



Niederschwellige IoT-Netzwerke für Reitanlage s. 28

>> DIGITALISIERUNG erfolgreich umgesetzt



weitere Themen

- Schnell zur effizienten Produktionssteuerung
- Retrofitting einer Wasserstrahlanlage
- Intelligente Fertigungsassistenz
- Mehr Produktionseffizienz mit Maschinendaten
- Digitales Assistenzsystem unterstützt Montage



Ausgabe 3
mit uns digital!
Individuell. Unabhängig. Vor Ort.

>> **DIGITALISIERUNG**

erfolgreich umgesetzt



Was ist Mittelstand-Digital?

Mittelstand-Digital informiert kleine und mittlere Unternehmen über die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung. Die geförderten Kompetenzzentren helfen mit Expertenwissen, Demonstrationszentren, Best-Practice-Beispielen sowie Netzwerken, die dem Erfahrungsaustausch dienen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) ermöglicht die kostenfreie Nutzung aller Angebote von Mittelstand-Digital.

Der DLR Projektträger begleitet im Auftrag des BMWi die Kompetenzzentren fachlich und sorgt für eine bedarfs- und mittelstandsgerechte Umsetzung der Angebote. Das Wissenschaftliche Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK) unterstützt mit wissenschaftlicher Begleitung, Vernetzung und Öffentlichkeitsarbeit.

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

Mittelstand-
Digital

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Digitalisierung erfolgreich umgesetzt

| | |
|--|----|
| <i>Berend Denkena</i> Editorial | 3 |
| <i>Maren Müller, Andreas Nitsche</i> Schnell zur effizienten Produktionssteuerung | 4 |
| <i>Daniel Arnold, Michael Rehe</i> Retrofitting einer Wasserstrahlanlage | 8 |
| <i>Jan Taubert, Michael Rehe</i> Intelligente Fertigungsassistenz | 14 |
| <i>Christian Wagener, Michael Rehe</i> Mehr Produktionseffizienz mit Maschinendaten | 20 |
| <i>Sarah Uttendorf, Florian Kreuzjans</i> Digitales Assistenzsystem unterstützt Montage | 26 |
| <i>Marvin Abt, Florian Kreuzjans</i> Niederschwellige IoT-Netzwerke für Reitanlage | 32 |

Editorial

Sehr geehrte Damen und Herren,

zum Wandel gehört die Begeisterung, die Motivation etwas Neues zu schaffen. Wenn es sich um die Digitalisierung kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) handelt, geht es ganz wesentlich um den Nutzen der Digitalisierung für den Betrieb. Der Nutzen ist ein elementarer Treiber für den Wandel. Genau diesen Zusammenhang zeigen wir Ihnen in der 3. Ausgabe unseres Praxismagazins an sechs Projekten, die das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover mit KMU erfolgreich umgesetzt hat. Sie sind gelungene Beispiele dafür, wie man als KMU den digitalen Wandel vorantreiben kann, um auch zukünftig im Wettbewerb zu bestehen.

Gleich zwei Projekte in diesem Magazin behandeln das Thema Assistenzsysteme. „Digitales Assistenzsystem unterstützt bei der Montage“ heißt der Beitrag zum Umsetzungsprojekt mit der SCHUBS GmbH. Das System gibt Hilfestellung bei der Schaltschrankmontage, so dass auch gering qualifizierte Mitarbeitende diese Arbeiten ausführen können. Der zweite Beitrag zu Assistenzsystemen beschreibt die Weiterentwicklung einer bestehenden Fertigungsassistenz durch maschinelles Lernen und die Implementierung einer kamerabasierten Steuerung mit der LAP GmbH Laser Applikationen GmbH. Die optimierte Fertigungsassistenz beschleunigt die Montage-durchlaufzeiten und kann für die Qualitätssicherung eingesetzt werden.

In den Beiträgen „Mehr Effizienz in der Produktion mit Maschinendaten?“ mit der Sennheiser electronic GmbH & Co. KG und „Retrofitting einer Wasserstrahlanlage“ mit der Rehm Dichtungen Ehlers GmbH geht es um die digitale Aufrüstung von Bestandsanlagen, um Produktionskennzahlen zu gewinnen, die Auslastung von Maschinen zu optimieren und damit eine effektive Produktionsplanung und -steuerung zu erreichen. Die Steuerung komplexer Fertigungssysteme bei einer großen Variantenvielfalt und einem hohen Individualisierungsgrad der Produkte ist Thema des Projektberichts „Auf schnellem Weg zu einer effizienten Steuerung der Produktion“ mit der Solarlux GmbH. Digitalisierung und Vernetzung ist nicht nur für produzierende Unternehmen ein Thema. Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover hat mit Ludwig und Partner Reitanlagen „Niederschwellige IoT-Netzwerke für Reitanlagen“ realisiert, um u. a. komplexe Zeit- und Futterpläne zu managen, Bewegungsdaten und andere Messgrößen wie Temperatur zu überwachen.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen.

Berend Denkena



*Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena,
Vorstandsvorsitzender
„Mit uns digital!“*



Firmenprofil

Die Solarlux GmbH ist ein 1983 in Olpe gegründeter Hersteller von Glas-Elementen. Das Unternehmen entwickelt, projiziert und fertigt kundenindividuelle Lösungen zur Verglasung verschiedenster Gebäudebereiche, z.B. Wintergärten, Terrassenüberdachung oder Balkonverglasung. 1983 in Olpe gegründet, verlegte man 2016 seinen Hauptsitz nach Melle. Hauptabsatzmärkte im Ausland sind dabei England, die Niederlande und die Vereinigten Staaten.

Schnell zur effizienten Produktionssteuerung

Produzierende Unternehmen sehen sich zahlreichen Herausforderungen aufgrund steigender Komplexität konfrontiert. Diese ergeben sich maßgeblich aus einer hohen Variantenvielfalt, internationalen Vertriebswegen und einem stetig steigenden Individualisierungsgrad. Der Einsatz digitaler Werkzeuge kann den Auswirkungen dieser Entwicklung entgegenwirken. In diesem Kontext stellen sich Unternehmen die generelle Frage, welche Lösungen relevant sind und in welchem quantifizierbaren Kosten/Nutzen-Verhältnis sie stehen. Da für die Steuerung komplexer Fertigungssysteme die Funktionalitäten eines klassischen ERP-Systems oftmals nicht mehr ausreichen, greifen Unternehmen häufig auf individuell kreierte IT-Lösungen zurück. Diese Insellösungen führen zwangsläufig zu steigender Intransparenz, Doppeleingaben, Unzufriedenheit der Mitarbeiter und somit zunehmender Ineffizienz in den administrativen Prozessen. Die Integration von Advanced Planning and Scheduling (APS) oder Manufacturing Execution (ME) Systemen kann hier Abhilfe schaffen.

Die Solarlux GmbH ist ein 1983 in Olpe gegründeter Hersteller von Glas-Elementen. Das Unternehmen entwickelt, projiziert und fertigt kundenindividuelle Lösungen zur Verglasung verschiedenster Gebäudebereiche, z.B. Wintergärten, Terrassenüberdachung oder Balkonverglasung. Der Hauptsitz wurde 2016 nach Melle verlegt. Hauptabsatzmärkte im Ausland sind England, die Niederlande und die Vereinigten Staaten. Als innovatives Unternehmen in Bezug auf Produktdesign und Außen- darstellung (vgl. Abbildung 1) ist man bestrebt, auch im Zuge der Digitalisierung den nächsten Schritt zu gehen.

Für den mittel- bis langfristigen Planungsbereich vertraut das Unternehmen auf ein klassisches ERP-System. Für den kurzfristigeren Planungshorizont der Fertigung wurden diverse IT-Insellösungen für die unterschiedlichen Prozessbeteiligten entwickelt und implementiert. Aufgrund der stetig steigenden Variantenvielfalt und damit ein- hergehenden Produktkomplexität sieht das Unternehmen die Notwendigkeit, seine Fertigungsprozesse in einem zusätzlichen APS-System abzubilden. Man erhofft sich dadurch eine Erhöhung der Effizienz über alle Stufen des Planungsprozesses. Weiterhin sollen die bestehenden individuell entwickelten IT-Lösungen durch das einzu- führende System ersetzt werden.

Problemstellung

Für die Planung und Steuerung der Fertigung besteht die Möglichkeit, ein ME- oder APS-System an ein bereits vorhandenes ERP-System anzubinden. Die Redundanzen

zwischen diesen Systemen sind für eine Vielzahl der Unternehmen ebenso unklar, wie eine konkrete Vor- stellung von einem strukturierten Auswahlprozess. Es stellt sich demnach die Frage, wie sich Unternehmen auf die gezielte Auswahl eines solchen Systems vorbereiten können, nach welchen Kriterien das System auszuwählen ist und wie ein derartiges IT-Projekt strukturiert auf- gesetzt werden kann.

Im Folgenden werden deshalb zunächst die charak- teristischen Eigenschaften eines solchen Systems vor- gestellt, ein exemplarischer Projektplan dargestellt und zentrale Fragestellungen diskutiert, die im Zuge des Auswahlprozesses beantwortet werden müssen. Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover hat dazu in Zusammenarbeit mit der Solarlux GmbH einen Grob- leitfaden zur Systemeinführung entwickelt, welcher von jedem Unternehmen branchenunabhängig angewendet werden kann.

Lösungsweg

APS-System: Funktionalitäten und Anforderungen

Ein APS-System kommt meist dann zum Einsatz, wenn die Funktionalitäten klassischer ERP-Systeme zur Lösung von Planungs- und Entscheidungsproblemen in Produktion und Logistik, sowie entlang der gesamten Supply Chain nicht mehr ausreichen. Als unterstützendes System mit einer durchgehend nachvollziehbaren Planungshierarchie von der strategischen bis hin zur operativen Planung enthält es sowohl Funktionen von ERP-, als auch von



Abbildung 1: Das Atrium der Unternehmenszentrale in Melle

ME-Systemen (vgl. Abbildung 2). So können bspw. auf Basis vorhandener Stamm- und Bewegungsdaten Machbarkeitsprüfungen neuer Primärbedarfe durchgeführt werden. Engpässe und Restriktionen können dabei identifiziert und gezielt optimiert werden. APS-Systeme bieten weiterhin die Möglichkeit einer vollautomatischen oder interaktiven Simultanplanung. Eine vollautomatische Planung kann durchgeführt werden, wenn konstante Rahmenbedingungen vorherrschen. Ziel ist an dieser Stelle eine hohe Auslastung zu gewährleisten und auf kurzfristige Änderungen automatisch eingehen zu können. Eine interaktive Simultanplanung gewährleistet hohe Flexibilität in einem dynamischen Umfeld bei sich ändernden Modellrestriktionen.



Abbildung 2: Funktionalitäten eines APS-Systems

Um gezielt die Koordination der wertschöpfenden Prozesse des Unternehmens zu verbessern, die Produktivität zu erhöhen und zeitgleich das Bestandsniveau zu reduzieren, sind einige zentrale Anforderungen an ein APS-System zu berücksichtigen. Für die durchgängige Implementierung einer prozessorientierten Organisation im Change-Management ist die durchgehende Rücken- deckung der Geschäftsleitung notwendig. Das zu be-

trachtende Planungsmodell muss vollständig abbildbar sein. Von der Absatzplanung bis hin zur Feinsteuerung müssen alle Prozesse, die zu einem Engpass werden könnten, in das System eingebunden werden. Weiterhin ist das Planungsergebnis stets abhängig von der Qualität der zur Verfügung gestellten Daten.

Wie grenzt sich APS von MES und ERP ab?

APS-Systeme berücksichtigen, im Gegensatz zu ERP-Systemen eine kombinierte Vorwärts-/Rückwärtsterminierung gegen finite Kapazitäten bspw. anhand der aktuellen Planungssituation. Dadurch lassen sich realistische Pläne unter Einhaltung geltender Restriktionen und Verwendung mathematischer Lösungsverfahren erzeugen. Eine fortlaufende Optimierung dieses Plans anhand unternehmensspezifischer Zielkriterien kann bspw. mittels Heuristischer Lösungsverfahren umgesetzt werden. APS-Systeme beinhalten somit Funktionalitäten von ERP- und ME-Systemen.

Vorgehensweise im Auswahlprojekt

Hat ein Unternehmen die Entscheidung getroffen, ein APS- oder ME-System zu beschaffen, stellt sich weiterhin die Frage nach einem strukturierten Projektvorgehen. Abbildung 3 skizziert die übergeordneten Projektphasen und stellt weiterhin dar, welche Teilaufgaben in den jeweiligen Phasen umzusetzen sind. Zunächst ist es entscheidend, sich über die allgemeinen Ziele des Projekts klar zu werden. Im Zuge eines Zieldefinitions-Workshops können übergeordnete strategische Ziele des Unternehmens in konkrete Projektziele überführt und mittels Kriterien bewertbar gemacht werden. In der darauf folgenden Analyse werden zunächst alle relevanten Prozesse erfasst, hinsichtlich erster Potentiale zur Verbesserung untersucht und in ein Soll-Konzept überführt. Die daraus resultierenden Anforderungen an das System bilden die Grundlage für die Phase der Systemauswahl. Anhand eines Lastenhefts kann eine Vorauswahl potenzieller Systeme getroffen werden. Eine fundierte Auswahlentscheidung sollte erst nach intensiven Anbieter-Workshops

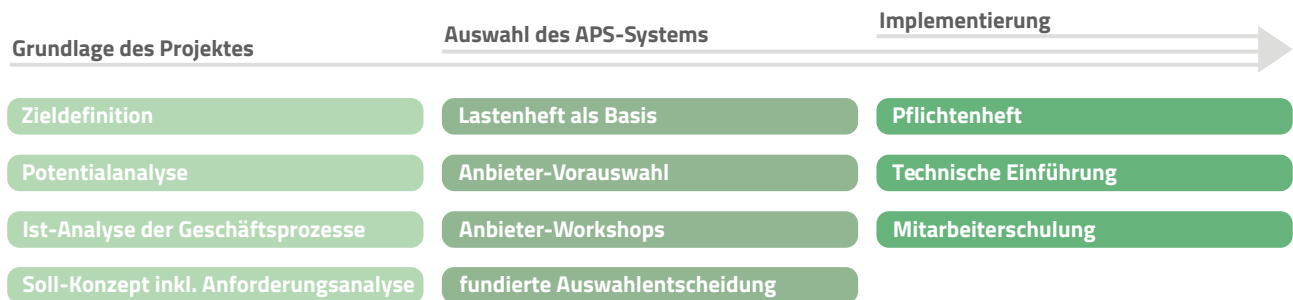


Abbildung 3: Vorgehensweise zur Systemauswahl und -einführung

erfolgen. In diesem Zusammenhang können zusätzliche Kriterien in die Entscheidung einbezogen werden, z.B. die Erfahrung des Anbieters oder der persönliche Eindruck. Hat man sich schließlich auf einen Anbieter festgelegt, erfolgt die gemeinsame Erstellung des Pflichtenhefts und eine detaillierte Ausarbeitung des angestrebten Lizenzmodells. Über die technische Einführung hinaus ist besonders darauf zu achten, noch vor der Einführung ein detailliertes Schulungskonzept zu erarbeiten.

Checkliste in Vorbereitung auf das Projekt

In Vorbereitung eines Auswahl-Projekts können bereits verschiedene Fragen beantwortet werden. Dabei handelt es sich um Fragen bzgl. der angestrebten Software-Funktionalitäten, der erforderlichen Schnittstellen sowie allgemeiner Fragen. Neben den produkt- und prozess-spezifischen Anforderungen sollte bereits über die Art der Absatzplanung oder der Produktionsplanung und -steuerung diskutiert werden. Die Dokumentation relevanter Restriktionen im Planungsprozess sowie mögliche Freiheitsgrade in der Anpassung von Kapazitäten können den Auswahlprozess beeinflussen und ggf. vereinfachen. Weiterhin sollten erforderliche Kennzahlen definiert werden. In Bezug auf relevante Schnittstellen gilt es jene Daten zu identifizieren, die an das System übergeben werden sollten. Vorhandene Server-Plattformen, -Betriebssysteme und -Datenbanken sind ebenso wie notwendige Schnittstellen zu Groupware (z.B. MS Outlook oder ERP-System) zu dokumentieren. Allgemeine Fragen beziehen sich eher auf die Mitarbeiter-Anzahl, die Branche, Fertigungstyp und -art sowie Angaben zum Projektbudget.

Nutzen für den Mittelstand

Im durchgeführten Projekt konnte gemeinsam mit der Solarlux GmbH ein allgemeingültiger Grob-Leitfaden für die Vorbereitung eines APS-Auswahlprojekts entwickelt werden. Dieser Leitfaden kann Unternehmen dabei unterstützen, ein derartiges Projekt gut vorbereitet und strukturiert zu initiieren. Der Leitfaden wurde branchen-neutral entwickelt und ist somit ohne Weiteres auch in anderen Unternehmen anwendbar.

Industrie 4.0

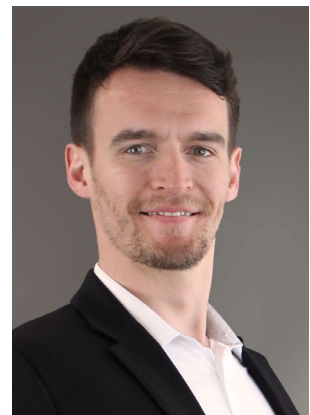
Durch die Einführung eines ME-Systems wird die Produktion nachhaltig verbessert:

- Optimierung der Produktion durch bessere Datenerfassung
- Verbesserung des Informationsflusses in der Fertigung
- Genauere Produktions- und Kapazitätsauslastungsplanung

Autorin/Autor



Maren Müller, M. Sc. studierte an der Technischen Universität Clausthal Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Produktion und Prozesse. Sie unterstützt das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover als Expertin. Seit August 2017 ist Frau Müller am Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) gGmbH als Projektingenieurin im Bereich Logistik tätig. Sie beschäftigt sich mit der Lagerplanung sowie der Auswahl und Einführung von ERP-/ME-Systemen.



Andreas Nitsche, M. Sc. studierte an der Technischen Universität Ilmenau Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Supply Chain Management und Produktionstechnik. Er unterstützt das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover als Experte. Seit April 2018 ist Herr Nitsche am Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) gGmbH als Projektingenieur im Bereich Logistik tätig. Er beschäftigt sich mit der Übertragung von Verfahren der Fertigungssteuerung auf Baustellenprozesse.



REHM

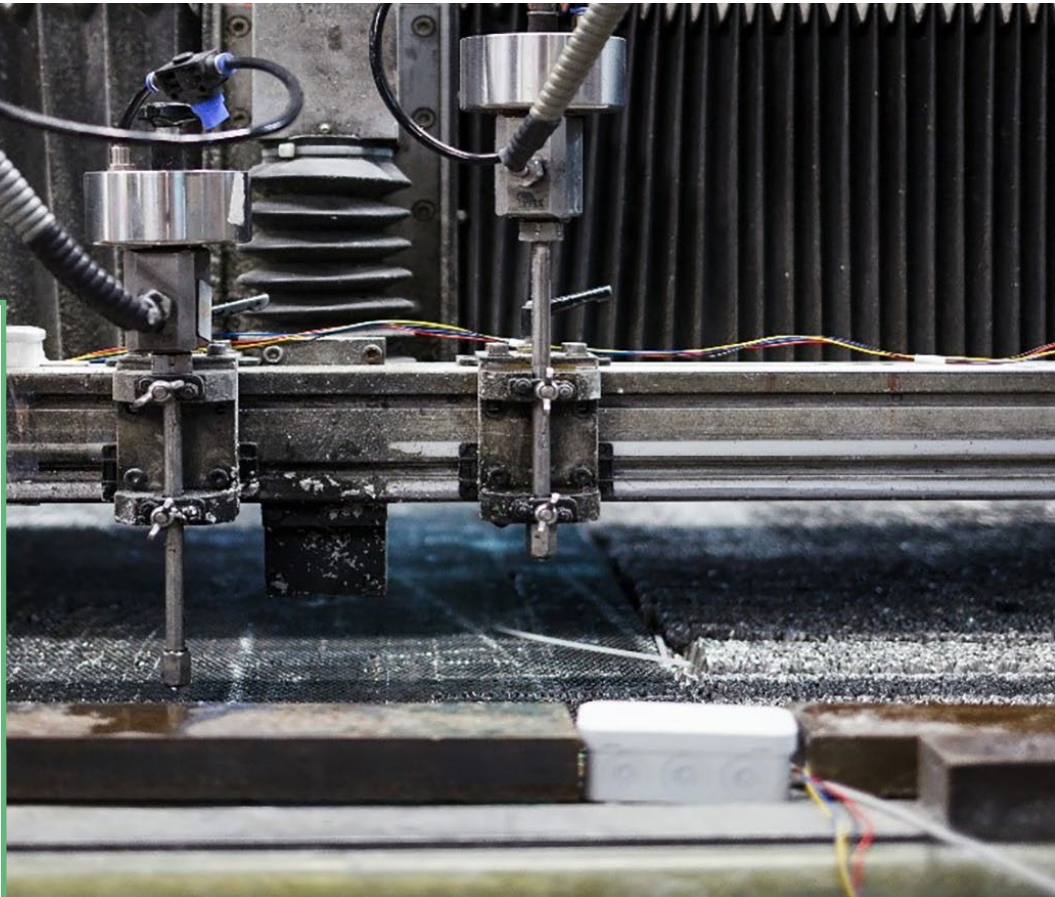
Firmenprofil

Die Rehm Dichtungen Ehlers GmbH in Peine ist Hersteller für Flachdichtungen und artverwandter Produkte. Das Portfolio des Unternehmens reicht von der Herstellung von Graphitdichtungen über Flachdichtringe bis zu Flanschdichtungen und Dichtungsbändern. Das 1962 gegründete Unternehmen beschäftigt 77 Mitarbeiter am Standort.

OEEsmart 

Firmenprofil

Das kleine Unternehmen OEEsmart ist Spezialist für Erfassungssysteme und Datenanalysen von Maschinen, Anlagen und verketteten Linien. Das Unternehmen aus Lengede bietet Maschinenanalysesystemen, die nachhaltige Lösungen für Produktionsoptimierungen anbieten. Dadurch werden Anlagenverluste direkt vor Ort visualisiert und bietet Mitarbeitenden eine Analysestruktur.



Retrofitting einer Wasserstrahlanlage

Das Thema Digitalisierung beschäftigt momentan viele Unternehmen der deutschen Industrie. Gerade für Unternehmen kleinerer bis mittlerer Größe stellt sich hier schnell die Frage, wie sie dieses Thema in ihrem Betrieb angehen können. Sechs von zehn Firmen geben als Hemmnis unter anderem zu hohe Investitionskosten an*. Kleinere Unternehmen schrecken oft aus Sorge, kostenintensive Maschinen anschaffen zu müssen, vor der Digitalisierung zurück. Die Idealvorstellung der vernetzten Fertigung und der dynamischen Berechnung von Produktionskennzahlen in Echtzeit scheint für viele kleine und mittlere Unternehmen nicht realisierbar zu sein. Anhand solcher Information lassen sich jedoch Rückschlüsse ziehen, ob die Maschine gerade einen Auftrag bearbeitet, in welchem Bearbeitungsprozess sie sich befindet oder ob eine Störung vorliegt. Auf dieser Basis, können die Auslastung von Maschinen optimiert und die Produktion effizient betrieben werden.

Digitalisierung kann jedoch auch ohne hohe Investitionen sinnvoll eingesetzt werden. Unternehmen mit älteren Maschinen und Anlagen müssen dafür nicht ihren Maschinenpark ersetzen, sondern können die alten Maschinen mit geringem Investitionsaufwand digitalisieren. Eine Möglichkeit ist die nachträgliche Ausstattung der Maschine oder Anlage mit neuer Sensorik und Aktorik sowie geeigneter Kommunikationstechnologien. Dies nennt man Retrofit oder die digitale Aufrüstung von Maschinen. Die digitale Aufrüstung kann dabei punktuell

erfolgen. Eine Vollautomatisierung des Produktionsprozesses ist nicht zwingend Thema einer Aufrüstung. Vielmehr gilt es sich Gedanken zu machen, welche Aspekte des Produktionsprozesses digital abgebildet werden sollen. Das Mittelstand 4.0 - Kompetenzzentrum hat zusammen mit den Firmen Rehm Dichtungen Ehlers GmbH und OEEsmart exemplarisch eine Aufrüstung an einer Wasserstrahlanlage durchgeführt.

Problem- und Zielstellung

Die zunehmende Individualisierung von Produkten stellt nicht nur immer neue Anforderungen an die eigentlichen Maschinen, sondern auch immer komplexere Anforderungen an die Produktionsplanung und -steuerung. Daher sollten alle alten Fertigungsmaschinen der Firma Rehm Dichtungen Ehlers GmbH mit Unterstützung der Firma OEEsmart um neue digitale Erfassungs- und Überwachungsfunktionen erweitert werden, um Produktionskennzahlen aus den Maschinen zu gewinnen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Echtzeitermittlung von Produktionskennzahlen ist, dass relevante Signale von Maschinen erfasst und ausgewertet werden können. Moderne Maschinen bieten meist bereits Funktionen zur Erfassung und Kommunikation von maschineninternen Signalen. Ältere Bestandsmaschinen besitzen jedoch meist keine Möglichkeit diese Daten einfach auszulesen.

Bei den alten Wasserstrahlanlagen der Firma Rehm (siehe Abbildung 1) sind diese Funktionen nicht vorhanden und die Daten lassen sich nicht aus der Steuerung auslesen. Dies stellt die wesentliche Problemstellung des Projektes dar. Exemplarisch wurde in dem Projekt mit dem Kompe-

tenzzentrum Hannover eine Wasserstrahlanlage digital aufrüstet und ein Sensorkonzept erarbeitet, auf deren Basis automatisiert Prozessinformationen gewonnen werden können. Bislang geben die Maschinenbediener sporadisch den Maschinenzustand händisch an die Leitstandzentrale weiter. Dies führt zu einem erhöhten zeitlichen Aufwand der Maschinenbediener. Maschinenausfälle und deren Ursache sind unpräzise dargestellt und falsche Eingaben führten zu fehlerhaften Analysen. Maschinenparameter für die Bearbeitung einzelner Aufträge werden auf Basis von Erfahrungswerten des jeweiligen Bediener programmiert. Hilfestellung für die richtige Parameterwahl waren dabei in einer Materialdatenbank zu finden. Auf Basis des zu verwendenden Materials kann aus Aktenordnern der Parameter gewählt und in den zu programmierenden Maschinencode übernommen werden.

Lösungsansatz

Zur zielgerichteten digitalen Aufrüstung ist eine grundlegende Analyse der Maschine unabdingbar. Dazu stellt sich die Frage, welche Daten benötigt werden, um den Produktionsprozess zu verbessern und wie diese Daten erfasst werden können. Im Folgenden wird hierzu ein systematisches Vorgehen vorgestellt. Folgende Leitfragen sind dabei zu berücksichtigen:

- Welche Informationen sind zu Erreichung der Ziele erforderlich?
- Welche Signale sind für die erfassenden Informationen notwendig?
- Wie können die Signale erfasst oder ausgelesen werden?

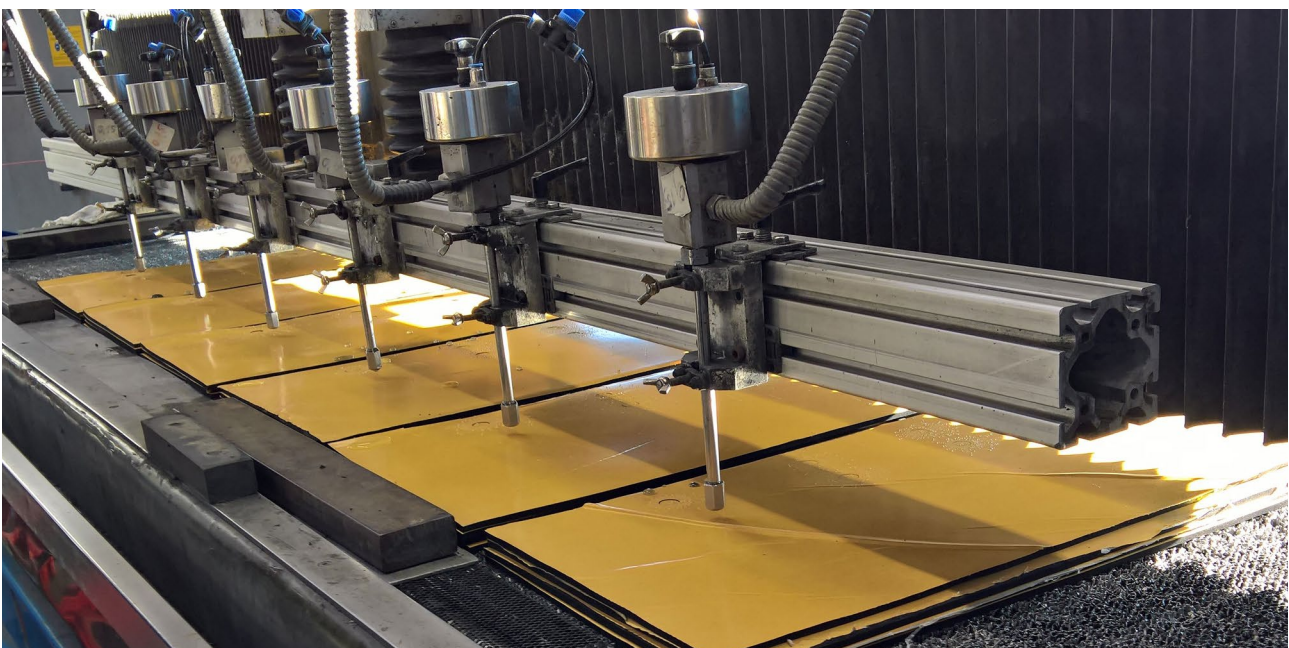


Abbildung 1: Eine Wasserstrahlanlage bei der Firma Rehm Dichtungen Ehlers GmbH

Welche Informationen sind zu Erreichung der Ziele erforderlich?

Für die Verbesserung der Produktionsplanung und –steuerung können die produzierenden Maschinen mit der Overall Equipment Effectiveness (OEE) Kennzahl bewertet werden. Mit Hilfe der Kennzahl kann der Status von Maschinen und Anlagen nicht nur zu einem festen Zeitpunkt erfasst, sondern auch kontinuierlich ausgewertet werden.

Für den Fall der Wasserstrahlanlage und der dort gefertigten Produkte lässt sich die OEE wie in Formel 1.1 dargestellt berechnen.

$$OEE = \text{Verfügbarkeitsfaktor} \times \text{Leistungsfaktor} \times \text{Qualitätsfaktor} \quad (1.1)$$

Der Verfügbarkeitsfaktor wird wie in Formel 1.2 berechnet.

$$\text{Verfügbarkeitsfaktor} = \frac{\text{Betriebszeit}}{(\text{Betriebszeit} + \text{Stillstandszeit})} \quad (1.2)$$

Um die Betriebs- und Stillstandszeiten berechnen zu können, muss der Maschinenzustand bekannt sein. An der Wasserstrahlanlage können die Zustände Betrieb, Stillstand und Rüsten auftreten. Da der Rüstzustand ebenfalls einen Maschinenstillstand bedeutet, aber zur Betriebszeit zugerechnet wird, muss dieser zusätzlich erfasst werden.

Nachstehend ist die Formel zur Bestimmung des Leistungsfaktors aufgeführt (siehe Formel 1.3).

$$\text{Verfügbarkeitsfaktor} = \frac{\text{Betriebszeit}}{(\text{Betriebszeit} + \text{Stillstandszeit})} \quad (1.3)$$

Die Soll- und Istzeiten der Auftragsbearbeitung sind mit den Soll- und Ist-Geschwindigkeiten der Maschine proportional. Zur Berechnung des Faktors sind daher die programmierten und vorgegebenen Geschwindigkeiten der Maschine zu erfassen.

Die Qualität wird nicht an der Wasserstrahlanlage bestimmt, sondern in einer nachgelagerten Station. Daher wird der Qualitätsfaktor für die OEE an der Maschine gleich 1 gesetzt.

Daher sind die folgenden Informationen für die Erreichung der Ziele zu bestimmen:

- Betriebszeiten
- Rüstzeiten
- Stillstandszeiten
- Soll-Geschwindigkeit
- Ist-Geschwindigkeit

Welche Signale sind für die erfassenden Informationen notwendig?

Nach einer eingehenden Analyse der Maschinenzustände und der Wasserstrahlanlage wurden vier Anlagenkomponenten bestimmt, die Rückschlüsse auf die Betriebszeit, Rüstzeit und Stillstandszeit zulassen. Jede Anlagenkomponente hat zwei Zustände die detektiert werden mussten (Tabelle 1.1). Die Hochdruckpumpe stellt den nötigen Druck des Wassers zur Verfügung, um die Werkstücke zu schneiden. Dies geschieht nur beim Starten eines Auftrags an der Maschine. Die Achsen der Anlage führen die Wasserstrahldüsen im Arbeitsbereich entlang des programmierten Weges. Dabei ist die Anlage mit mehreren Düsen ausgestattet, die je nach Bedarf zugeschaltet werden können. Im Arbeitsraum wird entweder das neue Material bereitgestellt oder das fertig Produkt entnommen.

Jede Kombination der gesendeten Signale definiert einen eindeutigen Maschinenzustand. Tabelle 1.2 zeigt beispielhaft drei Kombinationen der Signale und deren daraus resultierenden Maschinenzustand.

Die Soll-Geschwindigkeit wird anhand von Materialdaten für den jeweiligen Auftrag bestimmt. Die Ist-Geschwindigkeit basiert auf zwei Signalen. Eine Geschwindigkeitsklasse zwischen I – V wird im programmierten numerischen Steuerungs(NC)-Code festgelegt und wird mit der Stellung der Vorschubregler (Geschwindigkeitsregler) der Maschine multipliziert, um die Ist-Geschwindigkeit zu ermitteln.

| Anlagenkomponente | Zustand (Signal) |
|-------------------|--|
| Hochdruckpumpe | Wasserdruck aufgebaut? Ja (1) Nein (0) |
| Achsen | In Bewegung? Ja (1) Nein (0) |
| Düsenkopf | Zugeschaltet? Ja (1) Nein (0) |
| Arbeitsraum | Eingriff? Ja (1) Nein (0) |

Tabelle 1.1: Anlagenkomponenten und deren Zustände

| Anlagenkomponente | | | | Maschinenzustand |
|-------------------|-------|-----------|-------------|------------------|
| Hochdruckpumpe | Achse | Düsenkopf | Arbeitsraum | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | Stillstand |
| 0 | 0 | 1 | 1 | Rüsten |
| 1 | 1 | 1 | 0 | Betrieb |

Tabelle 1.2: Maschinenzustandslogik anhand der Signale

Somit müssen folgende Signale erfasst werden:

- Hochdruckpumpe – Druck vorhanden ja/nein*
- Achsen – In Bewegung ja/nein*
- Düsenköpfe – Zugeschaltet ja/nein*
- Arbeitsraum – Eingriff liegt vor ja/nein*
- Materialdaten – Vorgegebene Geschwindigkeit*
- NC-Code – Programmierte Geschwindigkeit*
- Feed-Regler - Stellung*

Wie können die Signale erfasst oder ausgelesen werden?

Für das Projekt an der Wasserstrahlanlage wurde externe Sensorik eingesetzt, um die Signale zu erfassen. Abbildung 2 zeigt das Sensorkonzept mit den implementierten Sensoren.

An der Wasserstrahlanlage selbst wurden drei Sensoren angebracht. Zur Detektion der Achsbewegung wurde ein Beschleunigungssensor gewählt, der die Bewegungen der Achsen in X- und Y-Richtung aufnimmt. Die Düsenköpfe werden mit Druckluft zu- und abgeschaltet. Mit Hilfe eines Drucksensors, der in die Druckluftleitung integriert wurde, können die Signale der Düsen ermittelt werden. Eine Lichtschranke vor dem Arbeitsraum detektiert die Materialbe- und -entladung. Das Signal der Hochdruckpumpe kann

mit einem weiteren Beschleunigungssensor erfasst werden. Der Arbeitsdruck für den Betrieb der Anlage verursacht in der Wasserzuleitung Vibrationen, die durch den Sensor erfasst werden.

Für die Aufnahme der Soll-Geschwindigkeit wurde die Materialdatenbank digitalisiert. Anhand der Eingabe der Materialwerte über das Touchdisplay wird die Soll-Geschwindigkeit dem Maschinenbediener angezeigt und kann gleichzeitig übermittelt werden. Der NC-Code kann nun über den Firmeneigenen Server aufgerufen und die programmierte Geschwindigkeitsklasse ausgelesen werden. Ein installierter Adapter mit einem Potenziometer erfasst die Stellung der Vorschubregler.

Ein Raspberry Pi dient als Steuerungseinheit in der alle Signale zusammenfließen und weiterverarbeitet werden. Diese werden vom Projektpartner OEEsmart über eine offene Schnittstelle ausgelesen und im hauseigenem Softwaresystem weiterverarbeitet. Dabei ist OEEsmart der Spezialist für die Datenanalyse an den Maschinen und übernimmt die Berechnung und Visualisierung der OEE-Kennzahl. Die Software ist bereits an anderen Anlagen von Rehm Dichtungen Ehlers GmbH im Einsatz und verbessert kontinuierlich die Auslastung und Effizienz der Anlagen.

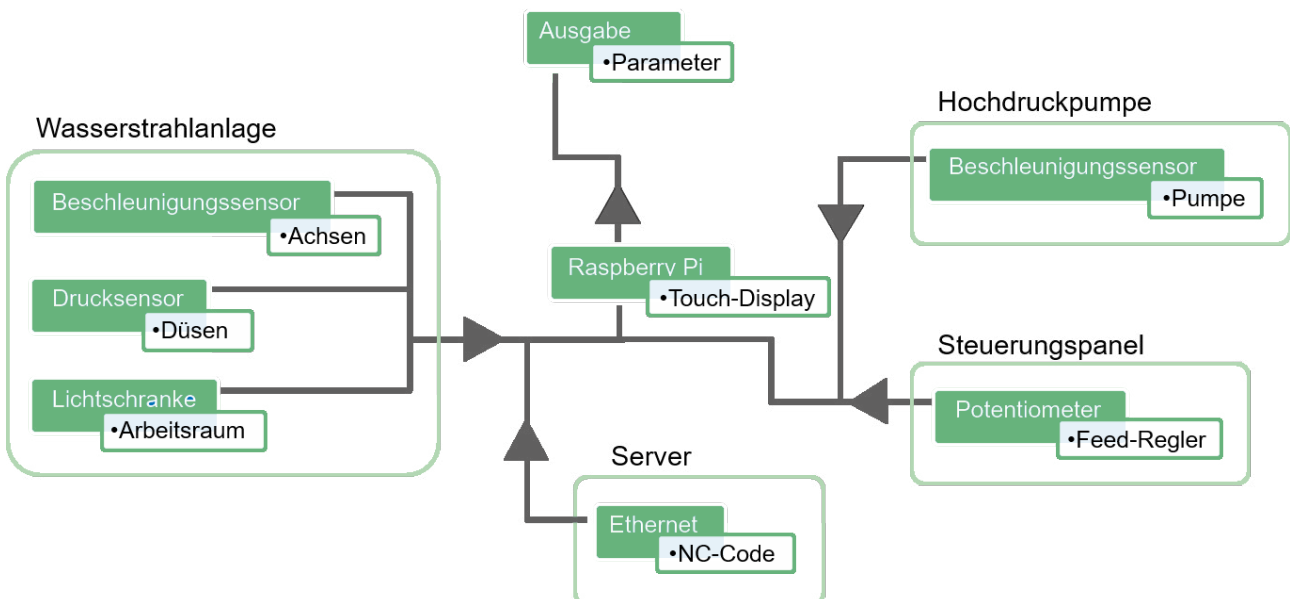
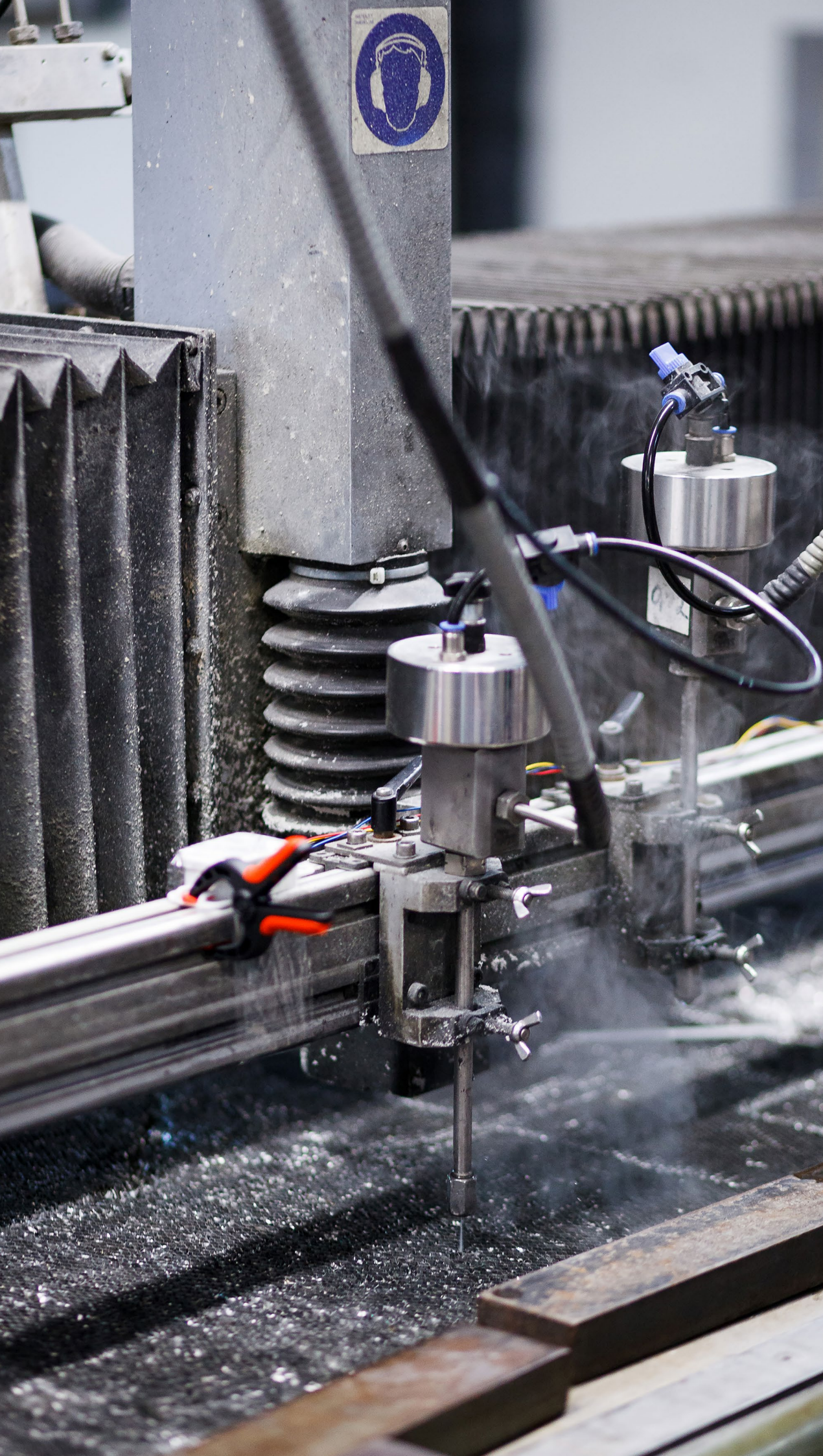


Abbildung 2: Komponenten zur Implementierung eines Erfassungskonzeptes an Wasserstrahlanlagen



Nutzen für den Mittelstand

Mit Hilfe der digitalen Aufrüstung können automatisiert Informations- und Datenflüsse effizient in die Produktionsplanung und -steuerung eingebunden sowie verschiedene Produktionskennzahlen in Echtzeit ermittelt werden. Anhand der ermittelten Kennzahlen ist es möglich, Veränderungen im Produktionsumfeld sofort zu erkennen und direkt darauf zu reagieren. Es ist möglich auf etwaige Störungen reagieren zu können oder bisher nicht ausgeschöpfte Kapazitäten besser zu nutzen. Der Maschinenbediener wird durch die automatisierte Prozessinformationsgewinnung von händischen Eingaben entlastet. Maschinenausfälle und deren Ursache werden genauer dargestellt und Fehler durch falsche oder fehlende Eingaben reduziert.

Weiterhin lassen sich die Maschinenstundensätze deutlich präziser berechnen. Durch die verbesserte Kostenermittlung kann genauer ermittelt werden, wie die tatsächlichen Produktionskosten der einzelnen Maschinen sind. Dieses bringt monetäre Vorteile mit sich und ermöglicht ein standardisiertes Berechnungsverfahren. Dadurch lassen sich die Preise für die Produkte des Unternehmens präziser und schneller kalkulieren, um im nationalen und internationalen Wettbewerb bestehen zu können.

Insgesamt wurden 6 Sensoren und eine Steuerungseinheit für die digitale Aufrüstung benötigt. Sensoren zeichnen sich dabei durch immer präziser, zuverlässiger und kostengünstiger Technik aus. Die geringe Stückzahl an benötigten Sensoren für die Zielerreichung führt zu einer minimalen Investition für die erfolgreiche digitale Aufrüstung der Maschine (ca. 250 €). Dies zeigt schließlich, dass das Risiko hoher Investitionen für die digitale Aufrüstung alter Maschinen keine Hürde mehr für KMU darstellt.

Industrie 4.0

Für die Digitalisierung von alten Maschinenanlagen stehen folgende Aspekte im Fokus:

- Prozessinformationen über externes Sensorkonzept
- Transparenz in der Produktion
- Automatisierte OEE-Berechnung

Autoren



Daniel Arnold, M. Sc. ist Mitarbeiter im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Als Koordinator Fabrikbetrieb ist er für die technischen Komponenten in der Generalfabrik verantwortlich. Daniel Arnold studierte Mechatronik im Grundstudium und Maschinenbau im Master an der Leibniz Universität Hannover. Seit 2017 ist er Doktorand am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen und forscht im Bereich Digitalisierung.



Michael Rehe, Dr.-Ing. ist Geschäftsführer im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Herr Dr. Rehe studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover und hat 2015 am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen promoviert. Vor seiner Zeit im Kompetenzzentrum war er in leitender Funktion bei einem mittelständischen Automobilzulieferer tätig.



Firmenprofil

Die LAP GmbH Laser Applikationen (LAP) hat ihren Hauptsitz in Lüneburg und beschäftigt weltweit 200 Mitarbeitende. Bereits 1984 begann LAP mit der Entwicklung einfacher Punkt- oder Linienlaser für Messsysteme in der Industrie.

Heute lassen sich die Produkte in zwei wesentliche Kategorien unterteilen: Einerseits werden berührungslose Messsysteme, beispielsweise für Metallwerkstücke verschiedener Größen, hergestellt. Andererseits produziert LAP Projektionssysteme. Diese reichen von einfachen Linien- oder Punktlasern bis zu komplexen Systemen, die auch mehrfarbige Projektionen komplexer Bilder ermöglichen. Eingesetzt werden diese Systeme in der Medizintechnik zur Patientenmarkierung bzw. -positionierung sowie in der Industrie, um Fertigungsprozesse durch die Projektion von Lageinformationen und Arbeitsanweisungen zu unterstützen.

Intelligente Fertigungsassistenz

Der Mensch ist und bleibt zentraler Bestandteil vieler Fertigungsprozesse. Insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen sind die Erfahrung und Flexibilität der Mitarbeitenden unersetzlich. Gleichzeitig erhöhen sich aber die Anforderungen an das Personal: Produkte werden zunehmend individueller und die Variantenvielfalt damit größer. Die Komplexität typischer Fertigungsaufgaben, wie beispielsweise der Montage von Bauteilen, nimmt damit zu. Schon immer greifen die Mitarbeitenden dabei auf Informationshilfsmittel zurück. Auch heute noch finden sich in vielen produzierenden Betrieben Aktenschränke in der Fertigung. Mit Arbeitsanweisungen und Bauteilzeichnungen auf Papier bieten sie eine einfache Hilfestellung, die Nachteile liegen allerdings auf der Hand: Das Medium verdrückt bei Benutzung beispielsweise leicht, kostet in der Masse wertvollen Platz und die Pflege von Informationen ist sehr aufwendig.

Neue Technologien bilden eine sinnvolle Grundlage, Papieranweisungen effektiv zu ersetzen. Durch die Anbindung an ein zentrales digitales System, z.B. ein Produktionsdatenmanagement sind die Daten immer aktuell, gehen bei richtiger Sicherung nicht verloren und lassen sich problemlos an beliebigen Orten abrufen. In der Praxis gibt es eine Vielzahl an Lösungen, die die Anzeige von Informationen für verschiedenste Anwendungen ermöglichen: Displays und Projektoren werden bereits vermehrt eingesetzt.



Abbildung 1: CAD-PRO Laserprojektor (Quelle: www.lap-laser.com)

Die Steuerung dieser Informationssysteme hingegen funktioniert wie der Umgang mit Papier: Informationen werden von Hand aufgerufen (ein Ordner aus dem Regal gezogen) und weitergeschaltet (umgeblättert). Klassische Eingabegeräte wie Fernbedienungen oder Maus und Tastatur finden hier besonders häufig Verwendung.

Mit verbessertem maschinellem Lernen und künstlicher Intelligenz bei gleichzeitig höherer Technologieverfügbarkeit eröffnen sich nun komplett neue Möglichkeiten: Gibt es bessere Möglichkeiten der Systemsteuerung? Müssen die Mitarbeitenden überhaupt weiter händisch zwischen einzelnen Informationen umschalten? Was passiert, wenn das System von sich aus in der Lage ist, den Prozessstatus zu erkennen?

Das in diesem Artikel beschriebene Umsetzungsprojekt, welches gemeinsam mit der Firma LAP GmbH Laser Applikationen durchgeführt wurde, zeigt wie diese Fragen beantwortet werden können und gibt einen Ausblick auf die Assistenzsysteme der Zukunft.

Problemstellung

Der Laserprojektor „CAD PRO“ von LAP (vgl. Abb. 1) stellt ein solches Projektionssystem dar. Der Projektor erlaubt die Darstellung lagegerechter und genauer Informationen auf verschiedenen Oberflächen. Das System wird unter anderem zur Anzeige von Arbeitsinstruktionen eingesetzt. Die Anweisungen selbst lassen sich mithilfe bestehender CAD-Daten erzeugen. Digital konstruierte Produkte können so direkt projiziert werden und ein Aufwand durch das Neuzeichnen der Projektionsbilder entfällt.

Um zur nächsten Projektion zu gelangen, muss dem System bislang manuell gemeldet werden, wenn ein Montageschritt abgeschlossen ist. Diese Eingaben können entweder an einem PC-Arbeitsplatz in der Programmsoftware, oder mittels einer Fernbedienung erfolgen. Diese klassische Steuerung über Eingabegeräte bringt verschiedene Nach-

teile mit sich. Die vorhandenen Eingabegeräte sind nur bedingt für eine Bedienung mit Handschuhen geeignet und erfordern, dass der Mitarbeitende mindestens eine Hand frei hat. Noch schwerer wiegt die Zeit und kognitive Leistung, die für die Systembedienung aufgebracht werden muss. So muss zur Fernbedienung bzw. Tastatur gegriffen werden, was besonders bei komplexeren Produkten zu erhöhten Zeiten führt, die nicht zur Wertschöpfung beitragen. Der Systemnutzer ist so permanent von seiner eigentlichen Aufgabe abgelenkt.

Diese Probleme lassen sich an einem einfachen Anwendungsfall demonstrieren: Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover stellt in seiner Generalfabrik Kugelschreiber her, die von Hand montiert werden. Der Kugelschreiber besteht aus sechs Bauteilen, die in verschiedenen Varianten vorhanden sind. Die Teile der konfigurierten Variante befinden sich zu Prozessbeginn auf einem Bauteilträger („Tray“). Zur Anzeige der Arbeitsanweisungen wird ein CAD-PRO System eingesetzt, das über der Arbeitsfläche montiert ist. Es werden sowohl Entnahmeanweisungen auf das Tray, als auch Montageanweisungen auf eine beschichtete Fläche projiziert, die ergonomisch hinter dem Tray angebracht ist, vgl. Abb.2. Die zur Steuerung benötigte Software läuft auf einem Computer hinter dem Arbeitstisch.



Abbildung 2: Tray und Fläche zur Anzeige von Arbeitsanweisungen

Bei der Montage muss für jede einzelne Projektion eine Eingabe am Bildschirm getätigt werden, indem ein Button auf einem Display betätigt wird. Der Blick und die Hand des Mitarbeitenden ruht also nicht auf den Bauteilen vor sich, sondern wird kontinuierlich abgelenkt, um auf das Bedienfeld zu drücken.

Bereits in diesem einfachen Anwendungsfall zeigt sich, welche Grenzen klassische Bedienkonzepte haben. Es stellte sich daher die Frage, wie ein neues Steuerungsprinzip aussehen kann, dass sich aktiv an die jeweilige Arbeitssituation anpasst und für den Mitarbeitenden keinen Mehraufwand erzeugt.

Lösungsweg

Selbst eine deutlich verbesserte Steuerung (zum Beispiel durch Stimmbefehle) bedeutet einen Mehraufwand für die Nutzer, da ein Eingriff in das System erfolgen muss. Daraus folgt, dass die effektivste Methode zur Reduzierung des Steuerungsaufwands darin besteht, den Mitarbeitenden von der Steuerungsfunktion zu entlasten. Das System muss also in der Lage sein, den Prozessfortschritt eigenständig zu erkennen und mit dem Weiterschalten zur nächsten Entnahmeanweisung zu reagieren.

Um diese Erkennung zu ermöglichen, wurde das System erweitert (siehe Abbildung 3). Eine Industriekamera wurde neben den Projektor montiert. Die Kamera nimmt kontinuierlich das Tray auf. Die Umgebung wird von der Kamera nicht gefilmt, um Datenschutzbedenken der Mitarbeitenden entgegenzuwirken.

Damit das Assistenzsystem in der Lage ist, die Kameradaten zu interpretieren und den Prozessfortschritt festzustellen, wurde eine Steuerungssoftware entwickelt. Die Software kann die verwendeten Bauteile auf den Kamerabildern erkennen und die Position bestimmen. Hierbei kommt der Viola-Jones-Algorithmus zum Einsatz, der in die Software vieler Endverbraucherkameras integriert ist und dort für die Erkennung von Gesichtern eingesetzt wird. In der Software ist er durch die Bildverarbeitungsbibliothek OpenCV implementiert. Mittels maschinellem Lernen wird der Algorithmus auf die Erkennung trainiert. Eine geringe Menge an Testbildern (50 Stück pro Bauteil) ist hierbei für eine gute Erkennung ausreichend.



Abbildung 3: Montagestation in der Generalfabrik (links), Schematischer Systemaufbau (rechts)

Auch die Projektorsteuerung wird durch die Software durchgeführt. Als Schnittstelle dient dabei ein Dateiordner, der auf Änderungen überwacht wird. Lädt die Software eine Anweisungsdatei in diesen Ordner, wird die Datei vom Projektor erkannt und projiziert.

Abbildung 4 zeigt den Programmablauf. Sobald die Software festgestellt hat, dass die Bauteile vollständig auf dem Tray sind, beginnt die Projektion der ersten Entnahmeanweisung. Wird das Teil vom Träger entfernt, erkennt die Software dies und leitet die nächste Projektion (die erste Arbeitsanweisung) ein. Da die Kamera den eigentlichen Montageprozess nicht filmt, wird die nächste Entnahmeanweisung zeitgesteuert nach einer Verzögerung von drei Sekunden angezeigt. In der Praxis hat sich diese Herangehensweise bewährt, da die Mitarbeitenden nach Abschluss des Arbeitsschrittes intuitiv zurück auf das Tray sehen und dort die neue Entnahmeanweisung angezeigt bekommen.

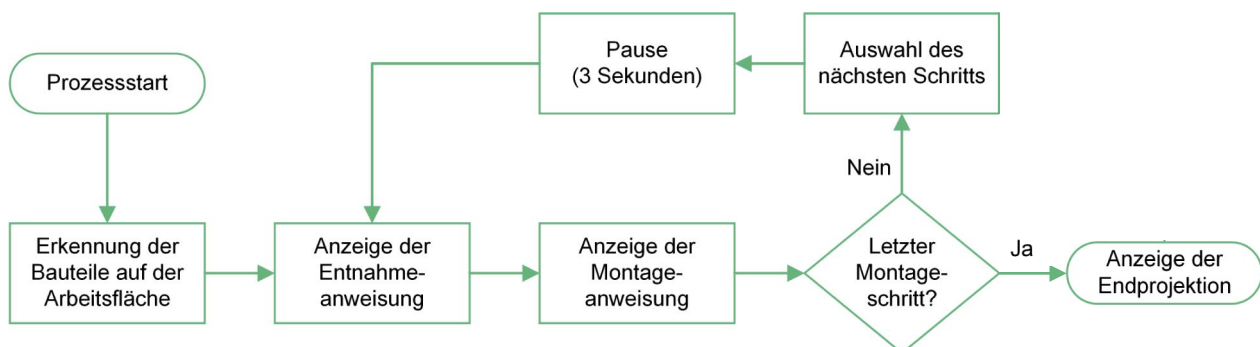


Abbildung 4: Programmablauf

Diese Abfolge wiederholt sich, bis alle Arbeitsschritte abgearbeitet sind und der Kugelschreiber fertig montiert ist. Zuletzt wird eine Endprojektion angezeigt, die den Nutzer auffordert, den Stift in das Tray zu legen. Wird der Kugelschreiber dort als richtig montiert erkannt, gibt es eine passende Rückmeldung und die Montage ist abgeschlossen.

Um die Praxistauglichkeit der entwickelten Lösung zu testen, wurde ein erster Test mit sieben Auszubildenden aus der Fertigung von LAP durchgeführt. Hierbei wurde die Montage einmal mit dem entwickelten System und einmal mit Papieranweisungen begleitet. Nach abgeschlossener Aufgabe wurden die Probanden über den System Usability Scale (SUS) Fragebogen zu ihren Eindrücken befragt. Der SUS bewertet die Benutzbarkeit technischer Assistenzsysteme auf einer Skala von 0 bis 100 Punkten.

Im Ergebnis zeigen sich mehrere Vorteile des entwickelten Systems: Schon in der Beobachtung des Tests fiel auf, dass die Probanden das System ohne jegliches Vorwissen intuitiv bedienen konnten. Dieser Eindruck wird durch die Ergebnisse des SUS bestätigt. Auch erfolgte die Montage schneller und mit weniger Fehlern als mit der Papieranweisung. Insgesamt erzielte das selbststeuernde System einen sehr guten SUS-Wert von 81,8 von 100. Dies spricht für eine gute Benutzbarkeit.

Nutzen für den Mittelstand

Das hier vorgestellte System hat in mehrfacher Hinsicht eine richtungsweisende Funktion für den Mittelstand. Es wird aufgezeigt, inwieweit eine automatische Bilderkennung Produkte, wie das CAD PRO, technisch verbessern kann. Durch eine industrietaugliche Implementierung der kamerabasierten Steuerung wird die Laserprojektion um weitere Aspekte erweitert:

- Automatische Erkennung des Prozessfortschritts: Die Maschine „sieht“ nun und kann auf den Mitarbeiter reagieren
- Beschleunigung der Durchlaufzeit durch das Wegfallen von Rückmeldezeiten
- Potential zur automatischen Qualitätssicherung, bspw. durch das Speichern von Fotos des fertigen Produktes

Die kamerabasierte Erfassung der Montagefortschritte und die ereignisorientierte Einblendung des jeweils nachfolgenden Arbeitsschrittes stellen eine technische Weiterentwicklung des Systems dar, die LAP nun umsetzen kann und bei der Sicherung von Arbeitsplätzen hilft. Bei wirtschaftlichem Erfolg können sogar neue Arbeitsplätze entstehen.

Darüber hinaus ergeben sich große Änderungen für den Umgang mit Assistenzsystemen in der Zukunft. Die automatische Erfassung von Prozessabläufen stellt einen Paradigmenwechsel in der Funktionsweise von Assistenzsystemen

dar. Wo bisher klassische Bedienelemente wie Papieranweisungen oder Bedienterminals eingesetzt wurden, ist es zukünftig denkbar, die Mitarbeitenden völlig von der Steuerungsaufgabe zu befreien. Dies schafft eine große Entlastung und reduziert den Stress und Interaktionsaufwand für die Mitarbeitenden. Es bleibt so mehr Zeit für Fertigungstätigkeiten und die Bearbeitungsgeschwindigkeiten können erhöht werden.

Industrie 4.0

Durch die technische Erweiterung mit Hilfe der Bilderkennung wird die Laserprojektion um weitere Aspekte erweitert:

- Automatische Erkennung des Prozessfortschritts: Die Maschine „fühlt“ nun und kann auf den Mitarbeiter reagieren
- Verbesserung des Informationsflusses in der Fertigung
- Automatische Qualitätssicherung
- Beschleunigung der Durchlaufzeit durch das Wegfallen von Rückmeldezeiten

Autoren



Jan Taubert, M. Sc. ist Mitarbeiter im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Als Projektkoordinator Qualifikation ist er dafür verantwortlich, Unternehmen im Rahmen von Schulungsmaßnahmen beim Aufbau von Kompetenzen zu helfen. Jan Taubert studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Leibniz Universität Hannover. Seit 2017 ist er Doktorand am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen und forscht im Bereich Assistenzsysteme.



Michael Rehe, Dr.-Ing. ist Geschäftsführer im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Herr Dr. Rehe studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover und hat 2015 am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen promoviert. Vor seiner Zeit im Kompetenzzentrum war er in leitender Funktion bei einem mittelständischen Automobilzulieferer tätig.



Firmenprofil

Sennheiser, mit Sitz in der Wedemark bei Hannover, ist einer der weltweit führenden Hersteller von Kopfhörern, Mikrofonen und drahtloser Übertragungstechnik. Seit 2013 leiten Daniel Sennheiser und Dr. Andreas Sennheiser das Familienunternehmen in der dritten Generation. Am Standort in der Wedemark sind rund 1200 Mitarbeiter beschäftigt. In der Fertigung der akustischen Komponenten bei Sennheiser kommen mehrere Drehmaschinen zum Einsatz, von denen eine Maschine für dieses Projekt zur Erprobung zur Verfügung steht (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Exemplarische Darstellung der Drehmaschine für den automatischen Datenaustausch

Mehr Produktionseffizienz mit Maschinendaten

Die Digitalisierung beschäftigt derzeit viele Unternehmen. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stehen vor der Herausforderung dieses Thema für ihren Betrieb zu strukturieren und in sinnvollen Projekten zu bearbeiten. Kleinere Unternehmen fragen sich dabei, wie mit der Digitalisierung begonnen und mit ihr die Wirtschaftlichkeit ihrer Fertigung erhöht werden kann. Dazu hat sich die Erfassung von Kennzahlen zur Steigerung von Transparenz in der Fertigung bewährt. Durch sie werden Optimierungspotentiale sichtbar, die zu einer Verbesserung der Auslastung und Abläufe führen. Die Kennzahlen werden also händisch, durch die Beschäftigten vor Ort erfasst, da Bestandanlagen und -maschine häufig über nicht ausreichende Vernetzungsmöglichkeiten verfügen. Den gesamten Maschinenpark gegen Anlagen der neuesten Generation auszutauschen, die mit passenden Schnittstellen zur Erfassung der Kennzahlen ausgestattet sind, stellt demgegenüber eine erhebliche wirtschaftliche Hürde dar. Es fehlen Schnittstellen zur Erfassung von Kennzahlen direkt an der Maschine.

Wie kann dennoch eine Erfassung von Produktionskennzahlen realisiert werden, um die Potentiale der Fertigung sichtbar zu machen, ohne dabei den Maschinenpark ersetzen oder die Maschinenbediener mit zusätzlichen Aufgaben belasten zu müssen?

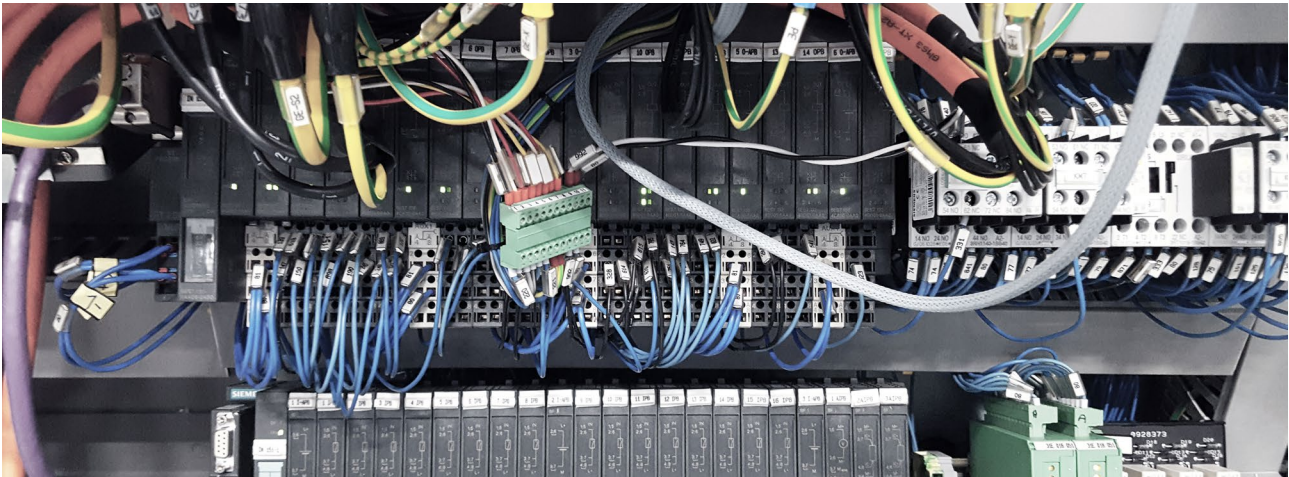


Abbildung 2: Schaltschrank einer Drehmaschine

Im Folgenden wird deshalb die punktuelle Aufrüstung einer Bestandsmaschine verfolgt. Dieses Vorgehen wird auch Retrofit genannt. Dazu sollen Maschinendaten aus einer bestehenden CNC-Drehmaschine extrahiert werden, um daraus exemplarisch eine Produktionskennzahl zu berechnen. Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover hat dazu in Zusammenarbeit mit Firma Sennheiser eine Drehmaschine, wie in Abbildung 1 dargestellt, nachgerüstet.

Problemstellung

Für die spanende Fertigung ist es wichtig, einen permanenten Überblick über die Fertigung der Produkte und die aktuelle Nutzung der Anlagen zu haben, um Fertigungsaufträge optimal auf verschiedene Maschinen verteilen zu können. Auf diese Weise kann effizienter produziert werden.

Um die Nutzung der Anlagen beobachten zu können hat Firma Sennheiser entschlossen, unternehmensweit die Overall Equipment Effectiveness (OEE) zu erfassen. Mit dieser kann analysiert werden, wie eine Anlage genutzt wird und ob dort noch weitere Fertigungskapazitäten vorhanden sind. Sie unterstützt alle Beteiligten dabei, die Optimierungspotentiale ihrer Fertigung zu erkennen.

Bisher wird die OEE bei Sennheiser händisch erfasst. Das erzeugt einen hohen Aufwand bei den Maschinenbedienern, da sie jeden Stillstand manuell eingeben müssen. Besonders problematisch ist die Erfassung der ungeplanten Stillstände. Diese müssten sofort erfasst und weitergegeben werden, damit die Fertigungssteuerung darauf reagieren kann. Folgeaufträge können dann auf andere Maschinen geplant werden. Für die Maschinenbediener liegt die oberste Priorität in so einem Fall aber darauf, den Stillstand zu beheben. Eine Meldung wird erst danach verfasst. Die Fertigungssteuerung hat daher bisher keine Möglichkeit, den aktuellen Produktionsstatus zu durchschauen.

Gleiches gilt für die tatsächlichen Produktionszeiten. Diese werden ebenfalls händisch erfasst und führen für die Beschäftigten vor Ort zu Mehrarbeit. Bisher gibt es keine Möglichkeit, die zur Berechnung der OEE notwendigen Daten aus der Bestandsmaschine automatisch zu extrahieren. Ziel des Projektes ist es folglich, die OEE in Echtzeit zu erfassen, um die Planung und Steuerung der Produktion zu optimieren. Dabei ist eine automatische Erfassung notwendig, um die Beschäftigten vor Ort zu entlasten und die Datenbasis zu verbessern.

Lösungsweg

Zur Zielerreichung muss zunächst die Kommunikationsstruktur zwischen der Maschine und dem bestehenden Datenbanksystem hergestellt werden. Auf diese Weise werden die interne Daten der Maschine verfügbar und können im zweiten Schritt zur Berechnung der OEE herangezogen werden.

Kommunikationsstruktur

Bei der betrachteten Drehmaschine sind Schnittstellen zum Austausch von Maschinendaten nicht vorgesehen. Die Anlage ist zwar an das lokale Netzwerk angeschlossen, allerdings wird dieser Anschluss ausschließlich zum Austausch von Programmcodes genutzt. Diese können nicht für die Kommunikation von Maschinendaten genutzt werden. Eine daran anschließende Weiterverarbeitung der Daten ist ebenfalls noch nicht möglich.

Die Maschine ist in der Lage, ausgewählte Variablen der CNC-Steuerung lokal zu überwachen. Diese Variablen sind ausschließlich für die Signalverarbeitung und zur Darstellung auf dem zugehörigen Bildschirm an der Maschine vorgesehen. So können beispielsweise Programmstatus, Laufzeit oder Stückzahlen aufgezeichnet werden. Die Steuerungsvariablen sind demnach geeignet, passende Daten zur Berechnung der OEE bereitzustellen.

Für den Export der Daten konnte ein bestehender Ansatz von Doreth, Henjes und Kröning weiterentwickelt werden [DORE13]. Die Forscher verwenden in ihrem Ansatz eine Software, die in der Lage ist Energiedaten einer Werkzeugmaschine direkt in der Steuerung zu protokollieren und auszuwerten. Darüber hinaus können die Daten mit Hilfe einer (HTTP-) Verbindung über das bestehende Netzwerk an beliebige Stellen ausgegeben werden. Über diese Verbindung ist es möglich, sämtliche Steuerungsvariablen der Maschine anzusprechen. Vorteilhaft ist hierbei, dass die Software keine zusätzliche Hardware benötigt. Außerdem kann die vorhandene Netzwerkverbindung genutzt werden.

Nachteilig ist, dass jede Variable einzeln über die HTTP-Verbindung abgefragt werden muss. Dabei gilt: Je mehr Variablen nacheinander abgefragt werden sollen, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit eine Werteänderung – und damit ein Ereignis – zu verpassen. Eine Eigenschaft des HTTP-Protokolls ist außerdem, dass eine 1:1 Beziehung zwischen Server und Client hergestellt wird. Bei großen Maschinenparks, müssen also viele Clients die Steuerungsvariablen der Maschinen regelmäßig abfragen. Durch die Abfragen und die 1:1 Beziehung entsteht vermehrt Netzwerkverkehr und eine unflexible Server-Client-Beziehung.

Daher wurde der Ansatz von DORETH et. al. für diesen Anwendungsfall modifiziert. Die HTTP-Verbindung wurde durch das MQTT-Protokoll ersetzt. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ist ein Protokoll, das für das Internet of Things (IoT) entwickelt wurde. Im Gegensatz zu HTTP, welches auf die 1:1 Beziehung von Server und Client setzt, bildet MQTT eine Sterntopologie ab. Es sind, im Gegensatz zu HTTP, n:1 Beziehungen möglich, da ein sogenannter „Broker“ als zentrale Vermittlungsstelle eingesetzt wird. Darüber hinaus ist MQTT ein nachrichtenbasiertes Protokoll. Dadurch ist es möglich, eine Vorfilterung der Daten direkt in der Maschine vorzunehmen und nur geänderte Werte von der Maschine an den Broker zu senden. Der Broker verteilt die Nachrichten wiederum an alle Abonnenten („Subscriber“). HTTP setzt im Gegensatz dazu auf das Prinzip aus Frage und Antwort („request“ und „response“ in Abb. 2) zwischen Client und Server, was zu dem beschriebenen Verhalten einzelner Variablenabfragen führt. Im Vergleich zu HTTP erzeugen die einzelnen MQTT-Nachrichten besonders wenig Netzwerklast. So können allein die Metadaten bei einer typischen HTTP-Verbindung bis zu mehrere Kilobyte groß sein, eine einzelne MQTT-Nachricht erzeugt dagegen nur 2 Byte an Metadaten. Die Topologie einer HTTP-Verbindung im Vergleich zu MQTT ist daher in Abbildung 3 dargestellt.

Bisher wurde auf der Maschine ein Webserver betrieben, um die HTTP-Verbindung herzustellen. Mit der neuen Architektur wird die Software so verändert, dass verschiedene Variablen direkt auf der Maschine überwacht werden und diese nur an den Broker versendet werden,

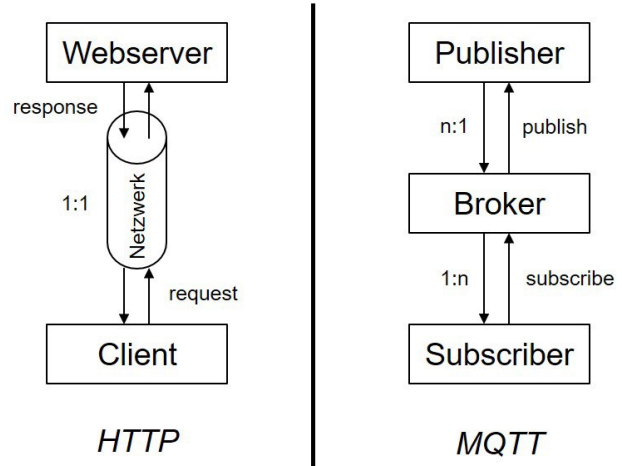


Abbildung 3: HTTP und MQTT im Vergleich

sobald sich ein Wert verändert hat. Die Maschine nimmt damit analog zu Abbildung 3 die Rolle des „Publisher“ ein. Sie schickt Nachrichten mit neuen Variablenwerten an den Broker. Durch diese Art der Implementierung entsteht ein betriebsinternes IoT. In dieses Netz können weitere Maschinen sowie externe Sensoren oder Aktoren eingebracht werden.

Um ein Regelwerk zur Berechnung der OEE abbilden zu können, wurde eine datenstromorientierte Programmierumgebung verwendet. In diesem Fall kommt die Open-Source-Software „nodeRed“ zum Einsatz. Damit ist es möglich, mehrere Topics auf dem Broker zu abonnieren (subscribe) und diese logisch miteinander zu verknüpfen. Auf diese Weise können verschiedene Datenquellen zur Berechnung der OEE zusammengefasst werden.

Berechnung der OEE

Die OEE muss zunächst in ihre Faktoren zerlegt werden, um dazu passende Maschinendaten auswählen zu können. Diese Daten sind notwendig, um die automatische, echtzeitnahe Berechnung der OEE zu ermöglichen.

$$OEE = \text{Verfügbarkeitsfaktor} \times \text{Leistungsfaktor} \times \text{Qualitätsfaktor} \quad (1.1)$$

Die OEE wird dazu, wie in Formel 1.1 dargestellt, aus drei Faktoren (vgl. VDMA 66412) berechnet. Die einzelnen Faktoren setzen sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Verfügbarkeitsfaktor} = (\text{Gesamtzeit} - \text{Ausfallzeit}) / \text{Gesamtzeit} \quad (1.2)$$

Der Verfügbarkeitsfaktor zeigt an, in welchem Verhältnis die Gesamtzeit, in der die Maschine planmäßig zur Verfügung stehen soll zur Ausfallzeit steht. Die Ausfallzeit beinhaltet nach der Richtlinie des VDMA alle ungeplanten Stillstände der Maschine, die Störungszeiten und auch Rüstzeiten, die über die planmäßigen Rüstzeiten hinausgehen.

$$\text{Leistungsfaktor} = \text{IST-Leistung} / \text{SOLL-Leistung} \quad (1.3)$$



CPU A5

XL3
XL3

ESP32

ESP8263

A5

XL2
XL2

+01234567

A4

Kom.-Modul
CPU
A4

EBO

EB1

EB2

EB3

AB0

AB1

AB2

AB3

B20 B21

RFID

A2

+01234567

+01234567

+01234567

+01234567

+01234567

+01234567

+01234567

XL1

XL1

F1

F3

F5

F1

F2

F3

F4

F5

K1

K2

K3

K4

K5

K6

F2

F4

K2

K3

K4

K5

K6

PE

jF1

Masse(-)

jF2

JF1 ++++++

JF2 ++++++

Switch

Switch

Der Leistungsfaktor bestimmt, in welchem Verhältnis Ist- und Soll-Leistung stehen. Bei der Bearbeitung von Stückgut lässt sich die Leistung bestimmen indem die tatsächlichen Produktionszeiten der einzelnen Produkte auf die zur Verfügung stehende Produktionszeit bezogen werden. Diese wird im Produktionsprogramm hinterlegt.

$$\text{Qualitätsfaktor} = \frac{\text{Gutmenge}}{\text{Gesamtmenge}} \quad (1.4)$$

Der Qualitätsfaktor beschreibt die Menge der Teile, die den Anforderungen genügen im Verhältnis zur Gesamtproduktion. Der Qualitätsfaktor kann kalkuliert werden, wenn der Ausschuss gezählt wird. In Formel 1.5 wird daher statt der Gutmenge die Gesamtmenge abzüglich der Ausschussmenge berücksichtigt.

$$\text{Qualitätsfaktor} = \frac{(\text{Gesamtmenge} - \text{Ausschussmenge})}{\text{Gesamtmenge}} \quad (1.5)$$

Um eine automatische Erfassung aller Faktoren der OEE realisieren zu können, werden deshalb zu folgenden Größen passende Daten benötigt:

- Gesamtzeit
- Ausfallzeit
- IST-Leistung
- SOLL-Leistung
- Gesamtmenge
- Ausschussmenge

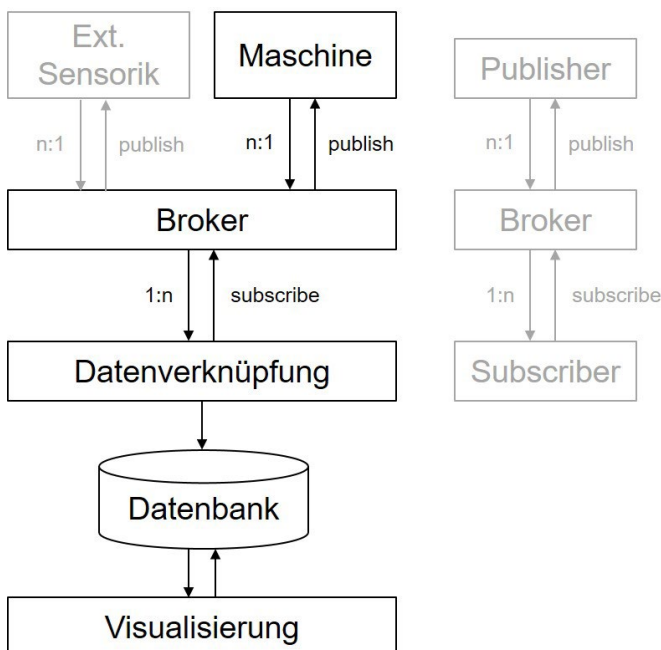


Abbildung 4: Topologie der Maschinendatenerfassung mit MQTT

Die IST-Leistung wird aus den Maschinendaten erfasst (Programm läuft / läuft nicht, Anzahl der produzierten Teile). Die SOLL-Leistung kommt aus einem Planungssystem, dessen Daten ebenfalls abgefragt und im nodeRed zusammengefasst werden können. Über diese Größen kann der Leistungsfaktor der OEE gebildet werden. Zusätzlich wird die Ausschussmenge zur Kalkulation des Qualitätsfaktors über ein Terminal zurückgemeldet, die Gesamtmenge über den integrierten Stückzähler der Maschine erfasst und daraus die Gutmenge zur Berechnung des Qualitätsfaktors aus Formel 1.4 gebildet.

Gesamt- und Ausfallzeit zur Berechnung des Verfügbarkeitsfaktors können ebenfalls über die Maschinendaten bestimmt werden. Dazu wird die Gesamtbetriebszeit der Maschine ausgelesen und mit Hilfe des Indikators „Programm läuft“ bzw. „Programm läuft nicht“ die Ausfallzeit errechnet. Die Berechnungsvorgänge finden dabei immer auf Seite der „Subscriber“ statt. So kann die benötigte Rechenleistung auf der Steuerung der Maschine minimiert werden. Nach der Bearbeitung der Rohdaten und Zusammenfassung dieser zu einer OEE, wird das Ergebnis an eine Visualisierungsplattform weitergegeben. Diese erzeugt aus den Berechnungsergebnissen automatisch Grafiken, die zur Darstellung der Optimierungspotentiale genutzt werden können.

Das Gesamtsystem zur automatischen Berechnung der OEE ergibt sich aus der Zusammenführung der Einzelsysteme wie in Abbildung 4 dargestellt. Die eigentliche MQTT-Topologie findet dabei Anwendung bis zur Verknüpfung der Maschinendaten zur OEE („Datenverknüpfung“ – nodeRed). Speicherung und Visualisierung der Daten werden in nachgelagerten Systemen vorgenommen und sind Abbildung 4 exemplarisch aufgeführt. In der Abbildung ist ebenfalls dargestellt, wie zusätzliche Sensorik in die Architektur eingebracht werden kann. Dabei entsteht ein neues Topic auf dem Broker und die Datenverknüpfung kann die zusätzlichen Daten verarbeiten.

Nutzen für den Mittelstand

Mit dem Projekt konnte aufgezeigt werden, dass eine Kennzahlenberechnung und -darstellung auf Basis von Maschinendaten in Echtzeit realisiert werden kann. Voraussetzung dafür war, die maschineninternen Signale von außen lesbar zu machen, um sie zu einer OEE verknüpfen zu können. Mit den Datensätzen der Maschine lassen sich jetzt Produktionskennzahlen dynamisch in Echtzeit berechnen. Die automatische Berechnung der OEE wird dabei für die Produktionssteuerung herangezogen. Sennheiser-Mitarbeiter Mühlberg: „Uns war

darüber hinaus wichtig, die Kennzahlen den Mitarbeitern einfach zugänglich zu machen.“ Die Visualisierung der Zahlen für die Mitarbeiter setzt Sennheiser in Eigenregie um, um das Shopfloormanagement zu unterstützen und noch mehr Transparenz in der Fertigung zu schaffen. Maik Mühlberg, Programm-Manager Industry 4.0 bei Sennheiser: „Die Ergebnisse sind herausragend und bilden die Grundlage für die vollständig vernetzte Produktion der Zukunft.“

Über die Darstellung von Produktionskennzahlen hinaus sind weitere Anwendungsszenarien denkbar. So wurde in diesem Projekt das Werkzeugmanagement der Fertigung nicht betrachtet. Mit dem Vorliegen sämtlicher Maschinendaten entsteht die Möglichkeit beispielsweise Werkzeuge an zentraler Stelle zu überwachen und damit die Werkzeugausgabe effizienter zu gestalten. Die Maschinendaten lassen sich bis in die Programmebene analysieren. So wäre es auch denkbar, dass die Maschinen in Zukunft selbst von ineffizienten Werkzeugwechseln an die Programmierung berichten.

Industrie 4.0

- Ereignisdiskrete, nachrichtenbasierte Kommunikation über MQTT
- Realisierung einer M2M-Kommunikation
- Einfache Implementierung in weitere Protokolle möglich (bspw. RAMI 4.0)

Autoren



Christian Wagener war als Projektkoordinator Dialog im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“ tätig und hat dort Unternehmen bei der digitalen Transformation unterstützt. Herr Wagener hat an der Leibniz Universität Hannover Maschinenbau studiert und forschte im Bereich automatisierter Kennzahlerfassung am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IFW). Seit Juli 2019 arbeitet er als Themenmanager Digitale Produktion/Industrie 4.0 bei der Digitalagentur Niedersachsen.

Michael Rehe, Dr.-Ing. ist Geschäftsführer im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Herr Dr. Rehe studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover und hat 2015 am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen promoviert. Vor seiner Zeit im Kompetenzzentrum war er in leitender Funktion bei einem mittelständischen Automobilzulieferer tätig.

Quellen

[DORE13] K. Doreth et al., „Approach to Forecast Energy Consumption of Machine Tools within the Design Phase“, Advanced Materials Research, Vol. 769, pp. 278-284, 2013

[VDMA09] VDMA Einheitsblatt 66412-1:2009



Abbildung 1: Mitarbeiter bei der Schaltschrankmontage

SCHUBS
Steuerungstechnik

Firmenprofil

Die SCHUBS GmbH, mit Sitz in Hameln, plant und fertigt Schaltanlagen für die Branchen Elektrotechnik, Druckluft, Nahrungsmittel, Straßenbaumaschinen, Photovoltaik, Windkraft sowie für den allgemeinen Maschinen- und Anlagenbau. Die Bandbreite erstreckt sich vom individuellen Projekt mit einem Schaltschrank in Losgröße 1 bis zur Serienfertigung in größeren Stückzahlen.

Digitales Assistenzsystem unterstützt Montage

Dank digitaler Assistenten können auch gering qualifizierte Arbeitskräfte komplexe Tätigkeiten ausführen – das zeigt das Beispiel der SCHUBS GmbH. Das Unternehmen fertigt maßgeschneiderte Schaltschränke und ist ein wichtiger Arbeitgeber für Menschen mit Behinderungen. Damit diese in Zukunft verantwortungsvollere Tätigkeiten übernehmen können, möchte Schubs ein digitales Assistenzsystem einführen. Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover hat dafür den Demonstrator entwickelt.

Der Demonstrator besteht im Wesentlichen aus einem Barcode-Scanner, einem Touch-Monitor, einem Projektor und einem Rechner. Scannt der Werker ein Bauteil ein, wird eine Markierung an exakt die Stelle projiziert, an der es verbaut werden soll. Der Werker muss das Bauteil dort nur noch feststecken oder festschrauben – dazu sind keinerlei Elektronikkenntnisse notwendig. Ist die Aufgabe erledigt, drückt der Werker einen grünen Bestätigungsknopf auf dem Monitor und nimmt sich das nächste Bauteil.

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover hat für Schubs den Softwaredemonstrator entwickelt und die Hardware zusammengestellt. Der Softwaredemonstrator ist intuitiv und ohne Vorkenntnisse bedienbar, die Hardware-Komponenten sind robust und kostengünstig – so kann das Unternehmen sämtliche Arbeitsplätze mit dem System ausstatten.

Schubs setzt das visuelle Assistenzsystem vorerst in der Montage ein. Ein ähnliches System ließe sich jedoch auch für andere Anwendungsbereiche nutzen, etwa in der Kommissionierung. Dank der pragmatischen Lösung mit einfacher Software und Standard-Hardware können sich auch kleine und mittlere Unternehmen digitale Assistenten leisten, um ihre Mitarbeiter zu unterstützen.

Unternehmen und Produkt

Die SCHUBS GmbH plant und fertigt Schaltanlagen für die Branchen Elektrotechnik, Druckluft, Nahrungsmittel, Straßenbaumaschinen, Photovoltaik, Windkraft sowie für den allgemeinen Maschinen- und Anlagenbau. Die Bandbreite erstreckt sich vom individuellen Projekt mit einem Schaltschrank in Losgröße 1 bis zur Serienfertigung in größeren Stückzahlen.

Die Kunden können online auf der EPLAN-Plattform mit EPLAN Electric P8 und dem Pro Panel individuelle Schaltschränke eigenständig zusammenstellen. Die zusammengestellten Schaltschränke werden dann an die SCHUBS GmbH übermittelt. Die übermittelten Informationen enthalten die Daten für die NC-Fertigung und die vollautomatische Kabelkonfektionierung.

Die SCHUBS GmbH arbeitet mit einer interdisziplinären Verknüpfung von Web Systemen, CAE Systemen, ERP Systemen und Handarbeit. Obwohl die Fertigung im Branchenvergleich gesehen bereits sehr automatisiert abläuft, bleibt dennoch viel Handarbeit. Diese Handarbeit wird hauptsächlich von qualifizierten Mitarbeitern durchgeführt, die anschließend auch die komplexe Verkabelung der Teile übernehmen.

Problemstellung

Die manuelle Bestückung der Montageplatten mit elektrischen Bauteilen ist sehr arbeitsintensiv. Zurzeit werden bei der SCHUBS GmbH die Montagearbeiten von Fachkräften durchgeführt, die aber an andere Stelle (z. B. Verkabelung der Bauteile) fehlen.

Bereits heute wird der prozessorientierte Fertigungsablauf durch die Integration und Inklusion von Menschen mit Behinderungen unterstützt. Sie werden allerdings wegen der komplexen Anforderungen nicht für die Schaltschrankmontage eingesetzt. Ziel ist es, ihren Einsatz durch die Unterstützung von Assistenzsystemen zu ermöglichen.

Die Montage der Schaltschränke ist bis jetzt wenig digitalisiert und erfordert einen hohen Einsatz von Papier. Der Mitarbeiter arbeitet mit drei Dokumenten: Stückliste, Aufbauplan und Etikettenblatt mit Beschriftungen. Abbildung 1 zeigt einen Mitarbeiter bei der Montage eines Schaltschranks.

Die zu positionierenden Bauteile müssen zunächst anhand von Stücklisten identifiziert werden. Dies erfolgt in den meisten Fällen durch eine Betriebsmittelkennzeichnung (BMK). Anschließend werden die Bauteile unter Zuhilfenahme eines Aufbauplans auf die Montageplatte platziert und bekommen eine vorgedruckte BMK. Abbildung 2 zeigt einen Mitarbeiter beim Aufkleben der BMK. Diese komplexen Arbeitsabläufe führt unweigerlich auch zu Fehlern bei der Montage.



Abbildung 2: Mitarbeiter beim Aufkleben der Betriebsmittelkennzeichnung

Die SCHUBS GmbH suchte daher nach einer technischen Lösung, um die richtige Position der Bauteile auf die Montageplatte zu projizieren. Zusätzlich soll ein Etikett mit dem BMK automatisiert ausgedruckt werden, das anschließend von dem Mitarbeiter verklebt werden kann. Ziel war es, die aufwendige manuelle Suche zu verkürzen und das Vergleichen der BMK in Listen zu beseitigen.

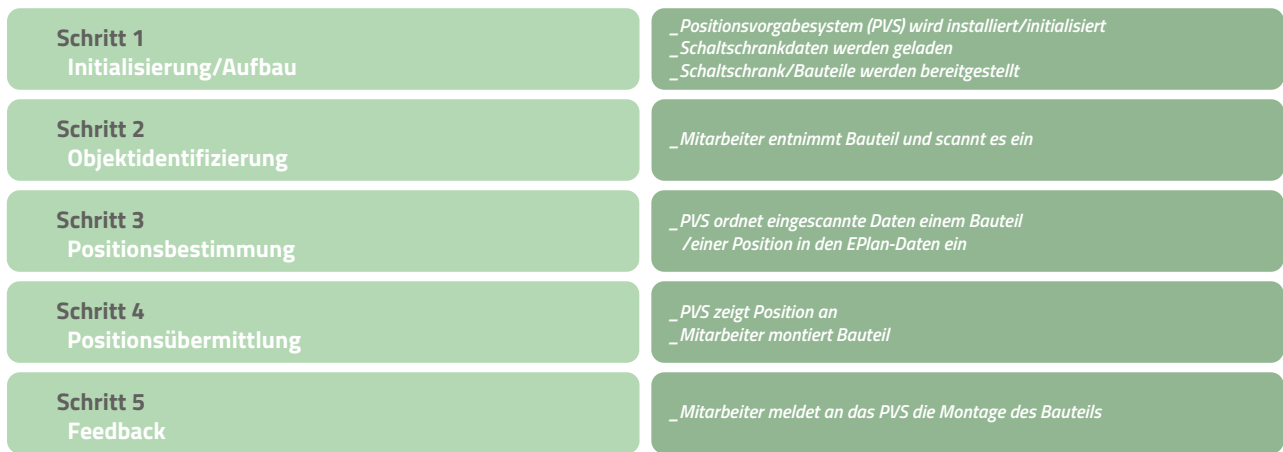


Abbildung 3: Arbeitsablauf mit der entwickelten Software

Eine große Herausforderung bei der Konzeption einer solchen Lösung stellt die Oberfläche der Montageplatten dar. Sie ist verzinkt und kann so Spiegelungen verursachen, die eine Projektion erschwert.

Lösungsweg

Das Umsetzen des Montageassistenzsystems erforderte zwei Teillösungen: eine Softwarelösung und eine Hardwarelösung. Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover hat Schubs bei der Entwicklung der Teillösungen unterstützt. Der entwickelte Softwaredemonstrator bildet die Grundlage für das Suchen und Anzeigen der Bauteile sowie das Ausdrucken der BMK. Abbildung 3 zeigt vereinfacht den Arbeitsablauf mit der entwickelten Softwarelösung.

In einem ersten Schritt wird das Positionsvorgabesystem (PVS) installiert und die Schaltschrank- und Bauteildaten werden geladen. Dem Mitarbeiter werden die zu verbauenden Bauteile in einer Kiste neben dem Montagearbeitsplatz bereitgestellt.

In Schritt 2, der Objektidentifizierung, entnimmt der Mitarbeiter ein Bauteil aus der vorkommissionierten Bereitstellung und scannt den Barcode des Bauteils mit einem Handscanner ein. Das entwickelte System sucht nach dem entsprechenden Bauteil in der Datenbank, zudem dort auch die passende Koordinate hinterlegt ist.

In Schritt 3, der Positionsbestimmung, ordnet der entwickelte Softwaredemonstrator dem eingescannten Bauteil seine Koordinate zu.

Im anschließenden Schritt 4 findet die Positionsübermittlung statt. Der Softwaredemonstrator zeigt mittels des Beamer die Koordinate auf dem Schaltschrank an. Ein roter Punkt wird auf der Montageplatte angezeigt und signalisiert dem Mitarbeiter, das Bauteil an dieser Stelle zu montieren.

In Schritt 5, gibt der Mitarbeiter Feedback mittels eines Touchmonitors, ob er das Bauteil erfolgreich montiert hat. Sobald der Mitarbeiter keine Bauteile mehr bereitstehen hat, kann er über den Touchmonitor den Auftrag beenden.

Das Programm überprüft, ob noch zu verbauende Teile übrig sind. Falls dies der Fall ist, wird eine Stückliste mit den fehlenden Bauteilen an die Kommissionierung versendet. Ein einmal begonnener Auftrag kann jederzeit wiederaufgenommen werden.

Die Hardwarelösung für das Projekt sollte portabel und kostengünstig sein. Folgende Komponenten wurden für das Montageassistenzsystem ausgewählt und für den Aufbau des Demonstrators genutzt:

- Barcode-Handscanner
- Beamer
- Mini-PC
- Halterung für den Beamer
- Etikettendrucker
- Touchmonitor

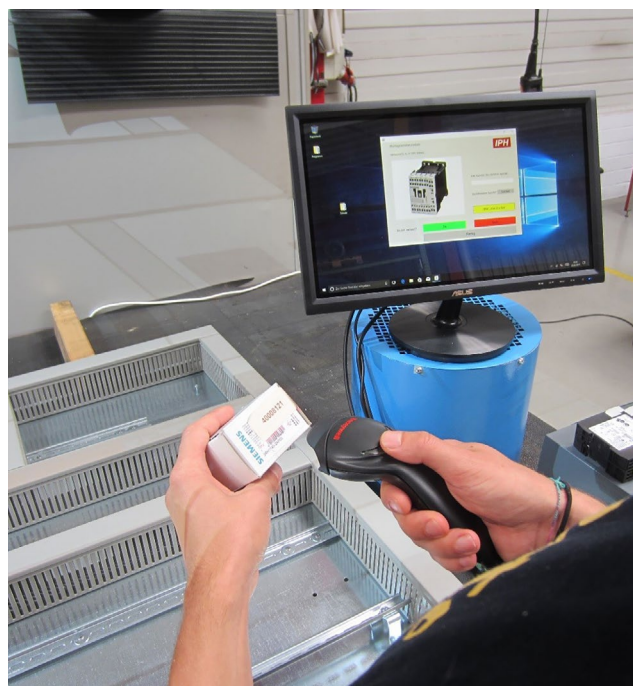


Abbildung 4: : Einscannen eines Bauteils und Anzeigen des Bauteils in der Software

Der Handscanner wird dazu verwendet, die einzelnen Bauteile einzuscannen. Abbildung 4 zeigt den Benutzer beim Einscannen des Bauteils. Das jeweilige Bauteil wird in der Software angezeigt und der Benutzer kann den Verbau quittieren.

Der Beamer ist an einer Halterung befestigt und projiziert das Bild orthogonal auf den Schaltschrank. Zum Abspielen der Software und dem Anschließen des Monitors, des Handscanners und des Etikettendruckers ist ein windowsfähiger Mini-PC ausreichend. Das System ist durch Rollen am Gestell portabel und kann so an verschiedene Montagearbeitsplätze geschoben werden.

Nutzen für den Mittelstand

Das entwickelte Montageassistenzsystem hilft, die bestehende Handarbeit umzuverteilen, so dass Menschen mit Behinderung in der Montage beschäftigt werden können. Die Digitalisierung hilft dabei, dieser geringer qualifizierten Gruppe ein weiteres Arbeitsfeld zu erschließen. Gleichzeitig werden dringend benötigte fachliche Kapazitäten frei für qualifiziertere Aufgaben: Die Elektrofachkräfte sollen künftig für komplexere nachgelagerte Prozesse eingesetzt werden, wie zum Beispiel die Verdrahtung. Diese Umverteilung der Handarbeit ist für SCHUBS dringend nötig, um als Unternehmen weiter wachsen zu können. In der Region gibt es kaum Elektrofachkräfte, so dass SCHUBS auf die eigenen Fachkräfte zurückgreifen und ihren Einsatz optimal planen muss. Das Montageassistenzsystem ermöglicht es, gering qualifizierte Mitarbeiter einzubinden und der steigenden Nachfrage nach Schaltanlagen gerecht zu werden.

Durch das Montageassistenzsystem kann die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens gesteigert werden. Das System eliminiert das aufwendige Suchen in Listen. Der Zeitaufwand für die Montage wird reduziert. Darüber hinaus hilft die umgesetzte Lösung die Anzahl von Bestückungsfehlern, die unter Umständen bis zum Kunden unbemerkt bleiben, zu minimieren und damit den Qualitätsstandard weiter zu erhöhen. Das im Zuge des Umsetzungsprojektes des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Hannover entwickelte Montageassistenzsystem ist auch in anderen Branchen nutzbar. Individuelle Bestückungen werden nicht ausschließlich in der Elektrotechnik benötigt, sondern auch in der Pneumatik und Hydraulik. Darüber hinaus ist auch ein Einsatz im Bereich der Kommissionierung vorstellbar. Durch den kostengünstigen Aufbau sind zudem keine großen Investitionskosten nötig.

Industrie 4.0

Der Montagearbeitsplatz wird mit der Auftragsdatenbank vernetzt. Durch Bereitstellen von digitalen Informationen, wie zum Beispiel Bild und Position des Bauteils, wird der Montagevorgang vereinfacht.

- GUI zur Auftragsbearbeitung
- Einscannen der Bauteile über EAN- Code
- Anzeige von Zusatzinformationen auf Bildschirm (Bauteilname und -bild)
- Projektion der Bauteilposition mittels Beamer

Autorin/Autor



Sarah Uttendorf, Dr.-Ing. war Mitarbeiterin im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Als Projektkoordinatorin UmWsetzung war sie dafür verantwortlich, ausgewählte Unternehmen bei der digitalen Transformation zu unterstützen. Sarah Uttendorf studierte Wirtschaftsingenieurwesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Bis Oktober 2017 war sie Doktorandin am Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH) und forschte im Bereich Automatisierungstechnik, jetzt ist sie bei der Robert Bosch GmbH als Teamleiterin im Bereich Fahrerlose Transportfahrzeuge tätig.



Florian Kreuzjans, B. Sc. ist Mitarbeiter im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Er ist gelernter Mechatroniker und studierte Europäische Informatik an der Hochschule Osnabrück. Seit 2016 ist er als Hard- und Softwareentwickler im Bereich Automatisierungstechnik am Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH) tätig.



LUDWIG & PARTNER
REITANLAGEN

Firmenprofil

Ludwig und Partner Reitanlagen ist ein beratendes Unternehmen, das sich schwerpunktmäßig mit ingenieurtechnischen Problemen sowie Fragestellungen rund um die Haltung von Pferden befasst. Pferdehalter und bestehende sowie angehende Betriebe werden bei der Planung, bei der Antragsstellung, beim Bauvorhaben und den Betrieb durch Ludwig und Partner – Reitanlagen unterstützt. Kunden wird dadurch ein wirtschaftlicher Betrieb von Anlagen zusammen mit einer tiergerechten Haltung ermöglicht. Darüber hinaus findet ein Wissenstransfer durch eigene Seminare und Kooperationen mit Hochschuleinrichtungen statt. Das Unternehmen betreibt eine Referenzanlage „Reitanlage am Rittergut“ in Hoppensen. Diese bietet Platz für die tiergerechte Unterbringung von mehr als 50 Pferden und umfasst einen Aktivstall, Packboxen, eine Reithalle, Weideflächen und diverse andere Räumlichkeiten. Sie wird als Pilotprojekt und Testumgebung für den Einsatz digitaler Technologien in der Pferdehaltung genutzt.

Niederschwellige IoT-Netzwerke für Reitanlagen

Die Digitalisierung von Prozessen und die Vernetzung von Anlagen stellt für viele Kleinunternehmen eine große Herausforderung dar. Der Umbruch zur Industrie 4.0 erfasst neben klassischen Produktionsbetrieben immer stärker auch Zweige, die bisher nicht ausreichend als Anwender für smarte Technologien und IoT berücksichtigt wurden. Moderne Reitanlagen managen komplexe Zeit- und Futterpläne, tracken Bewegungsdaten, analysieren Temperaturen und andere Messgrößen oder überwachen Weidezäune. Für all diese anspruchsvollen und aufwendigen Vorgänge existiert bisher jedoch kein Instrument um diese effizient, zentral und einfach zu steuern. Ludwig und Partner Reitanlagen und das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover haben in Zusammenarbeit ein Konzept für eine niederschwellige Vernetzung solcher Anlagen entwickelt. Mit diesem sollen Chancen der Digitalisierung besser zugänglich und ein wirtschaftlicher Betrieb bei einer tiergerechten Haltung sichergestellt werden.

Problemstellung und Zielsetzung

Aktuell erfolgt in Reitanlagen das Management von Teilaufgaben wie Fütterung, Monitoring oder die Verwaltung von Trainingseinheiten über spezialisierte, voneinander getrennte Systeme. Diese bieten in der Regel keine einheitliche Schnittstelle beziehungsweise Schnittstellendefinition, über die der Austausch von Informationen stattfinden könnte. Auch die Einbindung in das ERP-System ist folglich mit einem hohen Einzelaufwand verbunden oder lässt sich gar nicht

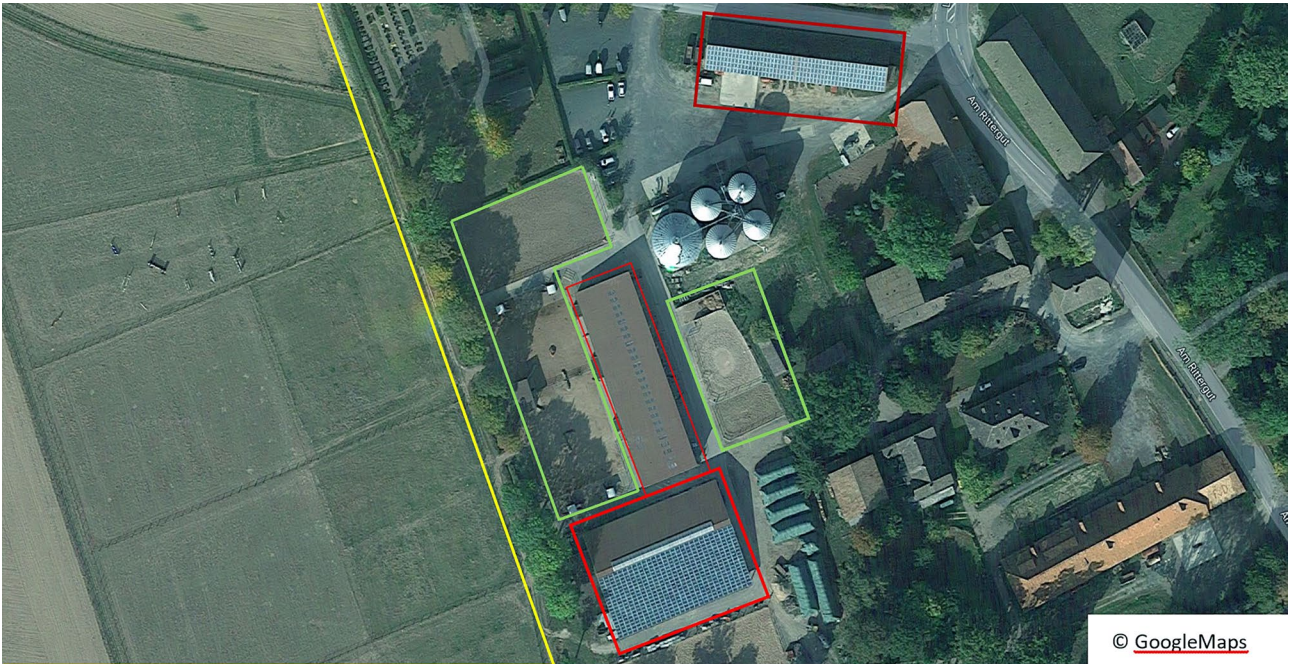


Abbildung 1: Reitanlage mit Weiden (gelb), Koppeln (grün), Ställen und Gebäuden (rot)

realisieren. Gleiches gilt auch für die Verwendung von Sensoren und Aktoren. Auch hier existiert kein einheitlicher, konzeptioneller Standard für die Bereitstellung von Messdaten wie beispielsweise der Temperatur oder der Übertragung von Steuerbefehlen, zum Beispiel für einen Fütterungsautomaten.

Um eine Vernetzung der Referenzanlage und davon ausgehend weiteren bestehenden und geplanten Reitanlagen zu ermöglichen, war ein Konzept erforderlich, das die speziellen Gegebenheiten solcher Betriebe einbezieht. Weitläufige Gelände mit nur eingeschränkter WiFi-Abdeckung oder die begrenzten personellen und technischen Ressourcen mussten bei der Auswahl von Protokollen und Technologien berücksichtigt werden. Daraus ergaben sich folgende wesentliche Anforderungen:

- Zentrale und einheitliche Datenzusammenführung
- Niederschwelliger Zugang und einfache Implementierung
- Hohe Skalierbarkeit
- Drahtlose und robuste Kommunikation bei Bedarf auch über große Distanzen
- Verwendung freier Hard- und Software

Projektbearbeitung und Ergebnisse

Die Bearbeitung des Projektes wurde in vier aufeinander aufbauenden Schritten durchgeführt.

Im ersten Schritt wurde ein geeignetes M2M-Protokoll für das IoT-Netz ausgewählt. Nach Rücksprache mit dem Projektpartner wurden zwei potentielle Protokolle, OPC-UA und MQTT, genauer auf ihre Eignung untersucht. Durch ihre unterschiedlichen Funktionsprinzipien weisen sie jeweils sowohl Vorteile, als auch einige Einschränkungen auf. Im direkten Vergleich fiel die Wahl auf das MQTT-Protokoll. Ausschlaggebend dafür waren folgende Merkmale:

- Durch das Publish-Subscribe Prinzip wird ein zentralisierter, intuitiver Aufbau des IoT-Netzwerkes möglich
- Neue Teilnehmer (Clients) können vergleichsweise einfach implementiert werden
- MQTT-Netze sind robust, lassen sich gut skalieren und haben einen vergleichsweise geringen Overhead
- Große Auswahl an bestehenden und freien Softwarelösungen

Mit Festlegung des Protokolls wurde in einem anschließenden Schritt eine geeignete Funktechnologie ausgewählt. Während lokale Gebäude, wie Ställe, Hallen und Verwaltungsgebäude, sowie die direkt anliegenden Koppeln mittels WiFi gut angebunden sind, ist die Abdeckung weitläufiger Flächen wie den Weiden mit dieser Technologie stark eingeschränkt (Vergl. Abbildung 1). Gleichzeitig wurde die Verwendung kommerzieller Dienste wie GSM oder SigFox für



diese großen Distanzen nicht in Betracht gezogen, da diese mit Nutzungsentgelten verbunden sind. Unter Berücksichtigung von Reichweiten, Stromverbrauch und Investitionskosten wurde schließlich eine Kombination aus dem bereits bestehenden WiFi-Netz mit einem lokalen LoRa-Netzwerk favorisiert. LoRa ermöglicht die Übertragung von kleinen Datenmengen über Distanzen von mehreren Kilometern, ist dabei vergleichsweise sparsam und arbeitet im lizenzfreien Spektrum von 886 MHz. Damit eignet es sich sehr gut für die Übertragung von Messdaten von batteriebetriebenen Sensoren, die nicht über das WiFi-Netzwerk angebunden werden können.

Basierend auf dem gewählten M2M-Protokoll und Funktechnologien wurde ein Konzept für die Vernetzung der Reitanlage entwickelt. Bestandteil dessen ist unter anderem die strikte Trennung von der Steuerung/Datenerfassung (grün), der Datenzusammenführung (gelb) und einer zentralen Datenverarbeitung (rot). Dies bedeutet, dass die Interpretation und Auswertung von Sensordaten, bzw. die Übermittlung von Steuerbefehlen an einer zentralen Stelle erfolgen. Dazu wird im Rahmen dieses Projekts das grafische Entwicklungswerkzeug Node-RED genutzt. Darüber hinaus wurde ein Leitfaden für die Implementierung von Sensoren und Aktoren im MQTT-Netzwerk formuliert. LoRa-Daten werden von dem Gateway mittels einer Bridge encodiert und in das MQTT-Netzwerk eingebracht.

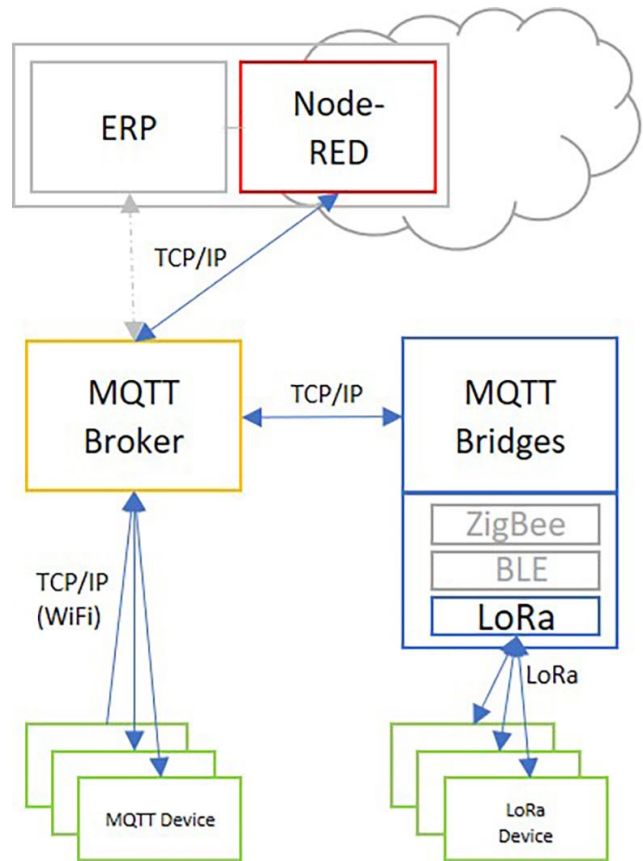


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des IoT-Netzwerkes

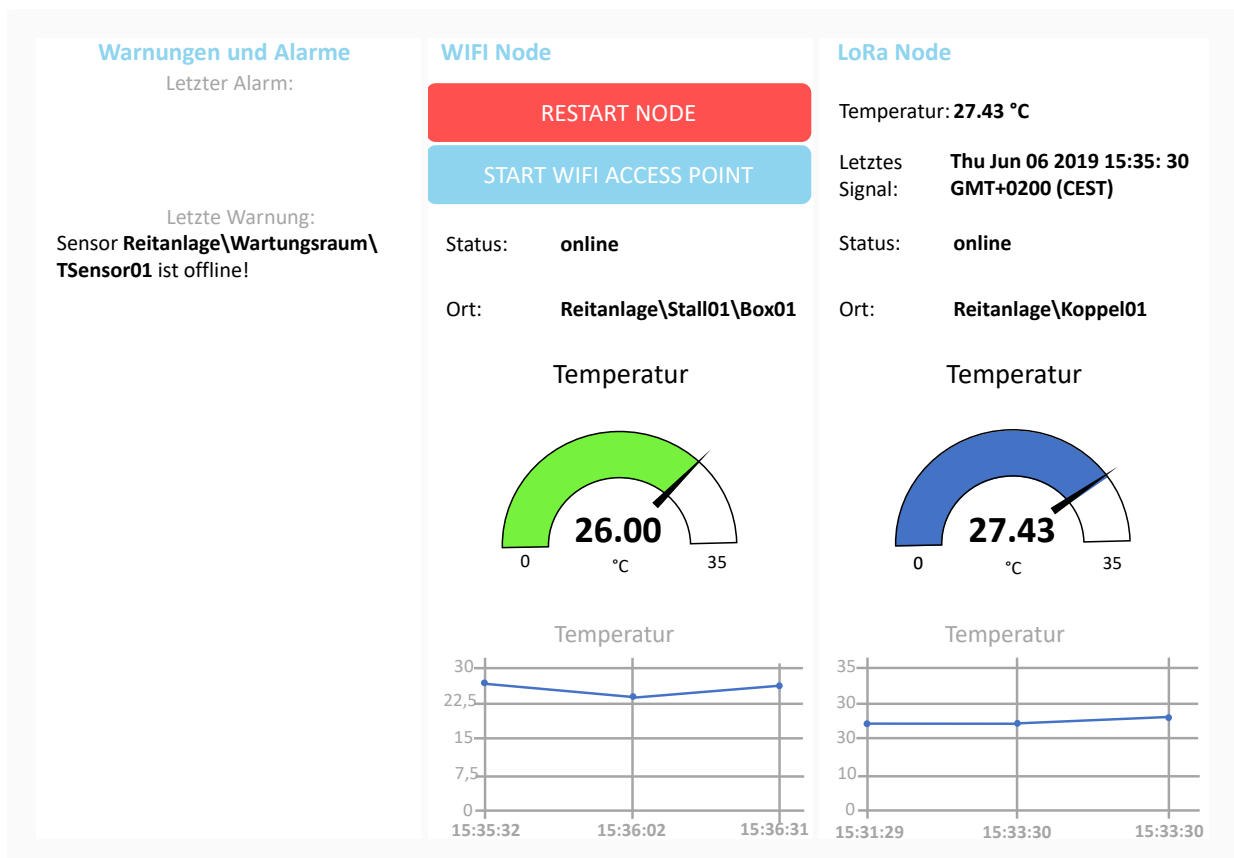


Abbildung 3: Dashboard zur Visualisierung von Sensordaten

Im vierten abschließenden Schritt wurde das Konzept anhand eines Demonstrators umgesetzt und evaluiert. Als Basis für den MQTT-Broker kam ein Raspberry Pi 3B+ zur Anwendung, als Software für den Broker wurde Mosquitto genutzt. Um die erforderliche Hardware zu reduzieren wurde der Node-RED Server für den Demonstrator auf demselben Board betrieben. Das LoRa-Gateway besteht ebenfalls aus einem Raspberry Pi 3B+ mit einer iC880A Platine von IMST. Die Software basiert auf dem LoRaServer Projekt. Als Sensoren kommen ein ESP8266 µC von Espressif mit einem DS18B20 Temperatursensor für das WiFi und ein MKRWAN1300 von Arduino mit DHT11 Temperatursensor für das LoRa-Netzwerk zum Einsatz.

Mit diesem Aufbau werden die folgenden Aufgaben in Node-Red exemplarisch realisiert:

- Warnungen und Alarmer mittels MQTT-Nachricht und automatischer E-Mail beim Unterschreiten von Minimaltemperaturen
- Visualisierung von Messdaten und Steuerbefehlen in einem Dashboard
- Loggen von Messdaten, Warnungen und Alarmen zur Dokumentation
- Konvertierung von Daten (z.B. LoRa- Daten in MQTT)

Nutzen für den Mittelstand

Die Vernetzung und Digitalisierung von Anlagen stellt nicht nur Reitanlagen gegenwärtig vor große Herausforderungen und ist für viele Unternehmen von hoher Relevanz. Gleichzeitig ist die Einstiegsschwelle für kleine mittelständische Betriebe nach wie vor hoch, da komplexe IoT-Lösungen für ihre begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen oft nicht geeignet sind. Das hier vorgestellte Projekt bietet zwar nicht alle Möglichkeiten industrieller Lösungen, durch den niederschweligen Einsatz, günstige Hard- und Softwarekomponenten und eine vergleichsweise einfache Implementierung stellt aber für viele kleine mittelständische Unternehmen, unabhängig von ihrer Branche, eine interessante Alternative dar.

Industrie 4.0

Ein Konzept zur Vernetzung von Reitanlagen wurden auf Basis frei verfügbarer Soft- und Hardware entwickelt und in einem Demonstrator umgesetzt.

- Aufbau eines IoT-Netzes auf Basis des MQTT-Protokolls
- Kombination von WiFi und LoRa Funktechnik in einem gemeinsamen Netzwerk
- Implementierung von Funktionen zum automatischen Überwachen, Loggen, Visualisieren und Umwandeln von Sensordaten m

Autoren



Marvin Abt, Dipl.-Ing. B.Sc. ist Mitarbeiter im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Marvin Abt studierte an der Technischen Universität Dresden Chemieingenieurwesen und ist seit 2017 am Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH) als Projekt Ingenieur im Bereich Produktionsautomatisierung tätig. Im Rahmen seiner Forschungs- und Beratungsprojekte befasst er sich mit Thermoelektrik und Sensortechnik.



Florian Kreuzjans, B. Sc. ist Mitarbeiter im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digital!“. Er ist gelernter Mechatroniker und studierte Europäische Informatik an der Hochschule Osnabrück. Seit 2016 ist er als Hard- und Softwareentwickler im Bereich Automatisierungstechnik am Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH) tätig.

Ihr persönlicher Weg in die digitale Zukunft

Step 1



Information

Neue Technologien – anschaulich vorgestellt

Worum geht es bei der Digitalisierung? Wie gehe ich das Thema im Unternehmen an? Auf diese Fragen geben wir Ihnen Antworten – zum Beispiel in unseren Demofabriken. Und: Mit unseren Informationsveranstaltungen und unserer Roadshow, der mobilen Fabrik, sind wir für Sie unterwegs.

Besuchen Sie unsere Roadshow in Ihrer Nähe oder unsere Demofabrik auf dem Messegelände.
www.mitunsdigital.de/roadshows

Step 2



Schulung

Fit für die digitale Zukunft

Die Qualifizierung der Beschäftigten ist entscheidend für die Zukunftsfähigkeit eines Unternehmens. Von der Produktionstechnik über Recht bis hin zu Arbeit 4.0 und Organisation – wir bieten Ihnen praxisnahe, methodisch abwechslungsreiche Schulungen und machen Mitarbeitende fit für die Zukunft Ihres Unternehmens.

Wählen Sie Ihr passendes Thema. Besuchen Sie unsere kostenfreien Schulungen jetzt.
www.mitunsdigital.de/schulungen

Step 3



Dialog

Impulse, die Sie weiterbringen

Wir kommen in Ihr Unternehmen, ermitteln Ihre firmenspezifischen Bedarfe und besprechen mit Ihnen Lösungen und mögliche Digitalisierungsschritte für Ihren Betrieb.

Unsere Digitalisierungsexperten stehen für Sie bereit. Vereinbaren noch heute einen Termin.
www.mitunsdigital.de/dialog

Step 4



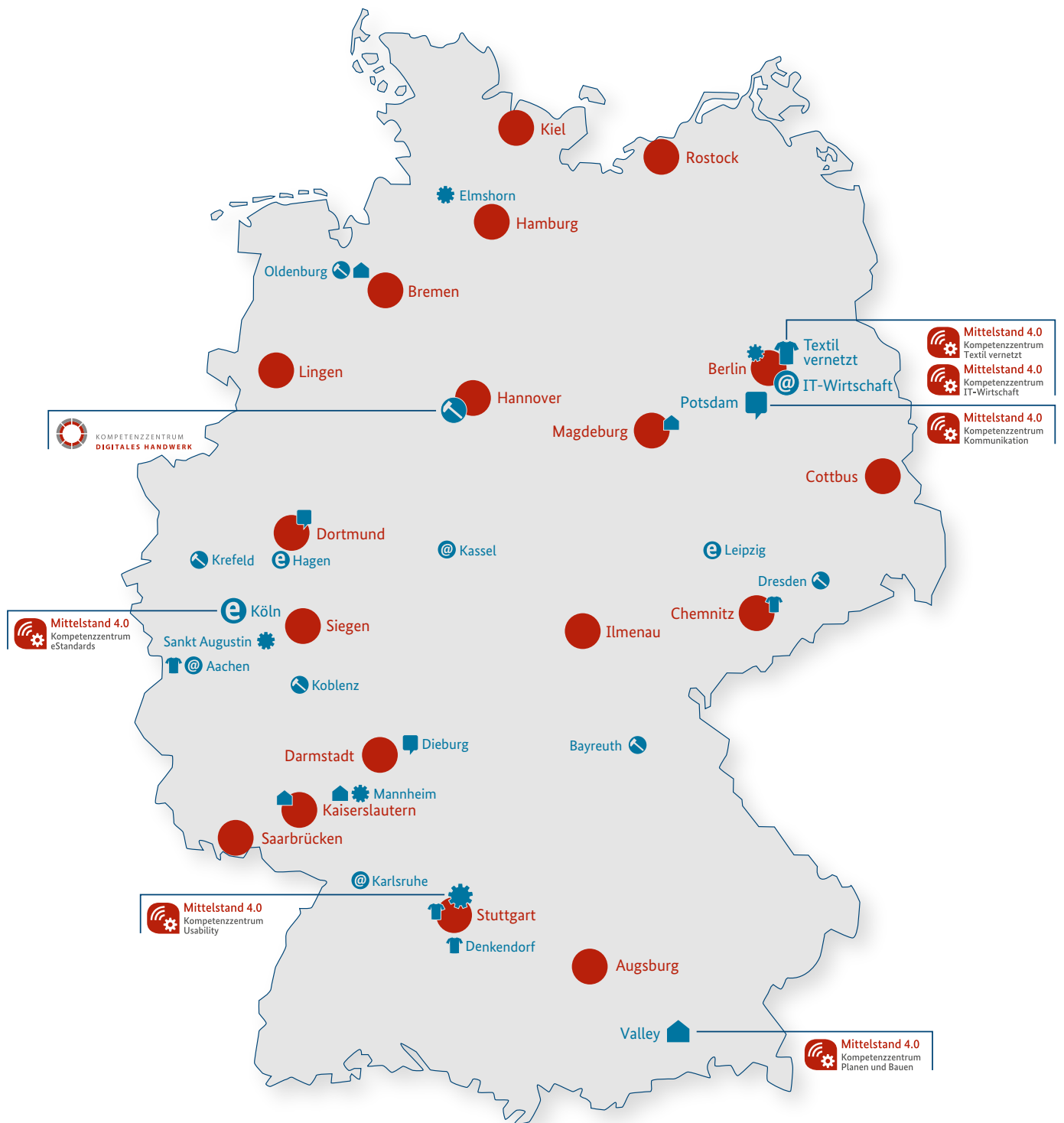
Projekt

Erfolgreich und schnell umgesetzt

Wir begleiten Firmen bei der Umsetzung von Digitalisierungsvorhaben, übernehmen das Projektmanagement und realisieren mit Ihnen Testaufbauten. Die Dauer der individuell angepassten Projekte: sechs Wochen bis zu sechs Monate.

Gehen Sie die ersten Digitalisierungsschritte mit uns. Bewerben Sie sich jetzt.
www.mitunsdigital.de/projekte

Die regionalen Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren und Themenzentren mit ihren Stützpunkten



Weitere Informationen finden Sie unter www.mittelstand-digital.de
Stand: Dezember 2019

Impressum

**Schriftenreihe des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Hannover
Ausgabe 3**

**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: Lena Dierkhüse**

Bildnachweis:
IFW: S. 8, S. 9, S. 10, S. 11, S. 12, S. 13,
S. 15, S. 16, S. 18, S. 19, S. 20, S. 21, S. 22

IPH: S. 24, S. 25, S. 26, S. 28, S. 29, S. 30

SOLARLUX: S. 4, S. 5

LAP: S. 15

Shutterstock: Titel

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.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, Dezember 2019

An der Universität 2

30823 Garbsen

Tel: 0511-762-19434

Fax: 0511-762-18037

www.tewiss-verlag.de

mail: info@tewiss-verlag.de

gedruckte Ausgabe: ISBN 978-3-95900-384-1

digitale Ausgabe: ISBN 978-3-95900-385-8