähnlichkeiten durch adaptive Normierung identifizieren

Eine große Herausforderung bei der Realisierung des beschriebenen Überwachungsansatzes stellt die Identifikation der richtigen Referenz dar, da sich die charakteristischen Signalverläufe durch variierende Prozessstellgrößen und variierende geometrische Abmaße im Wert- und Zeitbereich unterscheiden. Um trotzdem ähnliche Muster in der Datenbank zu finden, werden im Projekt RoPro verschiedene Normierungsverfahren eingesetzt. So werden durch eine Min-Max-Normierung der Signalverläufe Verschiebungen und Stauchungen bzw. Streckungen im Wertebereich, wie sie bspw. durch unterschiedliche Reibung in den Lagern der Werkzeugmaschine oder Schnitttiefen zustande kommen, kompensiert. Unterschiedliche Segmentlängen oder Abstände zwischen charakteristischen Punkten der Signalverläufe, wie sie durch längere Bahnen bei Nuten oder unterschiedliche Seitenverhältnisse bei Rechtecktaschen zustande kommen, lassen sich hingegen durch die Min-Max-Normierung nicht kompensieren. Daher wird zusätzlich eine zeitlich adaptive Normierung benötigt. Hierfür eignet sich das Dynamic-Time-Warping (DTW), eine Methode, die bspw. in der Spracherkennung eingesetzt wird und sich dort bei der Kompensation unterschiedlicher Sprechgeschwindigkeiten bewährt hat. Das Verfahren kann auf Fräsprozesse übertragen werden, wobei der Gesamtprozess dann als „Satz“ interpretiert werden kann. Dieser besteht aus einzelnen „Wör-

tern“ (= Standardformelemente) und diese wiederum aus „Silben“ (= Teilelemente wie bspw. Materialeintritt oder einzelne Bahnen einer Tasche).

Wörter und Silben können unterschiedlich schnell und somit unterschiedlich lange ausgesprochen werden. Dies führt in der Regel zu nicht linearen Verzerrungen. DTW ist demgegenüber robust und ermöglicht so die Identifikation des ähnlichsten charakteristischen Musters. Die Funktionsweise und das berechnete Ähnlichkeitsmaß können dabei am einfachsten anhand von zwei identischen jedoch zeitlich versetzten Signalverläufen veranschaulicht werden (s. Bild 4). Der Algorithmus bildet zwei Zeitreihen aufeinander ab und ordnet dabei jedem Wert von Signal a mindestens einen Wert von Signal b zu und umgekehrt, sodass die Summe der Abstände (c), die als Ähnlichkeitsmaß dient, minimiert wird. Dabei werden unter bestimmten Restriktionen Mehrfachzuordnungen durchgeführt, die zu einer zeitlichen Synchronisation führen. Eine hohe Ähnlichkeit zeichnet sich hierbei durch eine geringe DTW-Distanz aus. Auf diese Weise lassen sich durch DTW bspw. verschiedene Rechtecktaschen trotz unterschiedlicher Seitenverhältnisse miteinander vergleichen.

Im Zuge des Projekts wird daher erforscht, wie DTW im Kontext der Prozessüberwachung eingesetzt werden kann, um einen zuverlässigen Vergleich der charakteristischen Muster zu gewährleisten. Hierfür wurde mit der hauseigenen Simulationssoftware des IFW CutS zunächst das Zeitspannvolumen beim Fräsen von 13 verschiedenen Variationen der zuvor vorgestellten Standardformelemente simuliert. Zusätzlich zur Geometrie wurden die

Prozessparameter Schnitttiefe, Zahnvorschub und Schnittgeschwindigkeit variiert, sodass für jede Geometrie jeweils 26 Parameterkombinationen simuliert wurden. Anhand dieses Datensatzes wurde anschließend der DTW-Ansatz in Kombination mit dem k-means Clustering von Zeitreihen untersucht. Die in Bild 5 in grau dargestellten einzelnen Zeitreihen wurden dabei wiederholt in unterschiedlich viele Cluster eingeteilt.

Es zeigte sich, dass die dargestellte Kategorisierung in neun Cluster im vorliegenden Fall optimal ist. Besäumungen und Rechtecktaschen mit unterschiedlichen Seitenverhältnissen wurden hierbei den gleichen Clustern zugeordnet. Dies belegt, dass der DTW-Ansatz robust gegenüber variierenden Seitenverhältnissen ist. Gleiches gilt für die variierten Prozessparameter, gegenüber denen sich das Verfahren ebenfalls robust zeigte.

Durch die Betrachtung der Barycenter (blaue Zeitreihen), die den charakteristischen mittleren Verlauf aller in einem Cluster enthaltenen Zeitreihen beschreiben, lassen sich schließlich eindeutige Muster identifizieren. Diese sind maßgeblich von der gewählten Bahnplanung abhängig. Dies wird bspw. durch die Cluster der Nuten ersichtlich, bei deren Simulation die identische Geometrie mit unterschiedlichen Bahnen erzeugt wurde. Gleiches gilt für die zusätzlichen Cluster der verschiedenen Taschen, die durch je eine oder zwei zusätzliche Rechteck- bzw. Kreisbahnen zustande kommen.

Die Untersuchungen liefern somit den Nachweis, dass es mit DTW möglich ist, die Auswirkungen unterschiedlicher Seitenverhältnisse und Geschwindigkei-

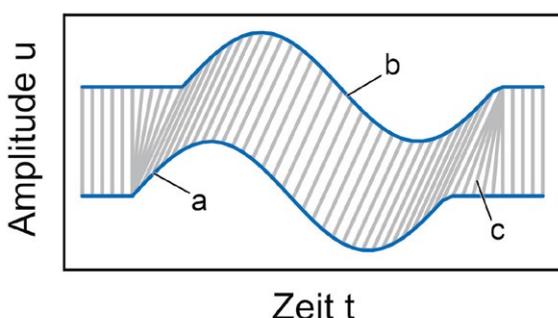


Bild 4
Dynamic Time Warping

ten auf die Signale von Fräsprozessen zu kompensieren. Außerdem erscheint die „silbenweise“ Überwachung, die einzelne sich wiederholende Teilsegmente (bspw. Kreisbahnen) ausnutzt, an dieser Stelle als potentiell zielführend und als sinnvoller Fokus weiterer Untersuchungen.

Zusammenfassung und Ausblick

Im ZIM-Projekt RoPro wird ein innovatives PÜ-System entwickelt, um eine robuste und selbstparametrierende Überwachung von Fräsprozessen bei kleinen Losgrößen zu ermöglichen. Hierfür werden datenbasierte Ansätze durch prozessübergreifendes Lernen für die Kleinserienfertigung erschlossen, indem ein Wissenstransfer zwischen ähnlichen Prozessabschnitten realisiert wird. Im Fokus stehen hierbei wiederkehrende Standardformelemente, wie Taschen und Nuten, die in unterschiedlichen Variationen bei der Fertigung verschiedener Bauteile vorkommen und für den ähnlichkeitsbasierten Ansatz identifiziert werden müssen. Es wurde gezeigt, dass durch eine Min-Max-Normierung und eine adaptive Zeitnormierung mittels Dynamic-Time-Warpings die Identifikation geeigneter Prozesselementcluster möglich ist. Das so gebündelte Wissen zu den jeweiligen Formelemente wird anschließend genutzt, um das bei geringen Stückzahlen vorliegende Datendefizit zu überwinden. Hierdurch soll bereits ab dem zweiten Bauteil eine wirtschaftliche und performante Prozessüberwachung ermöglicht werden. Dazu werden in den nächsten Schritten die autonome Signalsegmentierung auf Basis der gezeigten Ergebnisse weiterentwickelt, die Bestimmung der optimalen Überwachungsgrenzen umgesetzt und die echtzeitfähige Anomalie-Detektion implementiert.

Das ZIM-Projekt „Robuste und selbstparametrierende Prozessüberwachung bei kleinen Losgrößen“ wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das IFW und die UTtec GmbH & Co. KG bedanken sich für die finanzielle Unterstützung des Projektes.

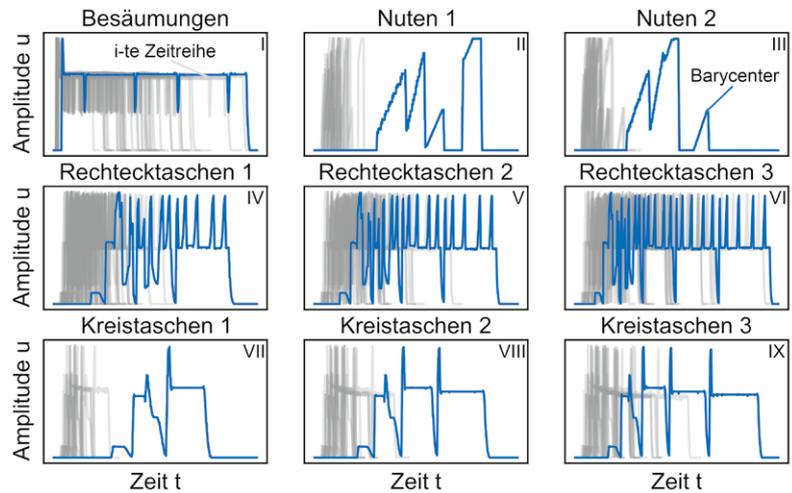


Bild 5
K-means Clustering von Standardformelementen mit DTW

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena
Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität

Dr.-Ing. Heinrich Klemme
Leiter des Bereiches Maschinen und Steuerungen am IFW

Maximilian Krüger
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFW

Implantat-Lebenszyklusmanagement mittels digitalem Implantat-Zwilling

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, Dr.-Ing Marcel Wichmann, Max-Enno Eggers

Die Revisionswahrscheinlichkeit einer Knie-Totalendoprothesen (TEP) liegt innerhalb der ersten zehn Jahre bei ca. 13 % [1] und ist somit deutlich höher als die Ausfallrate kritischer Komponenten in der Luftfahrt (ca. 0,0000019 % [2]). Ein großer Unterschied besteht in der Zustandsüberwachung. Der Zustand der Luftfahrt-Komponenten wird kontinuierlich abgefragt und ermöglicht eine zustandsbasierte Wartung. Dieses Konzept soll beispielhaft auf den Verschleiß einer Knie-TEP übertragen werden. Als Grad des Verschleißes wird der Abstand zwischen den Gelenk-Komponenten genutzt und mittels der Röntgen-Stereophotogrammetrie-Analyse (RSA) bestimmt. Diese Messergebnisse können innerhalb der Systematik mit der Sensorik von Luftfahrt-Komponenten gleichgesetzt werden. Um ein ganzheitliches, virtuelles Abbild

des Implantats zu schaffen, wird im vorliegenden Beitrag eine Systematik entwickelt, die es ermöglicht den gesamten Lebenszyklus eines spezifischen Implantats abzubilden. Dabei werden Strategien aus dem Product Lifecycle Management (PLM) und das Konzept des digitalen Zwillings (DT) genutzt. Das vorliegende Konzept basiert sowohl auf dem „klassischen“ PLM nach STARK [3] als auch auf der Definition des DT nach GRIEVES [4]. Dabei beschreibt das Digital Implant Lifecycle Management (DILM) ein spezifisches Implantat anhand der Phasen, die es innerhalb seines Lebenszyklus durchläuft und dient somit als Informationsspeicher und Kommunikationsmittel.

Konzept des Digital Implant Lifecycle Managements

Das DILM soll einen übersichtlichen und intuitiven Ansatz zur Strukturierung relevanter Informationen entlang des Lebenszyklus des Implantats bilden (siehe Bild 1). Bei der Einbeziehung von Patientendaten muss zwischen patientenindividuellen Implantaten (a) und serienell gefertigten, nicht personalisierten Implantaten (b) unterschieden werden. Erstere sind primär für die Form des Implantats verantwortlich.

Um das vorliegende Konzept umzusetzen, wurde ein Strukturansatz gewählt, der, wie in Bild 2 dargestellt, auf der Einteilung der Informationen in die Phasen des Lebenszyklus beruht (lebenszyklusspezifisch). Die Informationen werden innerhalb der Phasen in Subkategorien eingeteilt.

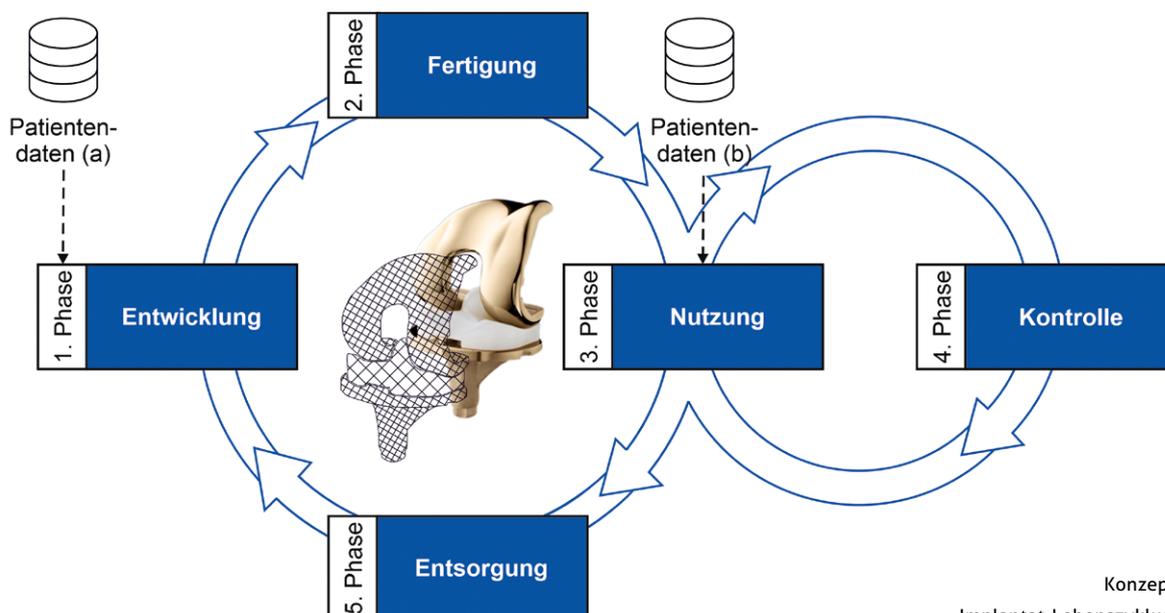


Bild 1
Konzept des digitalen
Implantat-Lebenszyklusmanagements

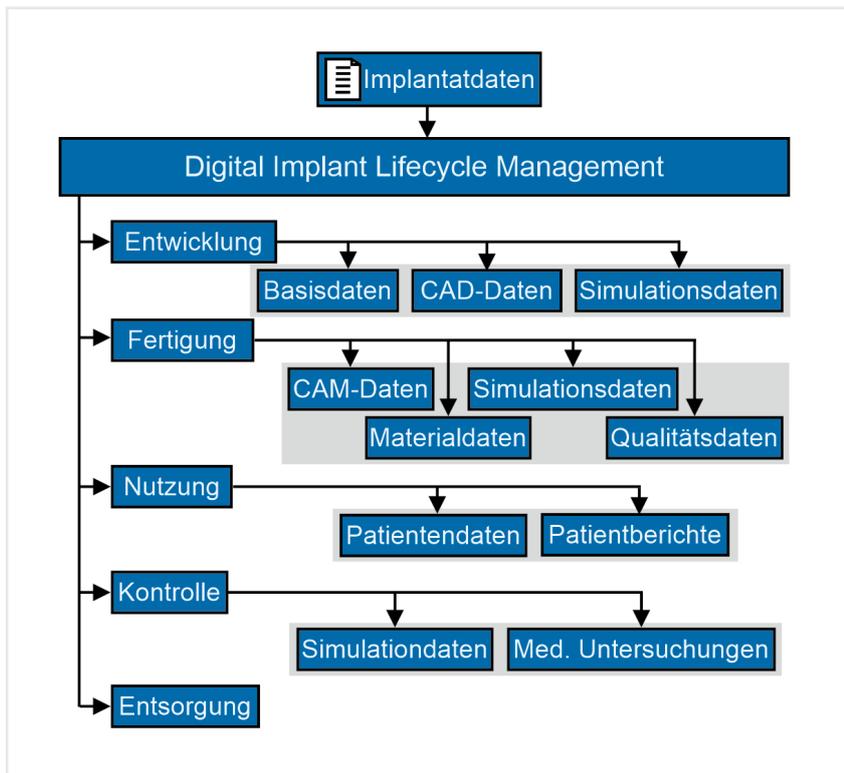


Bild 2
Struktur des lebenszyklus-spezifischen Ansatzes

Die erste Phase des DILM wird als Entwicklung bezeichnet und umfasst hauptsächlich das Design des Implantats sowie die Planung und Modellierung einzelner Funktionsflächen. Anfallende Daten werden in CAD-bezogene Daten (3D-Modelle, etc.), Basisinformationen (Produktinformationen, etc.) und Simulationsdaten (Optimierung des Funktionsmechanismus, etc.) unterteilt. Handelt es sich um ein patientenspezifisches Implantat, erfolgt in dieser Phase die Implementierung von patientenspezifischen Informationen und Daten.

Während der zweiten Phase, der Fertigung, findet eine Aufzeichnung der einzelnen Prozessschritte statt. Darüber hinaus kann die Fertigung zur Identifikation von Prozessstellgrößen (vor Fertigungsbeginn) simuliert werden oder prozessparallel stattfinden und eine automatische Anpassung der Prozessstellgrößen erlauben. Die Simulation kann besonders bei der Fertigung individueller Implantate genutzt werden, um Einstellversuche zu minimieren und eine wirtschaftliche Produktion zu erlauben. Die Unterteilung anfallender Daten gliedert sich in CAM-Daten (Prozesssteuerungsvariablen, etc.), Qualitätsdaten, Materialdaten (Informationen über das verwendete Material gemäß dem Lieferkettengesetz) und Simulationsdaten.

Die dritte Phase beschreibt die Nutzungsphase. Diese Phase ist vor allem durch den Krankenhausaufenthalt gekennzeichnet. Patientendaten und -berichte werden im DILM mit dem Implantat verbunden und lassen sich in die Subkategorien Präoperativ, Intraoperativ und Postoperativ aufteilen. Während der Nutzung wird der Unterschied zu mechanischen Systemen deutlich. Mechanische Systeme rufen permanent und automatisch Informationen zur Überwachung des Komponentenzustandes ab. Bei Implantaten ist dieses Verfahren jedoch aufgrund äußerer Umstände (Stromversorgung, Einbettung der Sensoren in das Gewebe, etc.) nicht möglich.

Daher wurde eine vierte Phase implementiert, die Kontrolle, in der Informationen aus Kontrolluntersuchungen durch medizinisches Fachpersonal übertragen und innerhalb des Systems zur Verfügung gestellt werden können. Auftretende Informationen werden

in Überwachungsdaten und Simulationsdaten (genutzt werden gemessene und andere Daten zur Prognose des Implantatzustandes) geteilt.

Die fünfte Phase, die Entsorgung, beginnt mit der Explantation des Implantats und der Erfassung der damit verbundenen Entsorgungsdaten.

Der verfolgte Strukturansatz bietet den Vorteil einer intuitiven und objektiven Zuordnungsmöglichkeit der Informationen. Dadurch wird Duplizierung der gespeicherten Informationen verhindert und den beteiligten Stakeholdern (Ingenieure, Ärzte, Patienten, etc.) wird der Zugang erleichtert, da das DILM ebenfalls als Kommunikationsmedium genutzt werden soll. Basierend auf bestehenden PLM- und DT-Strategien wurde das Konzept am Beispiel einer Knie-TEP umgesetzt und dafür der lebenszyklusspezifische Strukturansatz gewählt. Implementierung des DILM anhand einer Knie-Totalendoprothese.

Die Knie-TEP besteht, wie in Bild 3 auf der nächsten Seite zu sehen, in der Regel aus drei Teilen: Der femoralen Komponente, der tibialen Komponente und dem

Implantat-Inlay. Letzteres besteht in den meisten Fällen aus einem Hochleistungspolymer und bildet zusammen mit der metallischen Femur-Komponente ein tribologisches System. Das Inlay unterliegt den damit verbundenen Verschleißerscheinungen. Ein übermäßiger Verschleiß kann zu einer Komplett-Revision des gesamten Implantats führen (aseptische Lockerung, Infektion, etc.). Bei frühzeitiger Verschleißdetektion ist jedoch eine Teil-Revision des Inlays möglich. Dabei handelt es sich um einen Eingriff von geringerer Invasivität.

Zusätzlich wird die Wahrscheinlichkeit einer erneuten Revision verringert, da vor allem Revisions-Implantate über hohe Ausfallwahrscheinlichkeiten verfügen [5]. Zur frühzeitigen Verschleißermittlung wird in diesem Beispiel die RSA-Methode verwendet, welche die Veränderung des minimalen Abstands zwischen den beiden metallischen Gelenkteilen (mJSW, minimum Joint Space Width) im Laufe der Zeit bestimmt. Für die Implementierung wurde ein repräsentativer Datensatz gesammelt, der Informationen aus verschiedenen Lebenszyklusphasen einer Knie-TEP enthält: CAD-Daten, verschiedene Berichte, Produktionsdaten und Röntgenbilder. Patientenberichte wurden strukturiert und mit KI-Tools ergänzt, um reale Patientendaten zu vermeiden. Das Hauptziel des Datensatzes ist die Validierung des Strukturmodells und die Integration verschiedener Datenformate und -größen.

Das vorgeschlagene Strukturmodell wurde anschließend im XML-Format umgesetzt,

da sich die hierarchische Baumstruktur mittels Daten- und Dateiknotenpunkten nachvollziehbar abbilden lässt. Ein weiterer Vorteil besteht in der sowohl maschinellen als auch humanen Lesbarkeit der Dokumente, darüber hinaus ist eine Implementierung des Formats in den meisten gängigen Softwareanwendungen möglich. Für eine vollständige Dokumentation wurden die abgespeicherten Dateien mit Metadaten versehen und abgespeichert. Die Abbildung des Konzeptes wurde in einer institutseigenen Software realisiert und einzelne Dateiformate mittels eingebundener Viewer visualisiert. Die Implementierung in ein anderes Software-Tool (Matlab, Python, etc.) ist ebenfalls möglich.

Ein Anwendungsbeispiel zur Datenverarbeitung ergibt sich aus der Inkorporation der Messergebnisse der RSA und somit der Messung des minimalen Gelenkspaltes (mJSW, minimum Joint Space Width). Die Messergebnisse werden sowohl als CSV-Datei gespeichert als auch, wie in Bild 4 gezeigt, durch eine eingeblendete Ebene visualisiert. Diese Ebene befindet sich auf der Höhe des gemessenen mJSW in Bezug auf die Unterseite des Inlays. Durch den Vergleich mit dem mJSW eines ungetragenen Inlays kann eine Aussage über den Verschleiß des implantierten Inlays getätigt werden.

Die Implementierung solcher Messdaten innerhalb der Nutzungsphase eines spezifischen Implantates bildet die Grundlage zur Zustandsüberwachung von Implantaten gemäß dem Vorbild aus der Luftfahrt. Das DILM wird somit zum digitalen Abbild des realen Implantates und kann aus dieser virtuellen Ebene Handlungsempfehlungen für die reale Welt ableiten, wie beispielhaft in Bild 5 zu sehen ist. Dabei ist eine solche Verwendung des DILM keines Falls auf die Nutzungsphase beschränkt und findet beispielsweise ebenfalls in der Fertigung Anwendung.

Simulationsstudie in der Phase der Implantat-Fertigung

Im vorliegenden Fall wurde das DILM-Konzept mittels Plug-Ins in der Materialabtragsimulation IFW CutS umgesetzt. Innerhalb der Fertigungssimulation können sowohl kinematische Aspekte als auch Prozessstellgrößen präzise ermittelt und visuell dargestellt werden. Modifikationen der Prozessstellgrößen im Vorfeld können dabei Einstellversuche vermeiden und die Produktivität insgesamt steigern. Dieser Zusammenhang soll durch die simulative Untersuchung zur Herstellung der Inlay-Komponente mittels einer 5-Achs-Fräsmaschine verdeutlicht werden. Für ein optimales Fertigungsergebnis wird angenommen, dass ein durchschnittliches Zeitspannvolumen von 290 mm³/min erforderlich ist, um die geforderte Oberflächengüte zu erreichen. Für die CAM-Planung wurden drei verschiedene Vorschubgeschwindigkeiten (500 mm/min, 600 mm/min und 700 mm/min) berechnet. Bei der konventionellen Fertigung wird das Produkt unter Verwendung aller drei Vorschubgeschwindigkeiten gefertigt, woraufhin die Oberfläche analysiert wird. Die berechneten Fertigungszeiten belaufen sich auf 61,8

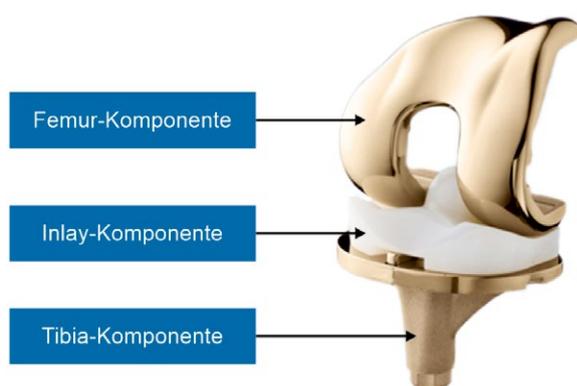


Bild 3

Aufbau einer Knie-Totalendoprothese

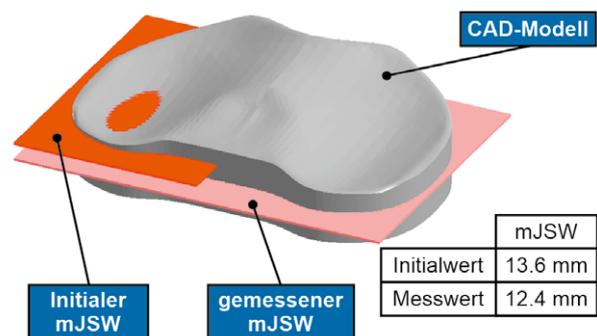


Bild 4

Darstellung der minimalen Gelenkspaltes in der virtuellen Ebene

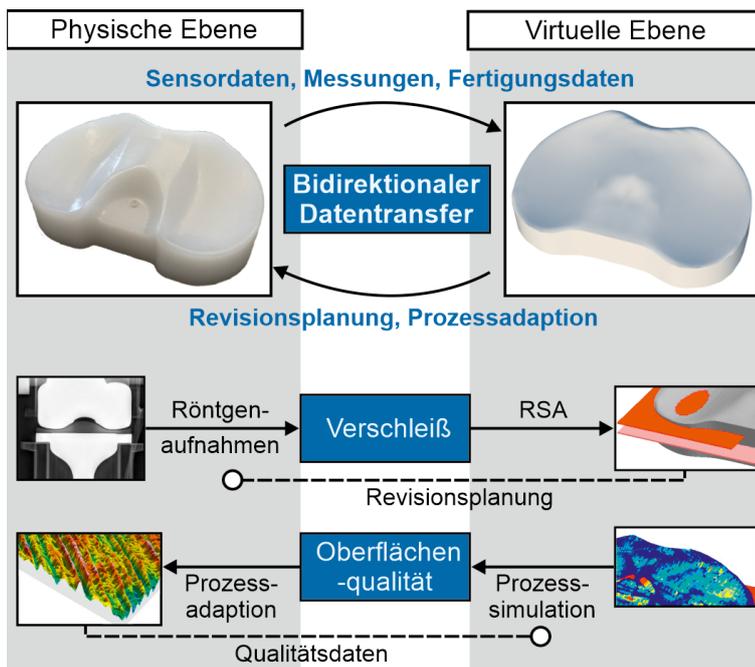


Bild 5
Beispiel eines digitalen Implantat-Zwillings

Das Konzept bildet dabei einen Strukturansatz anhand der folgenden Phasen ab: Entwicklung, Fertigung, Nutzung, Kontrolle und Entsorgung. In diesem Beitrag wurde das DILM mittels einer Knie-Totalendoprothese (TEP) demonstriert und der Implantat-Verschleiß mittels der Röntgen-Stereophotogrammetrie-Analyse (RSA) überwacht.

Eine Implementierung des DILM erfolgte durch Strukturierung eines repräsentativen Datensatzes, welcher in das XML-Format überführt wurde. Das DILM ermöglicht die Überwachung des Implantatzustands und bietet potenzielle Vorteile wie eine frühzeitige Verschleißerkennung und eine effizientere Fertigung durch Simulationen. In einer Simulationsstudie zur Fertigung des Inlays konnte eine Zeitersparnis von 28 % durch simulationsgestützte Produktionsplanung nachgewiesen werden.

sowie 55,2 und 49,3 min. Die Messungen beanspruchen jeweils 45 min. Die Simulation eines der Szenarien erfordert 39 min. Die herkömmliche Produktionsplanung benötigt somit insgesamt 301,8 h, während die simulationsgestützte Produktionsplanung 217,2 h beansprucht. Dies ergibt eine Zeitersparnis von 28 %.

Zusammenfassung

Das vorgestellte Konzept des Digital Implant Lifecycle Managements (DILM) zielt darauf ab, den Lebenszyklus von Implantaten durch die Integration von Patientendaten, Fertigungsdaten und -simulationen sowie der Integration moderner vollständig digital abzubilden. Dabei sollen hohe Ausfallraten durch Datenverarbeitung nach dem Vorbild der Luftfahrt vermieden werden.

Das Projekt DILM (Projektnummer 426335750) wird von der DFG im Rahmen des SFB/TRR SIIRI (Sicherheitsintegrierte infektionsreaktive Implantate) gefördert.

Quellen

[1] J. Xu, L. Fritsch, S. A. Sabah, A. J. Price, A. Alvand. (2022) Implant survivorship, functional outcomes and complications with the use of rotating hinge knee implants: a systematic review. *Knee surgery & related research*. 34. pp. 9

[2] International Civil Aviation Organization. (2022) SafeReport 2022. Available: https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2022.pdf#search=accident%20rate%202022

[3] J. Stark, „Product Lifecycle Management (Volume 1)“, Springer International Publishing, Cham, 2022

[4] M. W. Grieves. (2016) *Origins of the Digital Twin Concept*

[5] Australian Orthopaedic Association. (2022) Annual Report 2022. Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena
Institutsleitung, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Leibniz Universität Hannover

Dr.-Ing. Marcel Wichmann
Bereichsleiter Produktionssysteme am IFW

Max-Enno Eggers
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFW

Impressum

Schriftenreihe des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover
Zukunft.Digital – Digitalisierung von der Idee zur Umsetzung
Ausgabe 01/2024

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 <https://www.dnb.de> abrufbar.

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

© TEWISS – Technik und Wissen GmbH, April 2024
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:



Institut für Fertigungstechnik
und Werkzeugmaschinen

Bildnachweis

- Titel, Seite 08: Who is Danny/stock.adobe.com
- Seite 05, 38 – 45 : Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)/Leibniz Universität Hannover
- Seite 06, 07, 12, 13, 19, 23, 28, 32, 36, Rückseite rechts oben: Mittelstand-Digital Zentrum Hannover
- Icons Seite 07: <https://www.streamlinehq.com>
- Seite 10 – 17 (einzelne Bienen): Daniel Prudek/stock.adobe.com
- Seite 11: Bildmontage basierend auf einem Foto von Phoenix Contact
- Seite 14, 16, 17: IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH
- Seite 15: Darstellung des IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH nach Gurzan, T.: Gewichtsmuster zu unterschiedlichen Jahres- und Trachtzeiten. Abgerufen am 15. Mai 2023 von <https://beelogger.de/interpretation-von-beeloggerdaten/gewichtsmuster-zu-unterschiedlichen-jahres-und-trachtzeiten/>
- Seite 16 Mitte: generiert mit Adobe Firefly
- Seite 18: Rido/stock.adobe.com
- Seite 20: Atlas/stock.adobe.com
- Seite 21, 34: Alexander Limbach/stock.adobe.com
- Seite 24, 25, Rückseite rechts unten: Horst Stichnoth GmbH & Co. KG
- Seite 26, 27, Rückseite rechts mittig: ECOROLL AG Werkzeugtechnik
- Seite 30: Rawpixel/elements.envato.com
- Seite 31: SSV Software Systems GmbH
- Seite 37, Rückseite links: tunedin/stock.adobe.com

ISSN der Reihe Zukunft.Digital
2941-3044

ISBN der gedruckten Ausgabe
978-3-95900-918-8

ISBN der digitalen Ausgabe
978-3-95900-919-5



Zukunft.Digital online
digitalzentrum-hannover.de/downloads

