

Industrie 4.0-Lösungen zur Sammlung und Analyse von Produktionsdaten

Goudz, Alexander; Sapel, Patrick

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt.

Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: <https://doi.org/10.17185/duepublico/47707>

URN: <urn:nbn:de:hbz:464-20181212-105607-9>

Link: <https://duepublico.uni-duisburg-essen.de:443/servlets/DocumentServlet?id=47707>

Lizenz:

Sofern nicht im Inhalt ausdrücklich anders gekennzeichnet, liegen alle Nutzungsrechte bei den Urhebern bzw. Herausgebern. Nutzung - ausgenommen anwendbare Schrankenregelungen des Urheberrechts - nur mit deren Genehmigung.

Industrie 4.0-Lösungen zur Sammlung und Analyse von Produktionsdaten

Dr.-Ing. Alexander Goudz, M.Sc. Patrick Sapel

KURZFASSUNG

Die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) bietet Unternehmen enorme Chancen, sowohl ihre Kosten zu senken als auch ihre Erlöse zu steigern. Dies ist realisierbar durch die Vernetzung sämtlicher Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel zu einem Cyber-Physischen-System (CPS). Das CPS kommuniziert dabei autonom, dezentral, online und in Echtzeit. Voraussetzung, um die Potentiale von Industrie 4.0 nutzen zu können, ist die Verarbeitung von Daten, aus denen Wissen generiert wird. Durch dieses Wissen lassen sich dann Maßnahmen einleiten, welche die Fertigung effizient gestalten.

Damit diese Wissensgenerierung aus den Daten stattfinden kann, sind im ersten Schritt diese Rohdaten zu sammeln, zu transportieren und zu analysieren. Für diese Zwecke existiert eine Vielzahl von Protokollen, die für die unterschiedlichsten Rahmenbedingungen konzipiert worden sind. Folglich ist nicht jedes Protokoll für jedes Szenario geeignet. Vielmehr ist im Vorfeld genauestens zu eruieren, welche Anforderungen an das anzutreffende Szenario bestehen, um diejenige Kombination aus Protokollen zu wählen, die am besten zu dem Szenario passt. Bei der Auswahl von Protokollen ist stets darauf zu achten, dass diese im Industrie 4.0-Umfeld standardisiert sind, um aufwendige Translationen oder gar Inkompatibilitäten zwischen den Kommunikationsteilnehmern zu vermeiden. Die Auswahl der Protokolle hat letztendlich einen großen Einfluss auf die Qualität des Industrie 4.0-Prozesses, weshalb in dieser Publikation ausgewählte Protokolle untersucht und bewertet werden.

Im Anschluss daran findet die Demonstration zweier konkrete Industrie 4.0-Anwendungsfälle statt, die zeigen sollen, welchen Mehrwert die gewonnenen Maschinendaten bieten können. Dabei handelt es sich um die vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance), welches eine Methode zur Prognostizierung von Maschinenausfällen darstellt. Weiterhin soll gezeigt werden, dass die autonome Aktualisierung von Stammdaten zu einer transparenteren Fertigung beiträgt.

Umgesetzt und geprüft wurden diese Erkenntnisse auf einer Fertigungslinie der thyssenkrupp AG, wobei sowohl die Methoden der Datenextraktion als auch die geschilderten Industrie 4.0-Anwendungsfälle unabhängig vom Unternehmen implementierbar sind.

Schlüsselwörter

Cloud Computing, Datenanalyse, Datensammlung, Edge Computing, IIoT, Industrial Internet of Things, Industrie 4.0, Nachrichtenprotokolle, OPC UA, Predictive Maintenance

I. EINLEITUNG

Der Produktionsstandort Deutschland genießt auf dem Weltmarkt einen guten Ruf, insbesondere im Industriesektor. Die

Grundlage für diesen Ruf bilden die hohe Fertigungsqualität der Produkte sowie das hohe technologische Niveau, auf dem die Produkte gefertigt sind. Diese beiden Eigenschaften entwickelten sich schrittweise aus den vier industriellen Revolutionen, welche die technologischen Möglichkeiten in der Produktion radikal veränderten.

In Abbildung 1 ist die Entwicklung der vier Revolutionsstufen schematisch dargestellt.

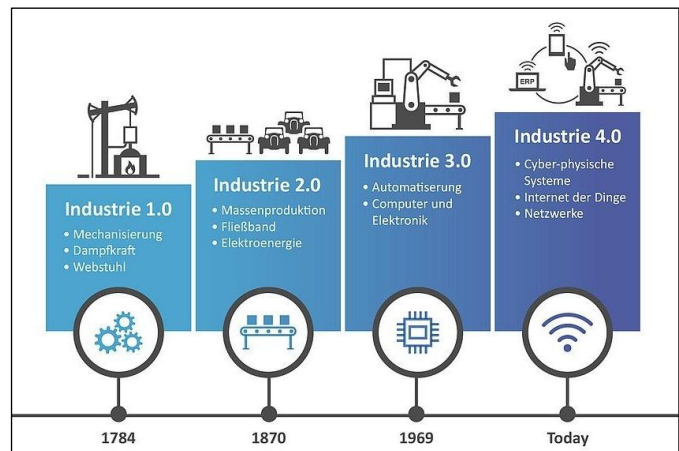


Abbildung 1: Übersicht der vier industriellen Revolutionsstufen (b.telligent GmbH & Co. KG [Hrsg.] (o. J.), abgerufen am 01.09.18).

Die Einführung von mechanischen Fertigungsanlagen, angetrieben durch Dampf- und Wasserkraft, war Bestandteil der ersten industriellen Revolution (Ende des 18. Jahrhunderts). Die zweite industrielle Revolution ist datiert auf das Ende des 19. Jahrhunderts und bewirkte eine grundlegende Veränderung der Produktionssysteme, indem neue Energiequellen in Form von Elektrizität und Verbrennungsmotoren nutzbar gemacht worden sind. In den 1970er Jahren ist die dritte industrielle Revolution angesiedelt, bei der neue Formen der Kommunikation entstanden sind. Dies ermöglichte die rechnerunterstützte und automatisierte Produktion. In der Gegenwart ist die vierte industrielle Revolution, kurz Industrie 4.0, in aller Munde. Kennzeichnend für Industrie 4.0 ist, dass sich sämtliche Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel eigenständig koordinieren und in Echtzeit völlig autonom entsprechende Maßnahmen einleiten. Im Idealfall hat der Mensch nur noch überwachende oder

organisatorische Tätigkeiten auszuführen.¹

Voraussetzung für die selbstständige Koordination der Produktionsentitäten ist, dass sie miteinander kommunizieren können. Aufgrund der Vielzahl der Entitäten kommt nur eine Kommunikation über das Internet infrage. Das „Industrielle Internet der Dinge“ ist die Plattform, welche die Produktionsentitäten online miteinander verknüpft und die Strategie, die hinter Industrie 4.0 steht, technologisch umsetzt.² Grundlage für die Kommunikation der Entitäten sind Daten, die aufgrund ihrer Funktion auch als Rohstoff des 21. Jahrhunderts bezeichnet werden.³

Bei vielen Unternehmen gibt es Bestrebungen, die Fertigung Industrie 4.0 konform zu gestalten, so auch bei der thyssenkrupp AG. Als konkretes Projekt dient das Fertigungscenter zur Herstellung von Nocken für Nockenwellen. Die Nocken einer Nockenwelle sorgen dafür, die Rotationsbewegung, die von einer Kurbelwelle ausgeht, in eine oszillierende Bewegung zu überführen. Verbrennungsmotoren stellen den Haupteinsatzort von Nockenwellen dar, wo sie für die korrekte Öffnung und Schließung der Ein- und Auslassventile des Motors zuständig sind.⁴ Das betrachtete Nockencenter beherbergt diverse Fertigungsstationen an einer gemeinsamen U-Linie und kann verschiedene Nocken-Varianten bearbeiten.

Diese Publikation soll einen Beitrag dazu leisten, allgemeine Industrie 4.0-Lösungen zu ermitteln, die das Sammeln und Analysieren von Produktionsdaten realisieren. Anschließend soll eine infrage kommende Lösung in das Nockencenter der thyssenkrupp AG implementiert werden, um die Machbarkeit der Lösung zu bestätigen und konkret auf ausgewählte Industrie 4.0-Anwendungsfälle eingegangen werden.

II. FORSCHUNGSFRAGE DER ARBEIT

Unabhängig davon, welcher Industrie 4.0-Prozess beschrieben oder vorgestellt wird, die Grundlage für jeden Prozess sind Daten. Ohne Daten und dem daraus gewonnenen Wissen sind für die interagierenden Systeme keine Maßnahmen ableitbar, wie sie sich verhalten sollen. Bevor demnach ein Industrie 4.0-Prozess lauffähig sein kann, muss zunächst eine Extraktion von Daten und deren Weiterverarbeitung erfolgen. Unter dem Gesichtspunkt, dass im Industrie 4.0-Umfeld jede Entität Daten produziert und eine Reaktion in Echtzeit angestrebt ist, stellen sich diverse Herausforderungen an die Datenbeschaffung und -analyse, die durch folgende Forschungsfrage formuliert werden kann:

Welche technischen Möglichkeiten aus dem Industrie 4.0-Umfeld zur Sammlung und Analyse von Produktionsdaten existieren und können aufwandsminimal eingesetzt werden?

Auf Basis dieser Forschungsfrage lassen sich konkrete Ziele und ein Vorgehen ableiten, um diese Forschungsfrage zu beantworten. Diese Vorgehensweise sowie die Bestimmung der konkreten Ziele sind im nächsten Absatz dargelegt.

III. ZIELE UND ALLGEMEINE VORGEHENSWEISE

Ein Ziel besteht darin, automatisiert und nach Industrie 4.0-Standards Daten aus dem Fertigungscenter für Nocken der thyssenkrupp AG zu extrahieren. Zur Erreichung dieses Zieles sind zunächst die allgemeinen Eigenschaften und Charakteristiken von Industrie 4.0 zu ergründen, um später definieren zu können, welche Möglichkeiten zur Datenextraktion den Industrie 4.0-Standards folgen.

Um eine praxistaugliche Lösung entwickeln zu können, sind in den vorherigen Schritten infrage kommende Komponenten für die Datenextraktion zu untersuchen, um deren Vor- und Nachteile zu ermitteln. Untersuchungsgegenstände sind sowohl die hardwaretechnischen Komponenten, die die physische Datenübertragung sicherstellen, sowie die benötigten Softwarekomponenten in Form von Protokollen oder der Cloud. Dadurch wird ersichtlich, welche Lösung sich am besten für das jeweilige Szenario eignet. Folglich besteht das Ziel der Forschung darin, die gängigsten Methoden, Komponenten und Protokolle aus dem Industrie 4.0-Umfeld herauszustellen, zu analysieren und hinsichtlich der Forschungsfrage zu bewerten.

Ein weiteres Ziel besteht darin aufzuzeigen, welchen Mehrwert die Daten im Anschluss an den Extraktionsprozess besitzen können. Dazu sind zwei Industrie 4.0-Anwendungsfälle dargestellt, die stellvertretend den Nutzen von Industrie 4.0 für ein Unternehmen aufzeigen sollen.

IV. STAND DER WISSENSCHAFT

Dieser Abschnitt soll den Stand der Wissenschaft im Industrie 4.0-Umfeld wiedergeben. Dabei ist es an dieser Stelle nicht möglich, jede einzelne Facette von Industrie 4.0 zu beschreiben. Vielmehr soll, angefangen bei den allgemeinen Zielen von Industrie 4.0, der Stand der Wissenschaft hinsichtlich der Datenübertragung und Kommunikation erläutert werden, um die Relevanz für den Praxisteil aufzuzeigen. Zusätzlich dazu erfolgt eine Abgrenzung von Industrie 4.0 zur Logistik 4.0, bei denen sowohl die Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede aufgeführt werden.

Das Schlagwort „Industrie 4.0“ erlangte im Jahr 2011 erstmalig Bekanntheit in der Öffentlichkeit. Damals präsentierten die Autoren Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas und Wolfgang Wahlster auf der Hannover-Messe ihre Einschätzung des derzeitigen Industrie-Umfeldes in Deutschland und zeigten auf,

¹ Vgl. Andelfinger, Hänisch [Hrsg.] (2017): 39.

² Vgl. Kagermann et al. [Hrsg.] (2013): 5, abgerufen am 04.06.18.

³ Vgl. Heise Medien GmbH & Co. KG [Hrsg.] (2015), abgerufen am 01.09.18.

⁴ Vgl. Mahle GmbH [Hrsg.] (2013): 95 f.

wie sich die Industrie verändern muss, damit Deutschland ein wettbewerbsfähiger Produktionsstandort bleibt.⁵ In einem Satz zusammengefasst, lässt sich der Begriff „Industrie 4.0“ folgendermaßen definieren:

Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, deren Hauptcharakteristik die Vernetzung und autonome Koordination der Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel in Echtzeit darstellt.

Während Industrie 4.0 vorwiegend im Produktionsbereich angesiedelt ist, bezieht Logistik 4.0 die gesamte Supply Chain ein. In Abbildung 2 sind stellvertretend einige Elemente von Logistik 4.0 und Industrie 4.0 dargestellt.

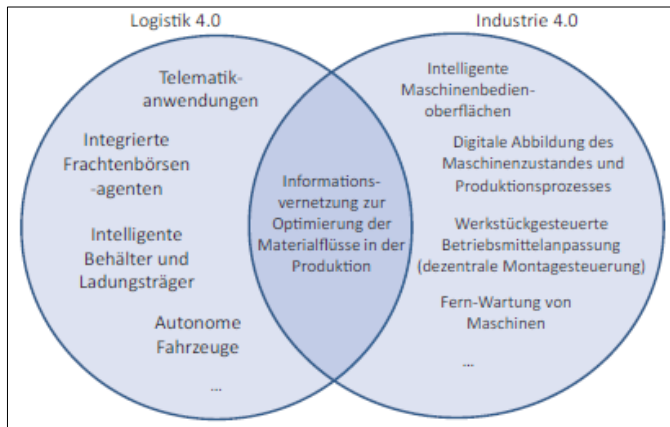


Abbildung 2: Abgrenzung von Logistik 4.0 zur Industrie 4.0 (Bousonville, T. (2017): 13).

Um die beabsichtigten Effizienzsteigerungen durch Industrie 4.0 erzielen zu können, müssen die vor- und nachgelagerten Instanzen ebenfalls effizient arbeiten, da ansonsten der Effekt von Industrie 4.0 verpufft. Mit der Logistik 4.0 wird erreicht, dass bereits die Bereitstellung der benötigten Rohstoffe und Güter effizient abläuft, welche dann Industrie 4.0 konform weiterverarbeitet werden können. Logistik 4.0 ist daher eine notwendige Bedingung, ohne die Industrie 4.0 nicht funktionsfähig wäre.⁶ Die Gemeinsamkeit von Logistik 4.0 und Industrie 4.0 liegt in der Nutzung eines einheitlichen Informationssystems, sodass sämtliche Entitäten sowohl aus dem Produktions- als auch dem Logistikbereich auf dieselbe Datenbasis zugreifen.⁷ So ist es beispielsweise denkbar, dass eine Produktionsmaschine autonom mit einem fahrerlosem Transportsystem einer Spedition kommuniziert, damit dieses zu einem bestimmten Zeitpunkt aus dem in der Fabrik ansässigen Konsignationslager Vormaterial anliefert, was einen Stillstand vermeidet.

Die Vernetzung sämtlicher in der Produktion involvierter Entitäten wird bezeichnet als Cyber-Physisches-System (CPS). Dabei ist sowohl die vertikale als auch die horizontale Vernetzung anzustreben. Abbildung 3 zeigt, wie das aktuell vorherrschende

Setup im Unternehmen, zu sehen auf der linken Seite, übergeben muss in das auf der rechten Seite dargestellte Szenario.⁸

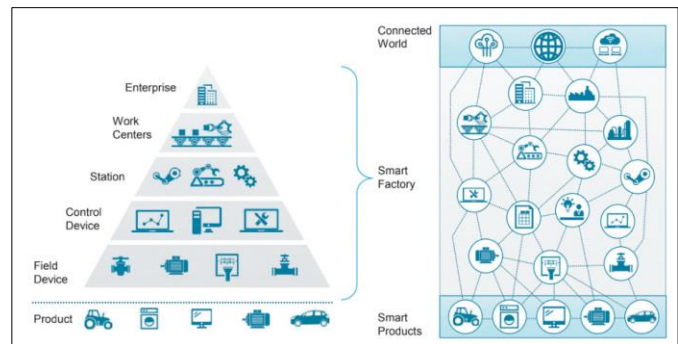


Abbildung 3: Automatisierungspyramide vs. vernetzte Fertigung (Heidel et al. (2017): 45).

Die in Abbildung 3 auf der linken Seite zu sehende Automatisierungspyramide beschreibt den Datenfluss in einem Unternehmen, der durchlaufen wird, sobald ein Produkt zu fertigen ist. Sind die Informationen zu Beginn noch grober Natur, verfeinern sich diese, je tiefer in die Automatisierungspyramide hinabgestiegen wird. Der Nachteil an der Automatisierungspyramide besteht darin, dass diese relativ starr ist. Bei Änderung des Grobplans bzw. Meldungen von Sensoren müssen die Informationen ebenenübergreifend an die Empfänger übermittelt werden, was eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Hierbei besteht die Gefahr, dass die Forderung nach Echtzeit nicht einzuhalten ist. Des Weiteren müssen in diesem Szenario die Mitarbeiter oftmals manuell eingreifen, falls außerplanmäßige Änderungen auftreten. Dieser manuelle Prozess bietet Potential für Fehler, ist langsamer als ein automatisierter Prozess und liefert möglicherweise keine optimalen Ergebnisse.⁹

Eine vollvernetzte Struktur, wie sie in einem Industrie 4.0 konformen Unternehmen vorzufinden ist, soll diese Gefahren reduzieren und auftretende Probleme so weit wie möglich selbst regulieren. Erreichbar ist dies, wie die rechte Seite in Abbildung 3 visualisiert, durch eine Vernetzung der Produktion. Dieses Szenario nennt sich „Smart Factory“. Im Gegensatz zur klassischen Fertigung sind die Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel „intelligent“ und vollständig vernetzt. Der Informationsfluss muss also nicht die hierarchisch angeordnete Automatisierungspyramide entlanglaufen, sondern der Informationsaustausch findet direkt zwischen den Elementen der Produktion statt. Diese Zeitersparnis realisiert zudem die Forderung von Industrie 4.0, Prozesse in Echtzeit durchführen zu können.¹⁰

Damit die Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel, aber auch das Werkstück selbst „intelligent“ werden, sind sie auf eine sehr große Anzahl an Daten angewiesen. Für dieses Szenario hat sich der Begriff „Big Data“ etabliert, dessen Mehrwert

⁵ Vgl. Kagermann, Lukas (2011), abgerufen am 01.06.18.

⁶ Vgl. Czaja (2016): 6 f., abgerufen am 06.12.18.

⁷ Vgl. Bousonville (2017): 13 f.

⁸ Vgl. Kagermann et al. [Hrsg.] (2013): 5, abgerufen am 04.06.18.

⁹ Vgl. Heidel et al. (2017): 18 ff.

¹⁰ Vgl. Heidel et al. (2017): 18 ff.

sich gegenüber der klassischen Datenverarbeitung in detaillierteren Simulationen, Prognosen und verbesserten Ergebnisse bei der Entscheidungsfindung äußert. Aufgrund der großen Datenmenge ist eine Datenverarbeitung On-Premise nicht mehr handhabbar, sondern wird online in einer Cloud durchgeführt (sog. Cloud Computing).¹¹

Charakteristisch für das Cloud Computing ist, dass die Gegenstände für die Datenverarbeitung (wie z. B. Rechner, Speicherplatz oder Software) nicht mehr physisch im Unternehmen vorhanden sind, sondern von einem Drittanbieter virtuell bzw. online zur Verfügung gestellt werden. Der Vorteil von Cloud Computing besteht in der Skalierung der Systeme und flexiblen Vertragsmodellen, um beispielsweise Lastspitzen abzufangen. Im Vergleich zur klassischen Produktion ist es nun nicht mehr notwendig, die hardwaretechnische Infrastruktur zu beschaffen und im Unternehmen einzurichten. Allerdings ist das Nutzen einer Cloud auch mit Risiken verbunden, da die Daten nun nicht mehr im Unternehmen verbleiben, sondern die Unternehmensgrenzen verlassen. Hierbei besteht die Gefahr, dass die Daten von unbefugten Dritten entwendet und missbraucht werden, was im schlimmsten Fall den Ruin des Unternehmens bedeutet.¹²

Während beim Cloud Computing die anfallenden Daten direkt in die Cloud gesendet werden, erfolgt beim Edge Computing die Datenverarbeitung zunächst an deren Entstehungsort. Kleine, aber leistungsstarke Rechner (sog. Edge Devices) nehmen die Daten auf und führen eine Vorverarbeitung mit ihnen durch. Kennzeichnend für Edge Devices ist, dass sie i.d.R. mit leichtgewichtigen Datenbanken und Analysetools ausgerüstet sind. Dies ermöglicht die Offline-Datenverarbeitung über einen Zeitraum von wenigen Stunden bzw. Tagen und trägt dazu bei, die Gesamtverfügbarkeit der Produktion sicherzustellen, sollte die Verbindung zur Cloud kurzzeitig ausfallen.¹³

Der eigentliche Kommunikationsprozess, der auch bei der Extraktion von Maschinendaten durchlaufen wird, ist darstellbar durch das OSI-Schichtenmodell, welches in Abbildung 4 zu sehen ist.

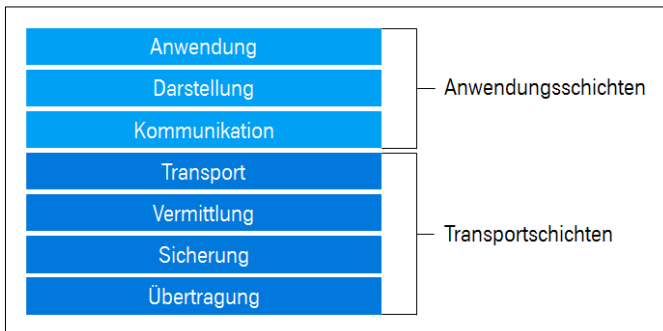


Abbildung 4: OSI-Schichtenmodell (eigene Darstellung).

Das OSI-Modell gliedert die Aufgaben, die bei einem Kommunikationsprozess anfallen, in voneinander unabhängige Vorgänge in unterschiedliche Schichten ein. Grundlegend lassen sich die Schichten des OSI-Modells zwei Kategorien zuordnen. Die unteren vier Schichten dienen dem Transport und werden von der Netzwerkkarte verwaltet, während die oberen drei Schichten Anwendungsdienste darstellen, verwaltet durch die Applikation selbst. Die Organisation einer jeden Übertragung auf jeder Schicht übernehmen Protokolle. Ein Protokoll enthält sämtliche Vereinbarungen und Regeln über den Ablauf der Datenübertragung.¹⁴

Für die physische Datenübertragung sind drei Ausprägungen denkbar. Neben den kabelgebundenen Übertragungsmethoden in Form der Feldbus- und Ethernet-Technologie ist auch eine kabellose Option denkbar. Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der Marktanteile der drei Technologien in den Jahren von 2014 bis 2018.

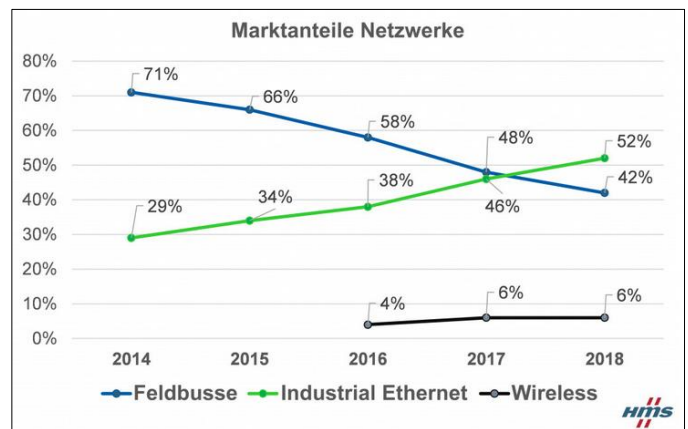


Abbildung 5: Marktanteile Netzwerke 2014 – 2018 (Weinzierl (2018), abgerufen am 01.09.18).

Waren in der Vergangenheit noch Feldbusssysteme vorherrschend, ist aktuell der Marktanteil der Ethernet-Technologie am größten, was durch die einfachere Anbindung an das Internet begründet ist. Kabellose Übertragungsmethoden konnten sich im industriellen Umfeld noch nicht durchsetzen, was u. a. durch die noch mangelhafte Sicherheit und der vergleichsweise geringen Signalqualität begründet ist. Hier könnte sich in Zukunft aber ein Paradigmenwechsel vollziehen, denn mit dem LTE-Nachfolger 5G wird zurzeit ein Standard entwickelt, welcher in der Theorie mit dem Industrial Ethernet konkurrieren könnte.¹⁵ Durch die Affinität des Industrial Ethernets zum Internet und den höheren Übertragungsgeschwindigkeiten im Vergleich zum Feldbusssystem sowie den drahtlosen Technologien ist Industrial Ethernet diejenige Technologie, die am ehesten für den Transport von Massendaten geeignet ist und daher eingesetzt werden sollte. In Tabelle 1 sind die Vor- und Nachteile der jeweiligen Technologie gegenübergestellt.

¹¹ Vgl. Fasel, Meier (2016): 5 f.

¹² Vgl. Karlstetter, Radtke (2016), abgerufen am 01.09.18.

¹³ Vgl. Vogel-Heuser et al. [Hrsg.] (2017): 202 f.

¹⁴ Vgl. Leimeister (2015): 100 f.

¹⁵ Vgl. 5G Infrastructure Ass. [Hrsg.] (2015): 8 f., abgerufen am 24.07.18.

Tabelle 1: Vergleich der Übertragungstechnologien (eigene Darstellung)

Technologie	Vorteile	Nachteile
Feldbus	- Kostengünstig	- Kabelgebunden - vergleichsweise langsam
Ethernet	- Hohe Übertragungsraten - Gute Onlineanbindung	- Kabelgebunden - viele verschiedene Herstellerlösungen
Wireless	- kabellos, dadurch hohe Flexibilität	- Sicherheitsaspekt - Übertragungsqualität relativ schlecht

Für die Adressierung von der Quelle zur Senke ist mit dem Internet Protocol (IP) ein etabliertes und leistungsstarkes Protokoll vorzufinden, welches auf der Vermittlungsschicht des OSI-Modells verankert ist. Damit ein Kommunikationsteilnehmer ansprechbar ist, braucht dieser eine eigene, eindeutige Adresse, was durch die IP-Adresse erreicht wird.¹⁶

Während die Adressierung durch die Vermittlungsschicht erfolgt, ist der reine Transport Bestandteil der vierten Schicht (Transportschicht) im OSI-Modell. Aus der großen Zahl an Protokollen stehen zwei zur Verfügung, die sich für Industrie 4.0-Anwendungsfälle besonders gut eignen. Der Einsatz des Transmission Control Protocol (TCP) ist dort angebracht, wo die Reihenfolge und das Vorhandensein der Daten zwingend erforderlich ist. Dies ist beispielsweise bei der Qualitätskontrolle für Bauteile der Fall, bei der keine oder eine falsche Zuordnung von Datensätzen zu einem hergestellten Produkt im schlimmsten Fall fatale Folgen für das Unternehmen haben könnte. Das User Datagram Protocol (UDP) ist immer dann auszuwählen, wenn die Reihenfolge der eingehenden Datensätze nicht relevant ist.¹⁷

Tabelle 2 fasst die Vor- und Nachteile der Transportprotokolle zusammen.

Tabelle 2: Vergleich der Transportprotokolle (eigene Darstellung)

Protokoll	Vorteile	Nachteile
TCP	- Zuverlässig - Korrekte Reihenfolge der Datenpakete - Etabliert im Internet	- Vergleichsweise langsam
UDP	- Schnelle Datenübertragung	- Einzelne Datenpakete gehen ggf. verloren - Reihenfolge nicht zwingend vorhanden

Für den Nachrichtenaustausch sind Nachrichtenprotokolle verantwortlich, angesiedelt in der obersten Schicht im OSI-Modell.

Zu den bekanntesten Nachrichtenprotokollen im Industrie 4.0-Umfeld gehörten MQTT, AMQP, CoAP und OPC UA.

Das Message-Queue-Telemetry-Transport-Protokoll (MQTT) nutzt das TCP-Protokoll für die Datenübertragung. Das bedeutet, dass MQTT bei Szenarien Anwendung finden sollte, die eine zuverlässige Datenübertragung erfordern. MQTT nutzt das Publish/Subscribe-Verfahren, um die Nachrichten zu übertragen. So ist es den Clients flexibel möglich, beliebige, für sie interessante Themen zu abonnieren. Durch die Zwischenschaltung eines Brokers muss der Publisher die Clients nicht einmal kennen. Auch das Puffern der Nachrichten in einer Warteschlange ist bei MQTT vorgesehen.¹⁸

Der Einsatz des Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) bietet sich immer dann an, wenn der Fokus auf der Art und Weise der Nachrichtenverteilung liegt. So ist die Nachrichtenverteilung bei AMQP nach vorher definierten Regeln einstellbar. Aufgrund dieser Regeln und erhöhten Komplexität fällt jedoch die Größe der Nachrichten deutlich höher aus als bei MQTT. Daher eignet sich AMQP eher für Anwendungsfälle, bei denen die komplexe Verteilung der Nachrichten im Vordergrund steht und weniger für das einfache Übermitteln von generierten Sensordaten an eine Senke.¹⁹

Das Ziel von CoAP (Constrained Application Protocol) besteht in einer möglichst schnellen Übertragung von Sensordaten. Haupteinsatzort dieses Protokolls sind ressourcenbeschränkte Geräte, die aufgrund ihrer Eigenschaften auf ein sehr schlankes Protokoll angewiesen sind. Der Nachteil an CoAP jedoch ist, dass dieses Nachrichtenprotokoll, bedingt durch die Nutzung von UDP, unzuverlässig ist. Daher sollte CoAP nur in solchen Anwendungsfällen eingesetzt werden, bei denen der Verlust einzelner Datenpakete keine schwerwiegenden Folgen mit sich bringt und die Reihenfolge der eingehenden Datenpakete keine Relevanz für den Anwendungsfall besitzt.²⁰

Weit über die Funktionen eines reinen Nachrichtenprotokolls hinaus geht OPC UA, weshalb sich die Funktionen von OPC UA über mehrere Ebenen des OSI-Modells erstrecken. Dies ist vor allem durch die Integration von weitreichenden Sicherheitsmaßnahmen wie Verschlüsselungen oder der Authentifizierung von Nutzern realisiert. Der große Vorteil von OPC UA gegenüber den anderen Protokollen ist, dass die übertragenen Nachrichten auch semantisch interpretierbar sind. Das bedeutet, dass der Nachrichtenaustausch nicht mehr auf einer rein technischen Ebene abläuft, sondern die Empfänger Informationen bzw. Wissen aus den Daten ableiten können, worauf sie reagieren können. OPC UA setzt demnach die Haupteigenschaft von Industrie 4.0 um, welche die autonome Steuerung sämtlicher Entitäten im Produktionsumfeld darstellt.²¹ Tabelle 3 stellt die Vor- und Nachteile der Nachrichtenprotokolle übersichtlich dar.

¹⁶ Vgl. Obermann, Horneffer (2013): 123 ff.

¹⁷ Vgl. Mandl (2018): 43 ff.

¹⁸ Vgl. Banks [Hrsg.], Gupta [Hrsg.] (2015): 52 ff., abgerufen am 01.08.18.

¹⁹ Vgl. Aiyagari et al. (2008): 11 ff., abgerufen am 08.08.18.

²⁰ Vgl. Bormann et al. (2014): 5 ff., abgerufen am 09.08.18.

²¹ Vgl. Lange et al. (2010): 1 ff.

Tabelle 3: Vergleich der Nachrichtenprotokolle (eigene Darstellung)

Protokoll	Vorteile	Nachteile
MQTT	- Pub/Sub-Modell - Broker ermöglicht diverse Austauschformen - zuverlässig	- relativ langsam - unsicher
AMQP	- sehr vielseitig - zuverlässig - sicher - individuell erweiterbar	- langsam, da vielseitig
CoAP	- Schnell und schlank - Sehr gut bei Ressourcenbeschränkungen - Affinität zum Internet	- Einzelne Datenpakete gehen ggf. verloren - unsicher
OPC UA	- Semantisch interpretierbar - Sicherheitsfunktionen - Industrie 4.0-Standard	- sehr komplex - aufwändige Implementierung

Wie zu erkennen ist, hängt der Einsatz eines Protokolls vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Daher ist vor der Auswahl und Implementierung eines Protokolls stets eine Analyse des Anwendungsfalls zu betreiben, damit das passende Protokoll im Vorfeld gewählt wird und keine späteren Änderungen auftreten. Allgemein ist jedoch darauf zu achten, dass das auszuwählende Protokoll standardisiert, langlebig und in der Industrie 4.0-Umgebung akzeptiert ist.

Das Aufsetzen eines optimalen Setups für die Datenextraktion ist die Grundlage für jeden Industrie 4.0-Anwendungsfall. Ohne die Extraktion von Daten sind keine Industrie 4.0-Anwendungsfälle ausführbar. Klassische Industrie 4.0-Anwendungsfälle sind die vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) oder die automatisierte Anpassung von Stammdaten, auf die später an einem konkreten Beispiel im Detail noch eingegangen wird.

Predictive Maintenance bietet die Chance, basierend auf Trends und Mustern, die aus der großen Masse an Daten hergeleitet wurden, Vorhersagen über zukünftige Ereignisse zu treffen. Dies kann z. B. die Vorhersage des wahrscheinlichen Zeitpunktes für einen Bauteildefekt sein. Aufgrund des prognostizierten Ausfalls sind Wartungsarbeiten bereits durchführbar, bevor es zu einem Defekt kommt, welcher ungeplante Stillstände und damit verbunden Kosten verursacht.²²

Ferner existieren noch viele weitere Industrie 4.0-Anwendungsfälle, auf die an dieser Stelle aber nicht weiter eingegangen werden kann.

V. ERLÄUTERUNG DER PROBLEME

Die Erläuterung der Probleme und damit verbunden die Herausstellung der Ist-Situation ist Thema dieses Abschnitts.

Zunächst stellt sich allgemein die Frage, wie die Daten überhaupt aus einer Fertigungsanlage zu extrahieren sind. Die Schwierigkeit hierbei ist das Finden eines optimalen Setups, bestehend aus Hard- und Softwarekomponenten. An dieser Stelle ist es wichtig, die jeweiligen Rahmenbedingungen zu analysieren und basierend darauf die geeignetste Kombination aus Hard- und Software (in Form von Protokollen) zu wählen, so dass das Setup weder unter- noch überdimensioniert ist.

Nach der erfolgreichen Extraktion der Daten besteht das Problem darin, diese richtig zu interpretieren, um aus ihnen Wissen generieren zu können. Die Herausforderung bei diesem Schritt liegt in der korrekten Anwendung von mathematischen Berechnungsmethoden. Die Anwendung unpassender Berechnungsmethoden mündet meist in eine Fehlinterpretation des Sachverhalts, worauf die eingeleiteten Abstellmaßnahmen wirkungslos bleiben. In der Praxis greift jeder Industrie 4.0-Anwendungsfälle auf Daten zurück. Konkrete Anwendungsfälle sind u. a. die Früherkennung von Defekten an Werkstücken oder Maschinen (Predictive Maintenance) oder die automatisierte, kontinuierliche Aktualisierung von Fertigungsstammdaten.

Gegenstand der praktischen Umsetzung bei der thyssenkrupp AG ist eine Fertigungslinie, an der Nocken für Nockenwellen hergestellt werden. Für dieses Nockencenter war bislang kein Verfahren zur Extraktion von Daten existent, eine Analyse der anfallenden Daten und damit verbunden Industrie 4.0-Anwendungsfälle wie z. B. Predictive Maintenance demnach nicht anwendbar.

Ein weiteres Problem, welches häufig in Fertigungen allgemein auftritt, ist, dass Stammdaten, nachdem diese einmal aufgenommen worden sind, nicht mehr oder nur selten eine Aktualisierung erfahren. Dieser Aktualisierungsprozess vollzieht sich zudem in den meisten Fällen noch manuell. Dies kann dazu führen, dass die in den Fertigungsunterlagen vorhandenen Soll-Werte nicht mit den Ist-Werten übereinstimmen. Dies kann dazu führen, dass Maschinenbelegungspläne zeitlich nicht den realen Gegebenheiten entsprechen und nicht einzuhalten sind. Im schlimmsten Fall besteht das Risiko, Fertigungsaufträge nicht fristgerecht fertigstellen zu können, was insbesondere Zulieferern, die Kunden nach der Just-in-Time-Strategie beliefern, hohe Vertragsstrafen einhandeln kann.

Der nächste Abschnitt beschreibt, wie die identifizierten Probleme sowohl aus der Theorie als auch in der Praxis stellvertretend an der Fertigungslinie bei der thyssenkrupp AG analysiert und gelöst worden sind.

VI. REALISIERUNG

Dieser Abschnitt stellt eine Lösung zur Sammlung und Analyse von Produktionsdaten vor und beleuchtet, aus welchen Gründen die einzelnen Komponenten für die Umsetzung gewählt worden sind. Die Umsetzung erfolgte am Beispiel eines Nockencenters

²² Vgl. Vogel-Heuser et al. [Hrsg.] (2017): 287.

der thyssenkrupp AG. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die erarbeitete Lösung generalistisch und unternehmensübergreifend auf sämtliche Maschinen und Fertigungslinien übertragen werden kann und keine Speziallösung für thyssenkrupp darstellt.

Im Anschluss daran wird gezeigt, mit welchen Mitteln die Daten einer aussagekräftigen Analyse unterzogen werden können.

Abbildung 6 zeigt das Layout der Umsetzung bei der thyssenkrupp AG. Nach einer Kurzbeschreibung, welche den Weg der Daten zunächst ganzheitlich erläutert, werden im Anschluss die Einzelelemente detaillierter beschrieben sowie der Grund für die Wahl dieser Lösung genannt.

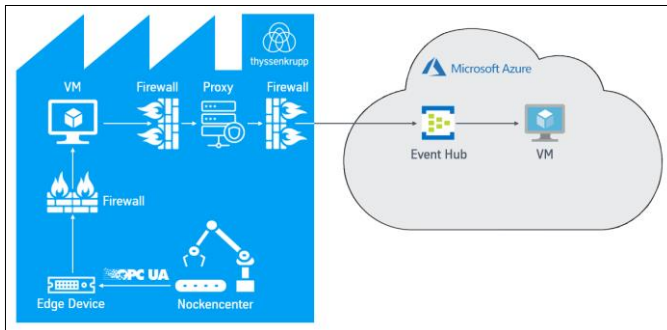


Abbildung 6: Lösung zur Sammlung von Produktionsdaten bei der thyssenkrupp AG (eigene Darstellung).

Die Sensoren des Nockcenters generieren Daten. Diese Daten werden per OPC UA an ein Edge Device übermittelt. Das Edge Device sorgt dafür, dass das Netzwerk geschont wird, indem die Daten zunächst in einer internen, leichtgewichtigen Datenbank abgelegt werden. Auf diese Datenbank kann via grafischem Analysetool zugegriffen werden, welches ebenfalls vorkonfiguriert auf dem Edge Device vorhanden ist. Mit diesem Tool lassen sich umfangreiche Analysen durchführen. Da das Edge Device nicht für die Langzeitspeicherung der Daten geeignet ist, werden diese im Anschluss an die Microsoft Azure Cloud gesendet. Aus Sicherheitsgründen sind Firewalls, eine virtuelle Maschine sowie ein Proxyserver zwischengeschaltet. In der Cloud nimmt ein Event Hub die Daten entgegen, welche wiederum mittels einer virtuellen Maschine auslesbar sind.

Das betrachtete Nockcenter der thyssenkrupp AG stellt eine Vielzahl an Variablen zur Verfügung. Insgesamt ist der Zugriff auf 133 verschiedene Statusmeldungen möglich, welche die Sensoren des Nockcenters generieren. Verbunden mit dem Ziel, die erarbeitete Lösung auf die gesamte Fertigung auszurollen, wird die Anzahl der zu übertragenden Daten in Zukunft sehr hoch ausfallen. Aufgrund der großen Masse der zu verarbeitenden Daten ist die Nutzung einer Cloud unumgänglich. Hierfür wurde in diesem Projekt die Microsoft Azure Cloud genutzt. Die Daten werden an einen in der Cloud verankerten Event Hub geleitet. Ein Event Hub ist eine Big Data-Streamingplattform, die Ereignisse erfassen kann. Er besitzt die Fähigkeit, Millionen von Daten aus verteilten Systemen echtzeitnah zu

verarbeiten und zu speichern und eignet sich aufgrund seiner Eigenschaften ideal als Datensenke.²³ Im ersten Schritt wurden zwei Programme entwickelt, welche die Kommunikation mit dem Event Hub zulassen. Die Programme nutzen dafür noch keine realen Maschinendaten, sondern zufallsgenerierte Werte, da in diesem Schritt einzig die Interaktion mit dem Event Hub im Vordergrund stand.

Die Programmiersprache, mit der sämtliche Programme entwickelt worden sind, ist Python (Version drei). Der Grund, Python zu nutzen, ist begründet in den Eigenschaften dieser Programmiersprache, welche diverse Vorteile mit sich bringt. Python ist aufgrund seines schlanken Charakters vergleichsweise schnell zu erlernen. Der schlanke Aufbau bedingt weiterhin, dass der Quellcode gut les- und verstehbar ist.

Die Datenübertragung von Maschinendaten direkt in die Cloud ist mit einigen Nachteilen und Risiken verbunden (s. o.). Aufgrund dessen findet vor der Übermittlung der Daten in die Cloud eine Vorverarbeitung bzw. Pufferung direkt am Netzwerkrand statt (Edge Computing). Der Vorteil hierbei besteht darin, dass mit dieser Lösung das Risiko der Netzwerküberlastung deutlich geringer ist, da im Gegensatz zum Cloud Computing die Daten nicht direkt online an die Cloud übermittelt werden. Ein Transport der vorverarbeiteten Daten in die Cloud findet im Anschluss bzw. bei Bedarf statt, worauf später noch genauer eingegangen wird. Abbildung 7 zeigt das bei der Realisierung eingesetzte Edge Device.



Abbildung 7: Edge Device (eigene Darstellung).

Das Edge Device des Herstellers Advantech ist ausgerüstet mit einer leichtgewichtigen Datenbank namens „influx“ sowie einem Tool, welches die erfassten Prozesswerte grafisch darstellen kann (Grafana).

Für die Simulation des Nockcenters diente ein Raspberry Pi, ein kleiner Ein-Platinen-Rechner. Auf diesem wurde ein OPC UA Server (python-opcua) aufgesetzt, der Variablen zufallsgeneriert an das Edge Device sendet. Das Aufsetzen des Servers sowie die Generierung der Variablen übernimmt ein entwickeltes Programm. Die Konfigurationen und Schritte, die auf dem

²³ Vgl. Vijayarathy (2018), abgerufen am 01.09.18.

Edge Device zu tätigen sind, um Daten zu empfangen, sind sowohl für den Simulator als auch das Nockencenter identisch. Da keine allgemeingültige Vorgehensweise bezüglich der Konfigurationen und Schritte vorhanden war, konnte dies durch Ausprobieren herausgefunden werden. So war ein umfangreiches Testen möglich, ohne in den aktuellen Produktionsprozess einzugreifen und gegebenenfalls einen Produktionsausfall zu verursachen.

Die physische Datenübertragung vom Raspberry Pi bzw. aus dem Fertigungscenter zum Edge Device vollzieht sich per Industrial Ethernet, da dies im Industrie 4.0-Umfeld die modernste Technologie darstellt. Dies äußert sich u. a. in den höheren Übertragungsraten, die im Vergleich zu den anderen Methoden zu realisieren sind. Unter der Berücksichtigung der Internetanbindung besitzt die Ethernet-Lösung den Vorteil, die TCP/IP-Protokollfamilie einzubinden, welche standardmäßig bei Internetanwendungen vorzufinden ist. Der Mehrwert dieser Protokollfamilie gegenüber anderen Protokollen besteht in der zuverlässigen Transportweise und der exakten Adressierung durch das Internet Protocol. Das bewirkt, dass die Wahrscheinlichkeit eines Datenverlustes sehr gering ist. Durch die drei am Edge Device vorhandenen LAN-Schnittstellen ist die Übertragung via Ethernet ohne weitere Modifikationen durchführbar. Für die logische Datenübertragung wurde das Nachrichtenprotokoll OPC UA verwendet. OPC UA nutzt für die Adressierung und den Transport ebenfalls die Protokollfamilie TCP/IP. Daher war der Nachrichtenaustausch via OPC UA ohne vorherige Anpassungen auf dem Edge Device möglich. Ein weiterer Grund für OPC UA ist, dass dieses Protokoll ein standardisiertes, zukunftsträchtiges und akzeptiertes Protokoll im Industrie 4.0-Umfeld darstellt.

Für das Empfangen von Daten ist das Edge Device über einen geeigneten Webbrowser zu konfigurieren. Darüber hinaus ist eine Datenquelle zu definieren.

Nachdem im Testszenario, bei dem der Raspberry Pi das Nockencenter simulierte, erfolgreich Daten per OPC UA an das Edge Device übermittelt worden sind, konnte das Edge Device an die Produktivumgebung des Nockencenters angeschlossen werden. Wie zuvor beim Testszenario ließen sich die Livedaten ohne Probleme aus der Maschine extrahieren. Validiert wurde die Richtigkeit der Datenextraktion durch stichprobenartige Vergleiche zufällig ausgesuchter Variablen des an der Maschine angebrachten Informationssystems mit denen am Edge Device eingehenden Werten.

Neben der lokalen Datenverarbeitung ist ebenfalls eine Übermittlung der Daten an eine Cloud angedacht, da die integrierte Datenbank des Edge Devices nur für temporäre Speicherungen ausgelegt und dementsprechend vergleichsweise klein dimensioniert ist. Aufgrund von Sicherheitsvorkehrungen kommuniziert das Edge Device jedoch nicht direkt mit der Cloud, sondern über einen Proxyserver, der zudem durch Firewalls geschützt ist.

Optional besteht die Möglichkeit, die Daten direkt grafisch auszuwerten und Berechnungen mit ihnen durchzuführen. Dies ist der Punkt, an dem aus den extrahierten Daten Wissen entsteht.

Die Visualisierung der empfangenen Werte erfolgt mit dem Tool „Grafana“, welches ebenfalls auf dem Edge Device aufgespielt ist. Folgendes Beispiel zeigt einen typischen Industrie 4.0-Anwendungsfall, der sich auch mit Grafana darstellen lässt.

Ein Industrie 4.0-Anwendungsfall, welcher unternehmensübergreifend die Fertigung optimieren kann, ist Predictive Maintenance. Bei dem in dieser Publikation untersuchten Nockencenter ist dieser Industrie 4.0-Anwendungsfall nun anwendbar, da die Möglichkeit der Datenextraktion an dieser Fertigungslinie fortan besteht. Durch die Anwendung von Predictive Maintenance ist abschätzbar, wann aller Wahrscheinlichkeit nach die Werkstücke aufgrund von Verschleiß einzelner Werkzeuge aus der oberen Spezifikationsgrenze fallen. Ein solches Szenario ist beispielhaft in Abbildung 8 sichtbar.

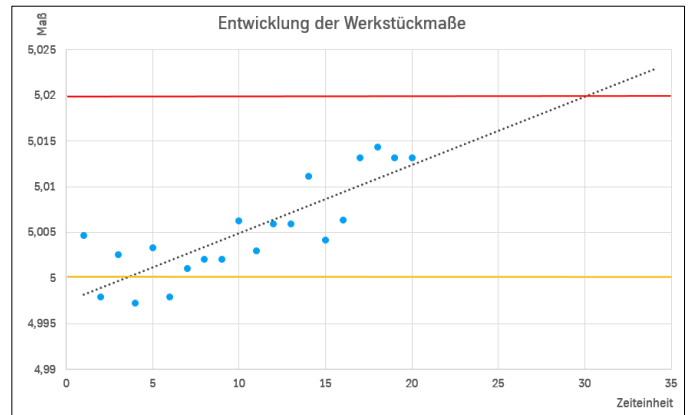


Abbildung 8: Beispielhafte Auswertung der Maße von Werkstücken über die Zeit inkl. Prognose (eigene Darstellung).

Auf der Abszisse ist Zeit abgetragen, während die Ordinate die Bauteilgröße zeigt. Die einzelnen blauen Punkte sind die erfassten, durchschnittlichen Ist-Maße aller Werkstücke pro Zeiteinheit. Die orangefarbene Linie kennzeichnet den mittleren Soll-Größenwert der Werkstücke, der in diesem Beispiel bei 5,00 liegt. Dieser setzt sich aus dem Mittelwert der oberen und unteren Spezifikationsgrenze zusammen. Innerhalb der Spezifikationsgrenzen befindet sich das Werkstück in den vom Kunden erlaubten Toleranzbereich. (Hinweis: in Abbildung 8 ist nur die obere Spezifikationsgrenze als rote Linie zu sehen, diese liegt hier bei 5,02). Eine Bearbeitung des Werkstücks, z. B. durch Drehen oder Fräsen, verursacht am Werkzeug einen Verschleiß, was sich in Form von Materialabrieb äußert. Infolgedessen nehmen die Ist-Größen der Werkstücke zu, sodass sie sich im Zeitverlauf an die obere Spezifikationsgrenze annähern. Die graue, lineare Trendlinie zeigt die Prognose an. Eine Extrapolation dieser linearen Trendlinie zeigt, dass theoretisch nach 30 Zeiteinheiten die obere Spezifikationsgrenze überschritten werden wird. An dieser Stelle ist jedoch zu beachten, dass es sich hierbei nur um den einfachsten Fall einer linearen Regression handelt. Dass die Werkstücke nach 30 Tagen die obere Spezifikationsgrenze überschreiten, stellt nur ein Erwartungswert basierend auf dem angewandten mathematischen Verfahren dar. Bedingt durch natürliche und nicht beeinflussbare Schwankungen der Ist-Maße ist es möglich, dass eine Überschreitung der oberen Spezifikationsgrenze bereits vorher eintritt. Dennoch kann

mithilfe dieser Auswertung nun proaktiv die vorausschauende Wartung, beispielsweise nach 25 Zeiteinheiten, durchgeführt werden, da der ungefähre Zeitpunkt der Überschreitung dank der Datenanalyse bekannt ist. So ist es möglich, die betroffenen Werkzeuge frühzeitig zu wechseln und eine Verletzung der Kundenanforderung aufgrund verschlissener Werkzeuge zu vermeiden. Auch sind Wartungen in denjenigen Zeiträumen durchführbar, an denen das Nockcenter temporär und geplant nicht in Betrieb ist. Dies beugt ungeplante Stillstandzeiten und folglich anfallende Kosten vor.

Ein weiterer Industrie 4.0-Anwendungsfall ist das automatische Aktualisieren der Fertigungsunterlagen. Im Normalfall erfahren Stammdaten nur selten eine Anpassung, was sich im Zeitverlauf in einer Diskrepanz zwischen den Soll- und den Ist-Werten bemerkbar macht, wie Abbildung 9 zeigt.

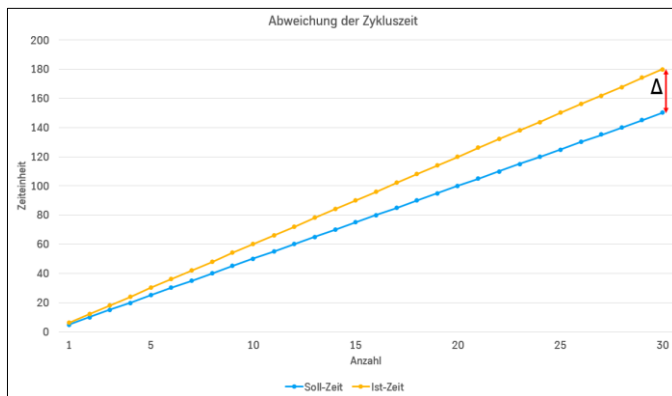


Abbildung 9: Diskrepanz bei ungleichen Soll- und Ist-Zykluszeiten (eigene Darstellung).

In diesem fiktiven Beispiel ist nach 30 produzierten Werkstücken ein Zeitdelta von 30 Zeiteinheiten vorhanden, symbolisiert durch den roten Pfeil. Dies könnte dazu führen, dass aufgrund falscher Zeitkalkulationen (bei denen die Soll-Zeiten aus den Fertigungsunterlagen herangezogen werden), das System die Abarbeitung der Fertigungsaufträge als machbar deklariert, in der Realität diese Fertigungsaufträge zeitlich aber nicht umsetzbar sind. Die autonome Anpassung der Stammdaten trägt zum einen zu einer verbesserten Transparenz der Fertigung bei, da die Daten stets aktuell und fehlerfrei sind, und zum anderen entlastet dies die Mitarbeiter, für die der manuelle Aktualisierungsprozess entfällt.

Das Ziel, eine lauffähige, Industrie 4.0 konforme Lösung für das Sammeln und Analysieren von Produktionsdaten zu entwickeln, die dem aktuellsten Forschungsstand entspricht, ist damit erreicht. Nun ist es möglich, konkrete Industrie 4.0-Anwendungsfälle wie die oben beschriebenen in der Praxis zu etablieren. Es die dabei darauf hingewiesen, dass sich die entwickelten Lösungen nicht auf eine spezielle Maschine oder einen bestimmten Industriezweig beschränken, sondern universell implementierbar sind.

VII. INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

Dieser Abschnitt fasst die theoretischen und praktischen Ergeb-

nisse dieses Artikels zusammen und gibt einen kleinen Ausblick auf die weiterführenden Schritte, die nun dank der bestehenden Infrastruktur getätigt werden können.

Zusammengefasst realisiert Industrie 4.0 die internetbasierte, autonome Koordination von Maschinen, Lagersystemen und Betriebsmitteln in Echtzeit. Das primäre Ziel, welches mit Industrie 4.0 verfolgt wird, ist die Wahrung des Produktionsstandortes Deutschland, indem durch Industrie 4.0 weitere Potentiale zur Kostensenkung und Erlössteigerung erschlossen werden sollen. Industrie 4.0 kann aber nur funktionieren, wenn sich die gesamte Supply Chain in Echtzeit koordiniert. Die unternehmensübergreifende Koordination wird sichergestellt durch Logistik 4.0.

Neben den Chancen sind allerdings auch Risiken mit Industrie 4.0 verbunden, die sich zwangsweise durch die Onlineanbindung ergeben. Dadurch besteht das Potential für Hacker, in das firmeninterne Netzwerk einzudringen und Daten zu stehlen oder sonstigen Schaden anzurichten. Aus diesem Grund sind umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen zwingend zu installieren. Diese bestehen u. a. in der Errichtung von Firewalls, Proxyservern und in der Verwendung von Protokollen, welche die Kommunikation verschlüsseln und Nutzer authentifizieren.

Die konkrete Umsetzung der Strategie, die hinter Industrie 4.0 steht, wird realisiert durch das industrielle Internet der Dinge. Dieses vereint die Entitäten der Produktion und bietet die Plattform für den Nachrichtenaustausch.

Die Auswertung und Speicherung der Daten ist in einer Cloud realisiert. Dies ist begründet durch die Masse an Daten, die im Industrie 4.0-Umfeld entstehen (Big Data). Da diese Masse an Daten zunächst jedoch durch das Netzwerk zu schleusen ist, sind schnell die Kapazitätsgrenzen des Netzwerks erreicht, weshalb in vielen Fällen ein Transport nur stark verzögert erfolgen kann und die Forderung nach Echtzeitdatenverarbeitung nicht einzuhalten ist.

Der Nachrichtenaustausch ist theoretisch abbildbar durch das OSI-Modell, welches die einzelnen Schritte, die bei einem Kommunikationsprozess zu durchlaufen sind, separaten Schichten zuweist. Auf jeder Schicht sind Protokolle ansässig, die bestimmte Regeln und Vereinbarungen für den Kommunikationsprozess festlegen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Protokolle standardisiert sind. Weiterhin ist kein Protokoll existent, welches universell für jeden Anwendungsfall einsetzbar ist. Bei der Wahl der Protokolle ist folglich stets der Anwendungsfall zu berücksichtigen und basierend darauf die Wahl zu treffen. Ein in der Industrie 4.0 etabliertes Protokoll ist OPC UA, dessen Funktionsumfang über den reinen Nachrichtenaustausch hinausgeht. Insbesondere die semantische Auswertung von Nachrichten macht OPC UA für einen Industrie 4.0-Anwendungsfall interessant.

Nach der theoretischen Untersuchung konnten die Ergebnisse auf die Praxis in Form einer Fertigungslinie für Nocken bei der

thyssenkrupp AG übertragen werden, um konkrete Industrie 4.0-Anwendungsfälle zu untersuchen und auszuführen. Dabei wurde darauf geachtet, den aktuellsten Stand der Technik zu nutzen und die erarbeiteten Lösungen universell zu halten.

Die Aufgabe bestand darin, eine Infrastruktur aufzubauen, mit der Daten aus dem Nockcenter exportiert werden können. Damit ist die Grundlage für eine spätere Analyse der Daten geschaffen. Die könnten die beiden o. g. Industrie 4.0-Anwendungsfälle sein, welche die aus dem Nockcenter extrahierten Daten nutzen. Beim ersten Industrie 4.0-Anwendungsfall werden mithilfe der Daten die Prozessabläufe in der Fertigung transparenter gemacht, indem die zuvor ermittelten Zykluszeiten nun keine manuelle Aktualisierung durch einen Mitarbeiter mehr erfahren, sondern dieser Prozess automatisiert erfolgt. Die Fertigungsstammdaten werden direkt auf Basis der gewonnenen Maschinendaten aktualisiert, was zur Entlastung der Mitarbeiter von Routineaufgaben beiträgt und die Datenqualität erhöht. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine (elementaren) Abweichungen mehr zwischen Soll- und Ist-Werten vorhanden ist und somit die Planungsgenauigkeit deutlich erhöht werden kann.

Ein zweiter Industrie 4.0-Anwendungsfall ist der Einsatz von Predictive Maintenance als Früherkennungsindikator für Werkzeuge, die kurz vor der Verschleißgrenze stehen. Dies ist erreichbar durch die Analyse von Trends, die mithilfe der extrahierten Daten abbildbar sind. Eine vorausschauende Wartung hat den Vorteil, dass sie das Risiko eines ungeplanten Ausfalls drastisch minimiert, indem sie den wahrscheinlichen Ausfalltermin berechnet. Ein ungeplanter Ausfall könnte zudem mit Vertragsstrafen seitens der Kunden verbunden sein, wenn dadurch Liefertermine nicht realisierbar sind. Auch sind diese geplanten Reparaturen dann in Zeiträumen durchführbar, die außerhalb der Produktionszeit liegen und nicht störend sind. Zu beachten jedoch ist, dass die Prognosen nur auf Berechnungen beruhen, die ausschließlich einen Orientierungswert liefern.

Im Endeffekt dienen diese (und alle weiteren) Industrie 4.0-Anwendungsfälle dem Zweck, Aufwand und damit einhergehend Verschwendung zu reduzieren bzw. gänzlich zu vermeiden. Fallen, wie im oben genannten Beispiel, Werkstücke aus dem Spezifikationsbereich, stellt dies Ausschuss dar. Dieser Ausschuss verursacht Kosten durch Nacharbeit oder, falls der Fehler nicht direkt identifiziert wurde, durch Vertragsstrafen seitens der Kunden. Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist, dass die Wartung proaktiv gestaltet werden kann und nicht erst auf das Eintreten eines Fehlerfalls reagiert werden muss. Dies sorgt für einen geglätteten Fertigungsablauf, bei dem die Wahrscheinlichkeit von ungeplanten Störungen stark reduziert werden.

Das oben aufgezeigte Beispiel dient dazu, den Nutzen von Industrie 4.0 durch Predictive Maintenance an einem einfachen und verständlichen Beispiel zu demonstrieren. Überdies sind noch weitaus umfassendere, weil höherdimensionale Analysen

durchführbar. Dies ist möglich durch die hohe Grundgesamtheit von erfassten Werten (Big Data).

Ein erstrebenswertes Ziel ist das Ableiten von Wissen aus Daten nach Vorbild des (menschlichen) Gehirns. Die Wissensgenerierung vollzieht sich dabei durch sog. künstliche neuronale Netze.²⁴ Der grobe Prozess der Wissensgenerierung soll an einem einfachen Beispiel gezeigt werden, welches in Abbildung 10 zu sehen ist.

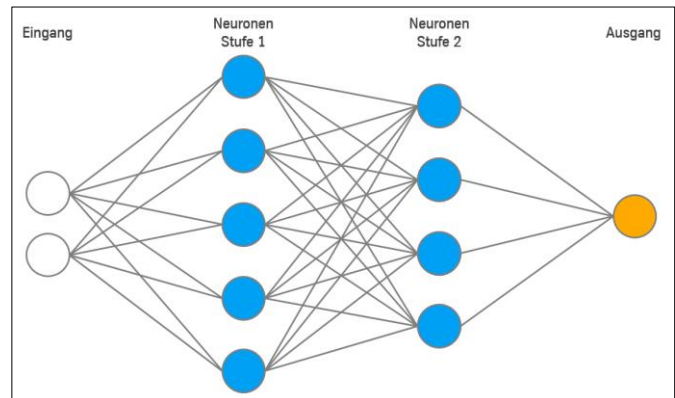


Abbildung 10: Schematischer Aufbau eines zweistufigen, künstlichen neuronalen Netzes (eigene Darstellung).

Ein oder mehrere Eingänge (weiße Punkte) sind über gerichtete Kanten mit einzelnen Neuronen (blaue Punkte) verbunden. Die gerichteten Kanten dienen der Signalübertragung. Die Anzahl der Neuronen auf jeder Stufe sowie die Anzahl der Stufen selbst ist abhängig von der zu lösenden Fragestellung. Im ersten Schritt wird, abhängig vom Wert, welches das Eingangssignal aufweist, die Information über die entsprechende Kante an das richtige Neuron der ersten Stufe geleitet. Dort führt dieses Neuron eine Operation mit der empfangenen Information durch. Diese Operation kann z. B. eine mathematische Berechnung sein. Das Ergebnis dieser Operation wird dann über die entsprechende Kante an das nächste Neuron der Stufe zwei transportiert. In diesem Neuron erfährt das eingehende Signal wiederum eine Operation. Das Ergebnis dieser Operation wird dann an den Endknoten (orangener Punkt) übermittelt und kann umgesetzt werden.²⁵ Als konkretes Beispiel sei die Zuweisung eines Fertigungsauftrags zu einer Bearbeitungsstation genannt. Hier könnte durch ein künstliches neuronales Netzwerk die optimale Maschinenbelegung unter Berücksichtigung der noch verbleibenden, offenen Fertigungsaufträge erfolgen, um die geringstmöglich Produktionsdurchlaufzeit zu erhalten. Aufgrund der großen Komplexität kann an dieser Stelle jedoch nicht detaillierter auf die künstlichen neuronalen Netze eingegangen, sondern nur ein grober Ausblick auf diese Technologie angebracht werden.

Die durch Industrie 4.0-Anwendungsfälle realisierten Kosteneinsparungen erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass der Produktionsstandort Deutschland als Hochlohnland wettbewerbsfähig

²⁴ Vgl. Kruse et al. (2015): 7.

²⁵ Vgl. ebd.: 13.

bleibt. Aus diesem Grund sollten die Unternehmen bestrebt sein, ihre Fertigung Industrie 4.0 konform zu gestalten.

Die hier vorgestellten Methoden zur Datenextraktion sowie -analyse sind unternehmensübergreifend einsetzbar und wurden am Beispiel des thyssenkrupp Nockcenters auf Machbarkeit überprüft. So ist es möglich, die hier vorgestellten Lösungen auch in anderen Fertigungen und Branchen umzusetzen.

QUELLENANGABEN

5G Infrastructure Association [Hrsg.] (2015): 5G-Vision.

URL: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>, Abruf am 24.07.18.

Aiyagari, S. et al. (2008): AMQP 0-9-1 - Protocol Specifications.

URL: <https://www.rabbitmq.com/resources/specs/amqp0-9-1.pdf>, Abruf am 08.08.18.

Andelfinger, V.P./Hänisch, T. [Hrsg.] (2017): Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

b.telligent GmbH & Co. KG [Hrsg.] (o. J.): Übersicht der vier industriellen Revolutionen.

URL: https://www.btelligent.com/fileadmin/_processed_/f/7/csm_industrie-40-revolution_66fa855871.jpg, Abruf am 01.09.18.

Banks, A. [Hrsg.]/Gupta, R. [Hrsg.] (2015): MQTT Version 3.1.1 Plus Errata 01.

URL: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/errata01/os/mqtt-v3.1.1-errata01-os-complete.pdf>, Abruf am 01.08.18.

Bormann, C. et al. (2014): The Constrained Application Protocol (CoAP).

URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>, Abruf am 09.08.18.

Bousonville, T. (2017): Logistik 4.0: Die digitale Transformation der Wertschöpfungskette, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Czaja, F. (2016): Auswirkungen von Logistik 4.0 auf Mittelstand und Handwerk, Hamm.

URL: https://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/GB_I/I.1/EK/16.WP/EK_VI/Anlage1_Vortrag_Auswirkungen_Logistik_4.0_auf_den_Mittelstand_2016-07-01.pdf, Abruf am 06.12.18.

Fasel, D./Meier, A. (2016): Big Data: Grundlagen, Systeme und Nutzungspotenziale, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Heidel, R. et al. (2017): Industrie4.0 Basiswissen RAMI4.0: Referenzarchitekturmodell mit Industrie4.0-Komponente, 1. Aufl. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag GmbH.

Heise Medien GmbH & Co. KG [Hrsg.] (2015): Daten sind Rohstoffe des 21. Jahrhunderts _ heise online.

URL: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Merkel-Daten-sind-Rohstoffe-des-21-Jahrhunderts-2867735.html>, Abruf am 01.09.18.

Kagermann, H. et al. [Hrsg.] (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0.

URL: https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf, Abruf am 04.06.18.

Kagermann, H./Lukas, W.-D. (2011): Industrie 4.0 - Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution.

URL: <https://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>, Abruf am 01.06.18.

Karlstetter, F./Radtke, M. (2016): Was ist Cloud Computing.

URL: <https://www.cloudcomputing-insider.de/was-ist-cloud-computing-a-563624/>, Abruf am 01.09.18.

Kruse et al. (2015): Computational Intelligence: Eine methodische Einführung in Künstliche Neuronale Netze, Evolutionäre Algorithmen, Fuzzy-Systeme und Bayes-Netze, 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Lange, J./Iwanitz, F./Burke, T. J. (2010): OPC : Von Data Access bis Unified Architecture, 4. Aufl. Berlin [u.a.]: VDE-Verl.

Leimeister, J. M. (2015): Einführung in die Wirtschaftsinformatik, 12. Aufl. Berlin [u. a.]: Springer Gabler.

Mahle GmbH [Hrsg.] (2013): Ventiltrieb: Systeme und Komponenten, Wiesbaden: Springer Vieweg.

Mandl, P. (2018): TCP und UDP Internals: Protokolle und Programmierung, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Obermann, K./Horneffer, M. (2013): Datennetztechnologien für Next Generation Networks: Ethernet, IP, MPLS und andere, 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Vijayarathy, S. (2018): Was ist Azure Event Hubs.

URL: <https://docs.microsoft.com/de-de/azure/event-hubs/event-hubs-about>, Abruf am 01.09.18.

Vogel-Heuser, B. [Hrsg.]/Bauernhansl, T. [Hrsg.]/Ten Hompel, M. [Hrsg.] (2017): Handbuch Industrie 4.0. Bd. 3. - Logistik, 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg.

Weinzierl, S. (2018): Industrial Ethernet überholt Feldbusse.

URL: <https://www.produktion.de/assets/images/8/hms-rueckblick-entwicklung-netzwerke-0e28e208.jpg>, Abruf am 01.09.18.