

1.1 Holistic Automation

Holistic Automation - Wertschöpfungspotentiale einer integrierten durchgängigen Vernetzung

C. Brecher, M. Buchsbaum, P. Blanke, N. Hoffmann, S. Storms, K. Schilling

Gliederung

1	Einleitung	23
2	Innovation durch Vernetzung – Zwei Perspektiven	23
3	IoT in Automation	25
3.1	Architekturen für das IoP	25
3.2	Datendurchgängigkeit und integriert durchgängige Vernetzung.....	27
4	Kooperationsmodelle für erfolgreiche IoT in Automation Projekte.....	29
5	Vorstellung Fallbeispiele aus der Industrie.....	29
5.1	Trumpf.....	30
5.2	Miele.....	32
6	Zusammenfassung und Ausblick	32

Kurzfassung

Holistic Automation - Wertschöpfungspotentiale einer integrierten durchgängigen Vernetzung

Vernetzte Geräte, dezentrale Steuerung, datenbasierte Anwendungen – im technischen Sinne ist damit die Idee des Internet of Things in der Fabrikhalle angekommen. Auf Messen und Pressemitteilungen lässt sich derzeit ein klarer Trend ablesen, Informationstechnologie (IT) und Automatisierungstechnik (OT) greifen immer weiter ineinander. Ziel ist die Realisierung einer einfachen, nahtlosen und bidirektionalen Kommunikation, vom eingebetteten System bis zur Cloud. Wir wissen bereits seit längerem, dass Daten und Kommunikation zukünftig eine wesentliche Rolle spielen, bevor man als Unternehmen jedoch sogenannte Megatrends wie KI, Blockchain oder 5G aufgreifen kann, muss man eine Reihe an Hausaufgaben erledigen und Vorarbeiten leisten.

Ziel des Beitrages „Holistic Automation - Wertschöpfungspotentiale einer integrierten durchgängigen Vernetzung“ ist es daher, die Auswirkungen dieser datengetriebenen, digitalen Innovationen aufzuzeigen und ein Ökosystem von Smart Engineering, einer digitalisierten Produktionstechnologie und -umgebung bis hin zum vernetzten Verbrauchererlebnis zu gestalten und so einen Ordnungsrahmen für die Digitalisierung der Produktionstechnik zu geben.

Der Beitrag wurde durch ausgewiesene Experten aus der Industrie, sowohl Anwender als auch Technologie- und Systemlieferanten, gestaltet und zeigt einen visionären, aber gleichermaßen realistischen Ausblick auf den Wandel der Automatisierung in der Produktionstechnik im Rahmen des Internet of Production (IoP) auf.

Abstract

Holistic Automation - Value creation potentials of an integrated continuous networking

Networked devices, decentralized control, data-based applications - in a technical sense, the idea of the Internet of Things has arrived on the factory floor. A clear trend can currently be seen at trade fairs and press releases, information technology (IT) and automation technology (OT) are increasingly intertwining, the aim is to implement simple, seamless and bidirectional communication, from embedded systems to the cloud. We have known for some time that data and communication will play a major role in the future, but before a company can pick up on so-called megatrends such as AI, block chain or 5G, it has to do a lot of homework and preparatory work.

The aim of the article "Holistic Automation - Value Creation Potentials of an Integrated End-to-end Networking" is therefore to show the effects of these data-driven, digital innovations and to design an ecosystem of smart engineering, a digitized production technology and environment up to the networked consumer experience, thus providing a regulatory framework for the digitization of production technology.

The article was designed by renowned experts from industry, both users and technology and system suppliers, and provides a visionary but equally realistic outlook on the transformation of automation in production technology in the context of the Internet of Production (IoP).

1 Einleitung

Technische Innovationen sind bis heute sehr oft physische Innovationen. Ein wesentlicher Treiber dabei war und ist die Automobilindustrie. Man kann jedoch zunehmend beobachten, dass der Anteil von Elektrotechnik, Software und Mechatronik an neuen Innovationen einen immer höheren Stellenwert einnimmt. Der Fokus von technischen Neuerungen hat sich im Automobilbau auch dahingehend gewandelt. Technisch betrachtet haben sich Motor, Antriebsstrang, Fahrwerk, Bremsanlage und Bauweise stark verbessert, physikalische Wirkprinzipien sind aber gleichgeblieben. Bei technischen Innovationen im Bereich der Fahrgastsicherheit, Fahrerassistenzsystemen (bis hin zum autonomen Fahren) und Elektromobilität stehen aber zunehmend eine intelligente (Informations-) Vernetzung und Datenverarbeitung im Fokus. In gleicher Weise lässt sich dies auch in der Werkzeugmaschinenbranche erkennen. Innovationen in Bezug auf die Bearbeitungsleistung oder Ergebnisqualität sind heute selten konstruktiver Natur. Eine intelligente Verschmelzung von guter Mechanik und der Erfassung und Verwendung von Prozess und Umgebungsdaten ermöglicht auch hier neue Wertschöpfungspotentiale.

Diese Gründe motivieren unweigerlich darauf zu schauen, welche Potentiale außerhalb der bekannten, meist technisch getriebenen Lösungsfindung noch zu heben sind. Die in diesem Beitrag verfolgte These lautet daher:

Technische Innovationen werden in Zukunft vornehmlich im digitalen Raum stattfinden. Dazu müssen Informationen über Anlagen- und Produktlebenszyklen hinweg erfasst, aufbereitet und zueinander in Relation gesetzt werden.

In diesem ersten Beitrag - die Fortsetzung erfolgt zum "Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 2021" - wird der Fokus auf eine durchgängige Vernetzung für cyberphysische Produktionssysteme (CPPS) [1] gelegt, dazu werden in Kapitel 2 die sich ergebenden Potentiale aus zwei Perspektiven beschrieben. Kapitel 3 beschreibt potentielle Lösungsmöglichkeiten, die bereits heute als Standardbausteine zur Verfügung stehen. In Kapitel 4 werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie Kooperationsmodelle aussehen können, um Digitalisierungsprojekte mit Bezug zur Vernetzung erfolgreich umzusetzen. Kapitel 5 beschreibt zwei Fallbeispiele aus der Industrie.

2 Innovation durch Vernetzung – Zwei Perspektiven

Technische Systeme sind heute durch ihre Vernetzung und Interaktion mit anderen Systemen geprägt. Das cyberphysische System (CPS), als die Schnittstelle, an der das physische System und die zugehörige Rechenkapazität zusammenkommen und gegenseitig beeinflussen [2], begegnet uns in verschiedenen Formen: Als Sensor oder Aktor mit lokaler Rechenkapazität, als „Smart Product“, das Daten oder Steuerungsinformationen über sich selbst verwaltet, oder als vernetzte Maschine, die auf Basis von Daten selbstständig Optimierungen vornehmen kann. Das jeweilige CPS selbst bildet einen Baustein in einem übergeordneten System – abhängig von der individuellen Perspektive.

Die Vernetzung innerhalb der Maschine findet viele Anwendungen; Sensoren und Aktoren liefern Daten nicht nur bis in die SPS, sondern stellen ihre Daten in einem weiteren Kontext bereit. Hier bedarf es einerseits geeigneter Kommunikationsschnittstellen und andererseits einer Annotation von Daten, damit sie für andere Teilnehmer nutzbar werden. Doch ein größerer Nutzen ist möglich, wenn das System nicht nur innerhalb einer Maschine betrachtet wird, sondern der Gesamtprozess durchgängig gestaltet wird. Dabei kann die Maschine oder Anlage entweder die Rolle des eingesetzten Produktionsmittels annehmen oder, aus der Perspektive des Maschinenbauers, die des Produktes. Aus der

Produkt-Perspektive liegt der Fokus auf der Datendurchgängigkeit vom digitalen Engineering über die Fertigung bis zum Kunden. Das Ökosystem erstreckt sich dabei über die eigene Toolchain, bestenfalls sind die Produktfamilien bereits in einer Plattform zusammengefasst. Beim Kunden in Betrieb genommen, entzieht sich das System jedoch heute immer noch weitestgehend einer weiteren Analyse. Daten aus dem Betrieb der Maschine stehen dem Hersteller bisher meist nicht zur Verfügung. Doch um für den Kunden weitere Services anbieten zu können, braucht es einen Zugang zu hier entstehenden Daten.

Für den Anlagenbetreiber beginnt die Betrachtung zwar möglicherweise auch schon mit einer digitalen Planung, der Fokus liegt jedoch auf dem Betrieb der Maschinen und Anlagen. Neben den Kennzahlen der Produktion interessieren hier Verschleiß- und Wartungsdaten, um ungeplante Ausfälle zu minimieren und notwendige Stillstandzeiten optimal zu planen. Das Gesamtsystem besteht aus verschiedenen Anlagen und Maschinen (meist verschiedener Hersteller), aus Werkzeugen und der Handhabung von Betriebsmitteln, aus Lagersystemen und Asset-Tracking – alle müssen miteinander interagieren. Das große Potential liegt darin, wenn Teilsysteme entlang der gesamten Prozesskette nahtlos ineinandergreifen können, statt Daten mühsam von einem System in ein anderes zu portieren.

Doch auch der Betreiber fertigt mit diesen Maschinen wiederum ein Produkt, das ebenfalls eine durchgängige Datenspur mit sich bringt, die nicht unabhängig von den Produktionsmitteln ist. So entsteht eine Kette von miteinander verknüpften Systemen, die deren Integration untereinander gewünschte Potential zur datenbasierten Effizienz- und Produktivitätssteigerung bietet. Um diese Abhängigkeiten beherrschbar zu machen und entlang aller Prozesse Innovationen zu ermöglichen, braucht es eine gemeinsame, systemübergreifende Basis.

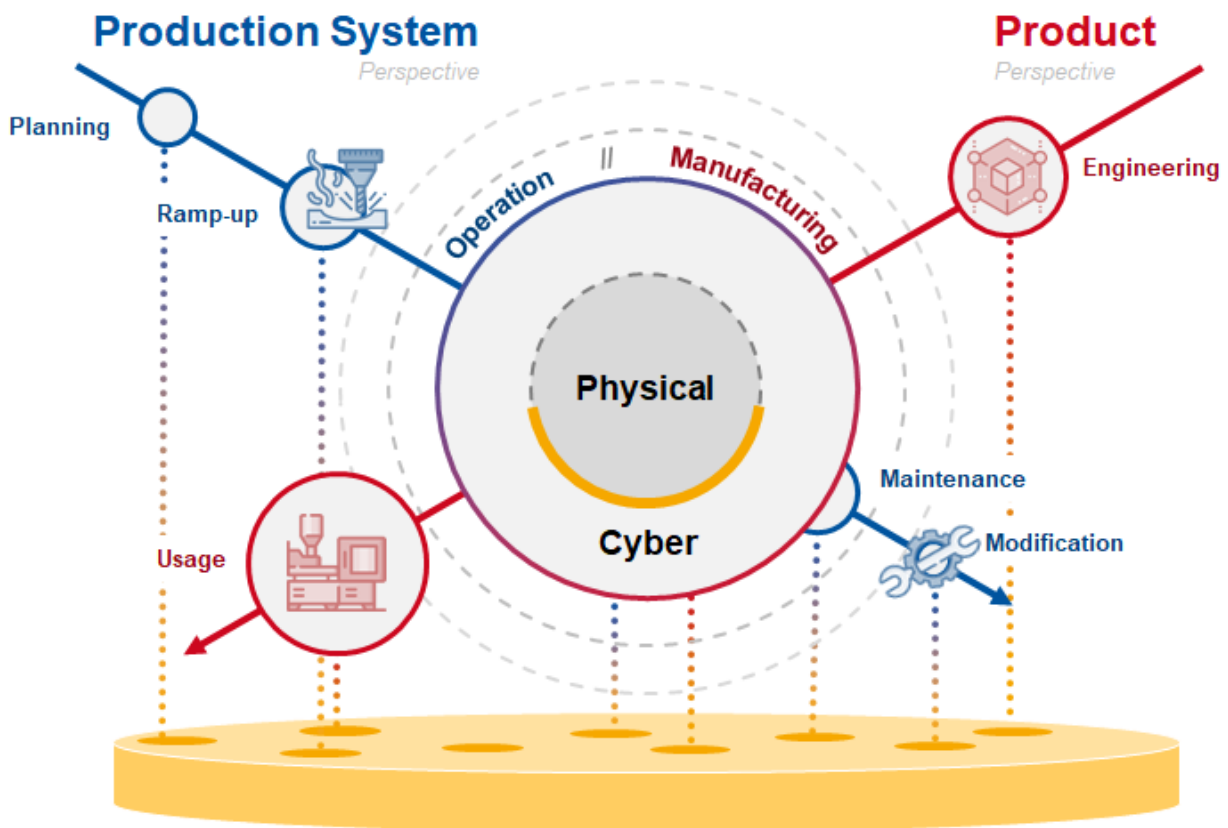


Bild 1: Das cyberphysische Produktionssystem aus verschiedenen Perspektiven braucht eine gemeinsame Basis.

3 IoT in Automation

Diese durchgängige oder ganzheitlich, holistische Vernetzung stellt besondere Anforderungen an zwei Teilbereiche der Automatisierung. Auf der einen Seite müssen aus IT-Sicht architektonische Grundlagen geschaffen werden, die diese nahtlose Kommunikation ermöglichen. Auf der anderen Seite spielt auch die Datenmodellierung eine übergeordnete Rolle. Um aus Daten Informationen zu gewinnen und damit Handlungsanweisungen für eine kontinuierliche Verbesserung von bspw. Produktionsanlagen ableiten zu können, müssen eine Reihe von Anforderungen erfüllt sein.

3.1 Architekturen für das IoP

Das Produktionssystem durchläuft verschiedene Einsatzphasen, in denen das Sammeln von Daten wertvolle Informationen liefern kann (siehe Bild 3). Angefangen in der Prozessplanung, können Informationen, die zuvor aus einem bereits bestehenden System gesammelt wurden, genauere Berechnungen von Montage- und Zykluszeiten und dem Energiebedarf ermöglichen, sowie bereits bestehende Parameter optimiert werden können, die während der Inbetriebnahme nochmal verifiziert werden [3]. In der Planung können außerdem bereits erste Validierungen und Verifikationen durchgeführt werden [4]. Zusätzlich findet hier die Planung von Betriebsmitteln und Material statt [5].

Während der Produktion fallen die meisten Daten an, die direkte Interaktion durch einen Anlagenbediener oder weiteres Personal erfordern. Die Daten, die aufgenommen werden sind bspw. Parameter, Prozesszeiten, Sensordaten (bspw. Temperatur, Beschleunigungen Energieverbrauch), Statusanzeigen und Fehlermeldungen [3, 5]. Typischerweise sollen mit ihnen Informationen bezüglich der OEE, den Zykluszeiten, Kausalanalysen und Statusanzeigen, sowie Machine Maintenance und Werkzeugverschleiß Monitoring bereitgestellt und visualisiert werden [5–7].

Aus den Daten werden durch verschiedene Algorithmen Informationen gewonnen. Dies geschieht durch einfache Korrelationen über klassische technische Analysemethoden wie Frequenzganganalysen und Filterung bis hin zu Machine Learning-Algorithmen [5, 6]. Hierbei lassen sich nach [8] verschiedene Maturity-Level des Systems identifizieren, da die Möglichkeit der Anwendung komplexer Algorithmen auch mit der Systeminfrastruktur zusammenhängt. Die Maturity-Level fangen auf unterster Ebene an mit dem Condition Monitoring und gehen über Kommunikation und Analyse sowie Interpretation und Services zur Möglichkeit der Adaptierung und Optimierung über. Die Rückführung der Daten in die Planung beschreibt das fortgeschrittene Level der Kooperation [8].

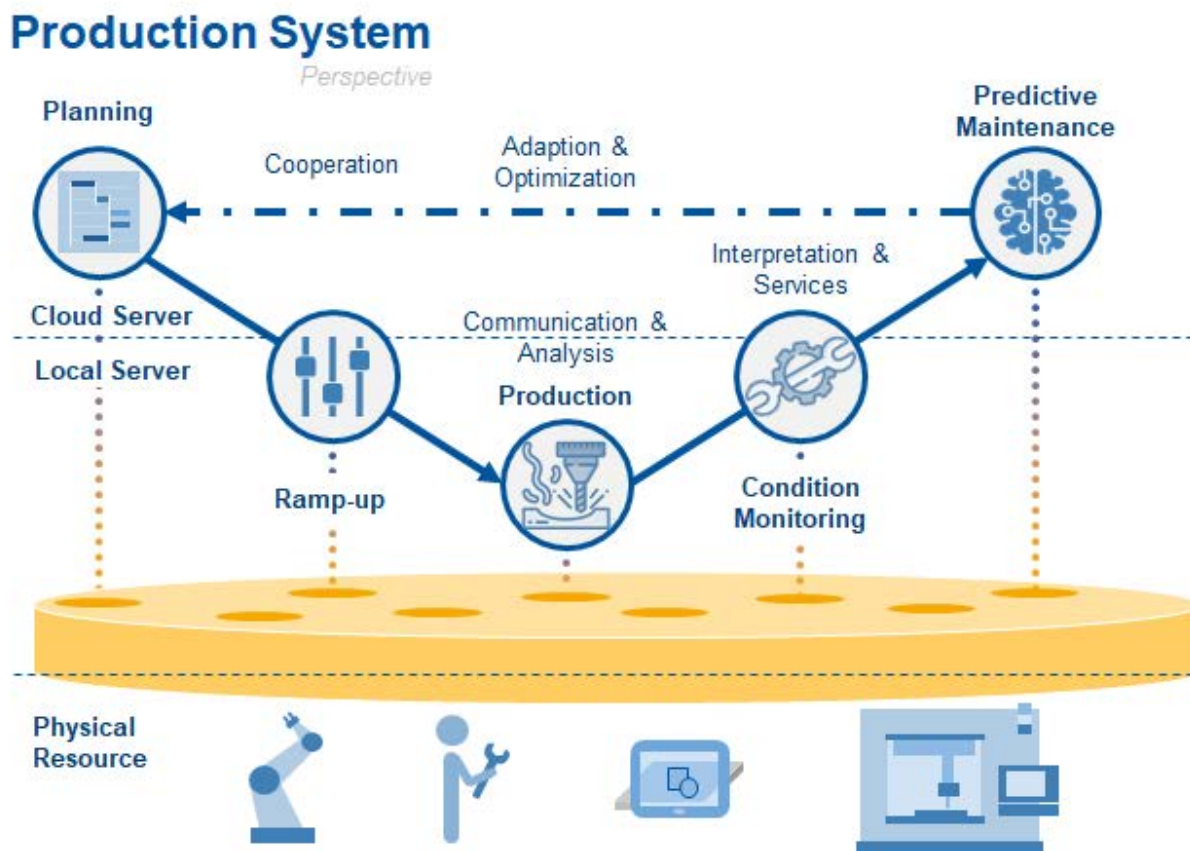


Bild 2: Lebenszyklus Produktionssystem

Durch die zunehmende Digitalisierung in der Produktionstechnik werden nicht nur Maschinen- und Prozessdaten immer wichtiger, sondern auch die produktspezifischen Daten, die während der Lebenszeit des Produkts gesammelt und erzeugt werden. [9, 10]. Diese Informationen werden in einem digitalen Abbild des Produktes gebündelt und bieten eine Datengrundlage für weitere Aktivitäten. So können die Daten sowohl zur flexiblen Produktionssteuerung als auch zur Verbesserung der Produkte selbst genutzt werden. Zunehmend werden diese Daten auch für die Erstellung von Maschine Learning Modellen und Algorithmen verwendet, um beispielsweise den Zustand einer Komponente vorherzusagen und so die Anzahl der Fehldiagnosen während des Betriebes signifikant zu reduzieren.

Wie in Bild 3 dargestellt, durchlebt das Produkt drei Lebensphasen (Engineering, Production, Usage) und wird im Zuge dessen auf verschiedenste Art und Weise genutzt und kommt in Kontakt mit unterschiedlichsten Dateiformaten. [11] Diese Vielfältigkeit erhöht die Komplexität bei der Modellierung einer durchgehenden Datenstruktur ungemein. Zusätzlich resultieren aus den Datenmengen, dem Datenmanagement und der hierfür benötigten Verarbeitungsgeschwindigkeit weitere Anforderungen. Diese variieren jedoch selbst zwischen den dargestellten Anwendungen. So werden im Engineering meist großen Datenmengen mit geringen Zugriffszeiten für beispielsweise CAD-Programme verwendet, wohingegen in der Produktion kleine Datenmengen hochfrequent erzeugt werden.

Während die Vernetzung und die Bereitstellung von benötigten IT-Ressourcen zur Speicherung der Daten firmenintern immer häufiger ein geringeres Problem darstellt, bildet

das Tracking und das kontinuierliche Erfassen von Daten in der letzten Lebensphase eine Herausforderung. Denn hierfür müssen aus technischer Sicht die Produkte zum einen über die notwendige Konnektivität verfügen, als auch der Hersteller sichere IT-Schnittstellen zur Übertragung der Daten bereitstellen. Zusätzlich müssen hierbei Vereinbarungen mit dem Endkunden getroffen werden, dass die Daten erhoben, verarbeitet und genutzt werden dürfen und dies im Einklang mit den geltenden Datenschutzrichtlinien geschieht.

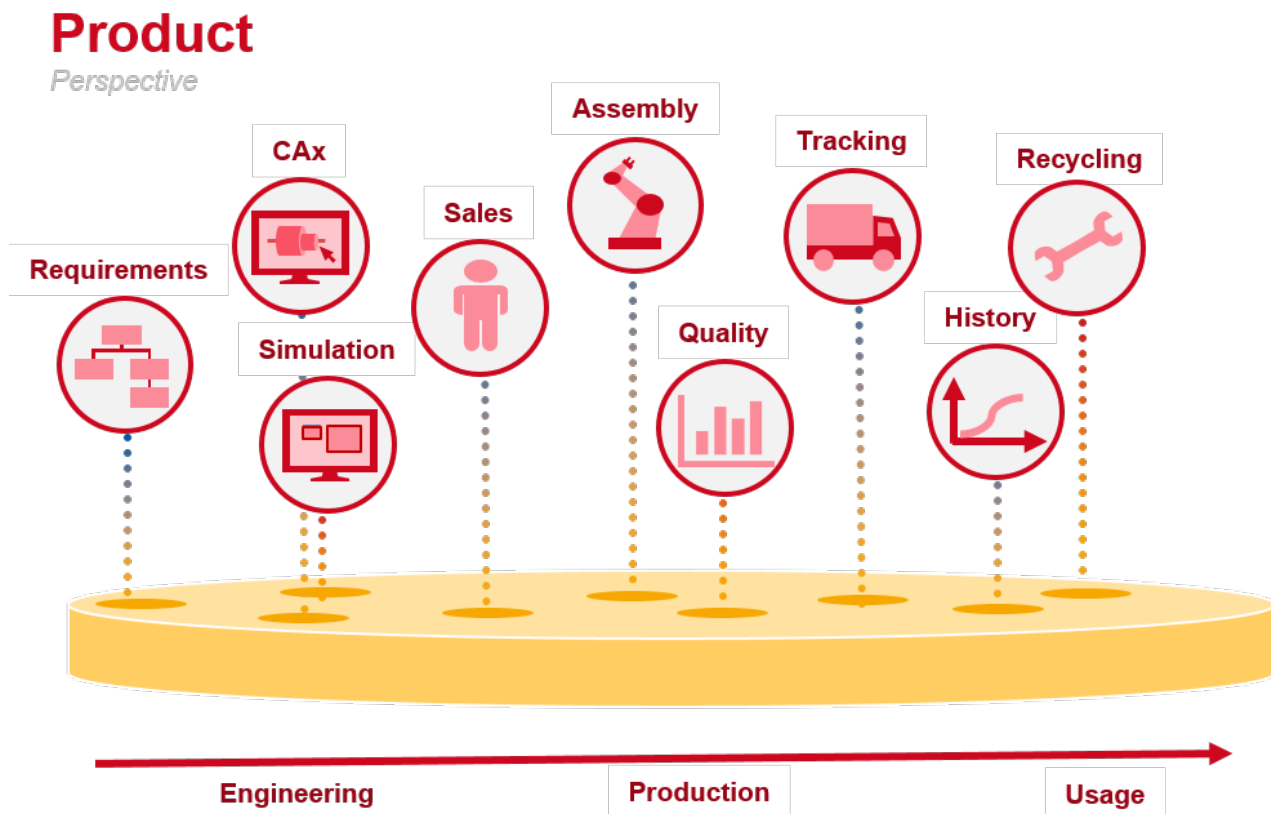


Bild 3: Lebenszyklus des Produkts

3.2 Datendurchgängigkeit und integriert durchgängige Vernetzung

Um Daten bereitzustellen, wurden bereits viele Konzepte vorgestellt, die dabei immer eine Anbindung der physikalische Ressource, einer prozessnahen (Vor-)Verarbeitung und Bereitstellung der Daten, sowie eine prozessferne Analyseeinheit beschreiben, die alle über ein interoperablen Kommunikationsbus verfügen [5, 7, 12–15]. Hierfür werden beispielsweise Kommunikationsprotokolle mit Ursprung aus den Internettechnologien (wie REST, DDS und MQTT), sowie Entwicklungen aus der Automatisierung (OPC UA) verwendet, die dann mittels eines Technologieadapters die entsprechende physische Ressource oder ein Tool anbinden [13].

Die Eigenschaften der Infrastruktur lassen sich durch Hochleistungs- und latenzarme Operationen, Skalierbarkeit, Dynamik, Stream-Handling und Konfigurierbarkeit beschreiben [3]. Anforderungen an die Infrastruktur umfassen das Management vernetzter Dienste, Service-to-Service Kommunikation, harmonisierte Informationsmodelle, die Integration via verschiedener Kommunikationsstandards, generische Schnittstellen, einfache Nutzbarkeit, hohe Flexibilität und Rekonfigurierbarkeit, Security sowie entsprechende Cloud Kapazitäten [14].

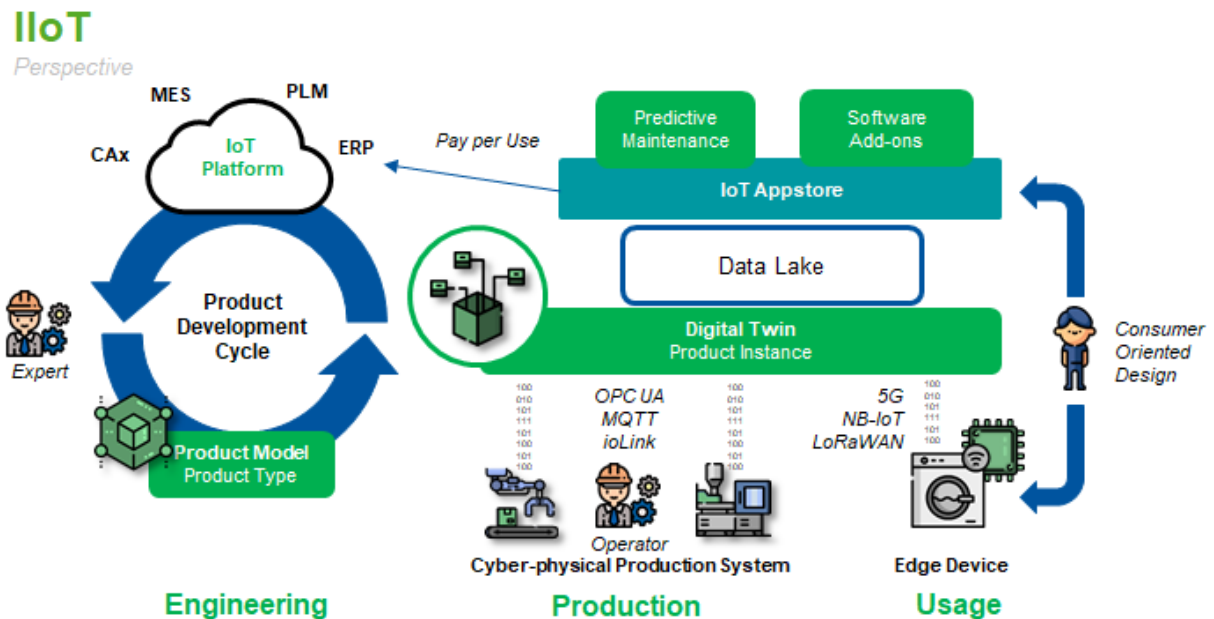


Bild 4: Gesamtarchitektur im IIoT-Ecosystem

Vor dem Hintergrund der beiden, sich grundlegend unterscheidenden Perspektiven und der Fragestellung, wo in der Betrachtung Gleichanteile zu finden sind, soll Bild 4 eine Orientierung bieten. Aus einer dritten Perspektive, der Industrial IoT (IIoT) Perspektive betrachtet, finden sich wiederkehrende Elemente in der Systemarchitektur. So kommen beispielsweise IIoT Plattformen und Datenspeichersystemen (vgl. Data Lake) zentrale Rollen zu. Dies wiederum stellt Anwender vor eine wichtige und zentrale Frage: *Wie (Form) und mit wem (Anbieter) soll ich für den Aufbau meiner durchgängigen Vernetzung kooperieren.*

4 Kooperationsmodelle für erfolgreiche IoT in Automation Projekte

Zum Ende des Jahres 2019 wurden 620 IoT-Plattformen gelistet, die für Endanwender zur Verfügung stehen [16]: Die Zahl der Anbieter ist dabei von 260 im Jahr 2015 über 360 in 2016 und 450 in 2017 in der vergangenen 5 Jahren um 140% gestiegen. Der Marktanteil der Top 10 beträgt 58%. Entgegen der Vorhersagen [17] konnte in der jüngeren Vergangenheit dabei keine Konsolidierung des Anbietermarktes festgestellt werden. Die Anbieter der jeweiligen Plattformen könnten unterschiedlicher nicht sein. Neben etablierten Hyperscalern wie Amazon, Microsoft und Google finden sich viele Startups (IOTech oder sphinx-open) und Joint Ventures (Adamos, Open Manufacturing Plattform oder Volkswagen Industrial Cloud) unter den Anbietern. Diese große Anzahl an Lösungsanbietern stellt Unternehmen zunehmend vor die große Herausforderung der Anbietersauswahl. Nachfolgend sind vier potentielle Kooperationsmodelle dargestellt und die jeweiligen Vor- und Nachteile aufgeführt.

1) Do it yourself with IT Giants/Hyperscaler: Etablierte Anbieter aus dem IT-Umfeld bieten als Standard viele Lösungsbausteine an, die auch mit grundlegenden Fachkenntnissen genutzt werden können. Damit lassen sich meist schnell und mit überschaubarem Aufwand aus Standardprodukten passende Lösungen konfigurieren. Vorteil: Geringer personeller und finanzieller Aufwand sowie schnelle Erfolge. Nachteil: Die Lösungen sind ggf. nicht absolut passgenau und man ist unter Umständen von einem Anbieter exklusiv abhängig.

2) Partner with a startup: Traditionelle Unternehmen, die oftmals nur eine sehr begrenzte Expertise im IT-Umfeld aufweisen, suchen häufig den Schulterchluss zu Startups. Nicht selten entwickelt dabei das Startup für den Kunden eine zugeschnittene Lösung, die genau den Bedarf deckt. Vorteil: Das etablierte Unternehmen konzentriert sich weiterhin auf sein Kerngeschäft und muss keine neue Kompetenz aufbauen. Nachteil: Die Lösungen der Startups können ggf. aufgrund ihrer Individualität nicht skalieren und keinen langfristigen Support wie etablierte Unternehmen garantieren.

3) Partner with traditional player: Mehrere traditionelle Anbieter und Hersteller von Hard- und Software aus den Bereichen Steuerungs- und Automatisierungstechnik bieten branchenspezifische Lösungen an, die den Bedarf der Kunden decken sollen. Die Anbieter können dabei von ihrer eigenen Expertise der Produktionstechnik bei der Entwicklung von Lösungen profitieren. Vorteil: Der Anwender kann ein Produkt erwerben, welches seinen Bedarf voraussichtlich bestmöglich deckt. Nachteil: Abhängigkeit von einem Anbieter.

4) Joint Venture of Giants: Sowohl die BMW Group und Microsoft als auch Volkswagen und die Amazon Web Services arbeiten gemeinschaftlich an Plattformen, die das Potential haben, die Produktion von Fahrzeugen grundlegend zu verändern. Beide Initiativen haben das Ziel, die jeweiligen Stärken, Produktionsknowhow und IT-Kenntnis, bestmöglich zu verbinden und damit eine Plattform zu bauen, die bestmöglich auf die Bedarfe der Kunden zugeschnitten ist. Vorteil: Expertise aus beiden Bereichen. Nachteil: Langwierig und ggf. exklusiv, ohne Zugang für Dritte.

5 Vorstellung Fallbeispiele aus der Industrie

Im Folgenden werden zwei ausgewählte Beispiele aus der Arbeitsgruppe vorgestellt. In der Fortsetzung dieses Beitrages, der zum "Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 2021" veröffentlicht wird, wird spezifischer auf die Ausgestaltung sowie die Vor- und

Nachteile der jeweiligen Lösungen in Bezug auf die aufgeworfenen Fragestellungen eingegangen. Die im Folgenden beschriebenen Beispiele aus der Industrie folgen wieder den beiden Perspektiven – Produktionsmittel und Produkt. Das Beispiel der Firma Trumpf beleuchtet dabei das Produktionsmittel als Produkt wohingegen Miele in diesem Zusammenhang als Produzent von Baugruppen in der Rolle des Anwenders zu sehen ist.

5.1 Trumpf

Als erstes Fallbeispiel dient ein Vorhaben der TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG, die als einer der weltweit größten Werkzeugmaschinenhersteller in allen wichtigen Märkten international tätig ist. Die Technologie des Laserschneidens hat sich über die letzten drei Jahrzehnte stark entwickelt, so haben beispielsweise die stetig ansteigenden Laserleistungen die Produktivität stark gesteigert. Das grundlegende Maschinenkonzept hat sich dabei aber nur marginal geändert, was dazu führt, dass die Handhabung der fertigen Teile noch überwiegend manuell geschieht. Um dies zu ändern hat TRUMPF ein völlig neuartiges Maschinenkonzept entwickelt. Der hier vorgestellte Ansatz betrifft die automatisierte Handhabung von relativ kleinen Teilen, die als Schüttgut sortiert werden. Herausfordernd ist in diesem Kontext die nahezu unendliche Variabilität der geschnittenen Blech-Geometrien, der Einfluss der Wärme, des Gasdrucks, der Eigenspannungen im Blech und der sehr kleinen Schnittspalte. Ein wesentliches Problem bei der Blechbearbeitung ist die automatisierte Bauteilentnahme nach dem Laserschneidprozess, bei der es häufig zu Verklebungen oder Verkantungen kommt. Weitere Aktorik kann dabei helfen die natürliche Separierung des Bauteils zusätzlich zu unterstützen, indem das Bauteil von oben mit Hilfe eines Stößels nach unten oder per Vakuumgreiftechnik nach oben ausgestoßen wird. Dazu muss bekannt sein, an welchen Stellen eine Verklebung auftreten wird, um entsprechend die Aktorik zu positionieren. Der Einsatz von zusätzlicher Aktorik induziert allerdings eine höhere Nebenzeit, weshalb kontextsensitiv über einen Einsatz entschieden werden muss, um die Produktivität der Maschine nicht unnötig zu mindern. In einem ersten Schritt muss ein Mechanismus erstellt werden, mit dessen Hilfe ein erfolgreiches Ausschleusen der Bauteile mit hoher Zuverlässigkeit erkannt werden kann. Der Einsatz von klassischer optoelektronischer Sensorik aus dem Bereich der Automatisierung allein hat gezeigt, dass die geforderte Zuverlässigkeit der Erkennung auf Grund von Schlackereesten und Funkenflug nicht erreicht werden konnte. Auf Grund komplizierter Bauteilgeometrien, der Formenvielfalt und der großen Anzahl an materialabhängigen Prozessparametern erschien ein analytischer Ansatz zur Lösung des Problems als nicht sinnvoll: Ein Machine Learning (ML) Ansatz sollte hier die klassische Sensorik unterstützen.

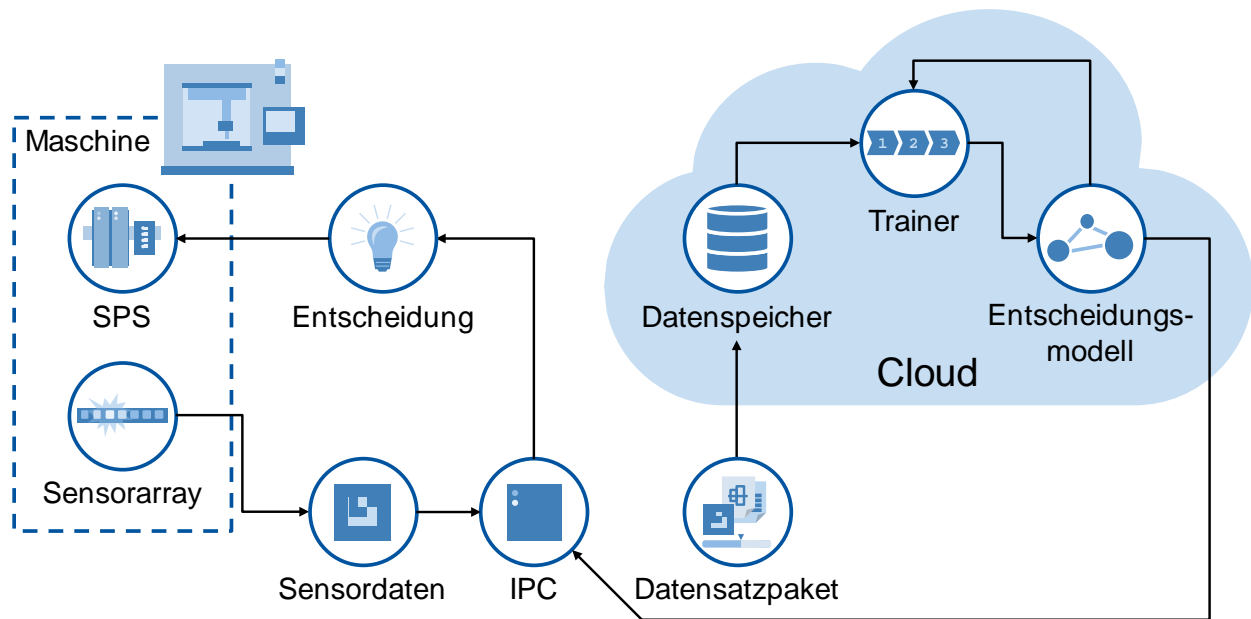


Bild 5: Architekturkonzept des ML gestützten Entscheidungsprozesses

Das Konzept (vgl. Bild 5): Ein unterhalb des Ausschleusemechanismus angebrachtes Sensor-Array nimmt kontinuierlich Daten auf. Hindurchfallende Objekte unterbrechen den Strahlengang, deren zeitlicher Verlauf ein zweidimensionales Abbild des Objekts erstellt. Ein modellbasierter Vergleich dieser Daten mit den vorhandenen Bauteilgeometriedaten des zu fertigenden Objekts erlaubt eine Aussage, mit welcher Wahrscheinlichkeit es sich bei dem erkannten Objekt um das eigentliche Bauteil handelt. Der IPC gibt daraufhin eine Rückmeldung an die SPS, ob es sich bei dem hindurchgefallenen Objekt um das Bauteil oder ein Störobjekt gehandelt hat. Entsprechend der Wahrscheinlichkeitsverteilung stößt die SPS im Anschluss entweder einen weiteren Produktionszyklus an, in dem ein weiteres Bauteil gefertigt wird, oder versetzt die Maschine in einen definierten Zustand. Dieser Zustand kann weitere Maßnahmen nach sich ziehen: In diesem Fall wird, unterstützt durch den mechanischen Stößel, das Ausschleusen des Bauteils aus dem Arbeitsraum vorgenommen. Trotz der so höheren Nebenzeit, kann ein Stillstand der Maschine vermieden werden. Sollte auch dieser Versuch des Ausschleusens nicht erfolgreich sein, so wird die Maschine in einen endgültigen Fehlerzustand versetzt und der Prozess pausiert. Ein Werker muss eingreifen, das Bauteil manuell entfernen und den Arbeitsraum freigeben, bevor ein weiterer Zyklus gestartet werden kann.

Die anfallenden Datensätze, bestehend aus den aufgezeichneten Sensordaten, den Geometriedaten des zu fertigenden Objekts und der berechneten Wahrscheinlichkeit, werden als Datenpaket in der Cloud gespeichert. Mit diesen Daten kann das Entscheidungsmodell kontinuierlich trainiert werden, um die Qualität der Aussagen zu verbessern. Ein Download eines über die Zeit erweiterten Entscheidungsmodells zur Erkennung von Bauteilen ist damit auf alle entsprechend ausgerüsteten und an die Cloud angebundene Maschinen möglich. Auf Grund sehr guter Ergebnisse soll dieser Machine Learning-Ansatz in Zukunft weiterverfolgt werden. Die Erweiterung des Modells um einen Mechanismus zur Erkennung der optimalen Stößelposition auf Basis der Geometriedaten wird momentan entwickelt.

5.2 Miele

Die Miele und Cie. KG als Hersteller von Haushalts- und Gewerbegeräten in den Anwendungsbereichen Kochen, Wäsche- und Bodenpflege sowie Geräte für den Einsatz in Gewerbebetrieben oder medizinischen Einrichtungen bieten das zweite Fallbeispiel. In 15 Produktionswerken werden einbaufertige Geräte wie auch Komponenten und Baugruppen hergestellt. Die Produktvarianz wie auch die Stückzahlen resultieren in unterschiedlichen Produktionskonzepten. In allen Produktionsprozessen wird dabei eine Vielzahl an Daten erzeugt, die für die Digitalisierung von Bedeutung sind.

Im Zuge der Digitalisierung ihrer Produktionswerke nimmt bei Miele die Maschinenanbindung, Datenerfassung, Visualisierung und Auswertung eine zentrale Rolle ein. Wie in Kap. 3 bereits beschrieben, besteht gerade im Bereich von Brownfield-Anwendungen die Herausforderung in der Etablierung eines Standards in der Datenaufnahme und -analyse. In enger Zusammenarbeit zwischen Experten aus den Produktionswerken und der zentralen Informationstechnik werden bei Miele Lösungen entwickelt, welche Skalierungseffekte über das Unternehmen ermöglichen. Durch werks- und funktionsübergreifende Projekte werden hierfür Lösungsanbieter und Technologien am Markt evaluiert und geeignete Kooperationspartner identifiziert. Einerseits werden hierdurch grundlegende Fragestellungen zur unternehmensweiten Umsetzung einer IOT-Plattform behandelt. Grundlegend hierfür war die Definition eines Digitalen Zwillinges, welcher die Vernetzung von Datenströmen entlang der Wertschöpfungskette erfordert. Andererseits werden Analyse-Tools mit standardisierten Vorlagen für Visualisierungen und Auswertungen entwickelt. Die Produktionswerke können hierbei auf eine Reihe vordefinierter Visualisierungen zurückgreifen und diese ohne größere Aufwände ihren Gegebenheiten anpassen, wodurch bereits mit geringem Aufwand eine deutliche Erhöhung der Transparenz erzielt wird. Dabei wurde die Möglichkeit geschaffen, Daten aus der Produktion z.B. mit Daten aus dem ERP-System über eine eindeutig definierte Schnittstelle zu koppeln. So können auch bereits vorhandene Daten besser genutzt werden.

Für die Entwicklung zukunftsorientierter Lösungen orientiert sich Miele an den folgenden, übergeordneten technischen Fragestellungen:

- Standardisierte informationstechnische Anbindung von Produktionsprozessen
- Aufbau/Ausbau und Weiterentwicklung der IT-Infrastruktur in der Produktion
- Test, Evaluation und Einführung von Software-, Plattform- und Infrastruktur-Lösungen mit größtmöglichen Skalierungseffekt

Weiterhin wurde bereits in einem frühen Stadium geklärt, wer langfristig die entstehenden Dienste administriert und betreibt. In der Fortsetzung dieses Beitrages wird spezifisch auf die Ausgestaltung der Lösung eingegangen. Zudem werden Möglichkeiten vorgestellt, wie sich der ergebende Mehrwert erfassen lässt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Innovationen, als wesentlicher Bestandteil der Erhaltung von Wettbewerbsfähigkeit, werden in Zukunft nur noch bedingt durch physische Produkte geprägt sein. Die Entwicklung von digitalen Innovationen bedingt zusätzlich noch ein grundlegend anderes Qualifikationsprofil bei den Entwicklern. Konnten gerade im Maschinenbau über viele Jahre hinweg Innovationen oft durch Materialforschung und Konstruktion getrieben werden, so liegt das Potential heute im Wesentlichen in der Vernetzung und Softwareentwicklung. Der Beitrag

hat aufgezeigt, welche Potentiale sich theoretisch durch eine ganzheitliche aber auch differenzierte Betrachtung von Produkt und Produktionsanlage erschließen lassen. Ein zentraler Aspekt dabei ist die Datenmodellierung und Anlagen- sowie Informationsvernetzung. Weiterhin hat der Beitrag eine Orientierungshilfe für die richtige Wahl von Kooperationsmodellen oder -partnern gegeben.

Die beiden Beispiele aus der Industrie beschreiben erfolgreiche Herangehensweisen und erste, vielversprechende Lösungen für einen Produktiveinsatz.

Literatur

- [1] Brecher, C.; Ecker, C.; Herfs, W.; Obdenbusch, M.; Jeschke, S.; Hoffmann, M.; Meisen, T.: The Need of Dynamic and Adaptive Data Models for Cyber-Physical Production Systems. In: Song, H.; Rawat, D. B.; Jeschke, S.; Brecher, C. (Hrsg.): Cyber-physical systems. Foundations, principles and applications. London: Academic Press, 2017, S. 321-338.
- [2] Lee, E. A.: Cyber Physical Systems: Design Challenges. In: Proceedings - The 11th IEEE Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing. Orlando, FL, USA, 5.-7. Mai 2011. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011, S. 363-369.
- [3] Kefalakis, N.; Roukounaki, A.; Soldatos, J.: A Configurable Distributed Data Analytics Infrastructure for the Industrial Internet of things. In: 15th Annual International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems. DCOSS 2019. Proceedings. Santorini Island, Griechenland, 29.-31. Mai 2019. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2019, S. 179-181.
- [4] Tritchkov, I.; Goetz, H.: Verification and Validation of Decentralized, Self-Organizing Cyber-Physical Production Systems: A Blueprint Process for Testing Cyber-Physical Production Systems with Self-Properties. In: IEEE 1st international workshops on Foundations and Applications of Self-* Systems: FAS-W 2016. Augsburg, 12.-16. September 2016. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2016, S. 112-117.
- [5] Herwan, J.; Kano, S.; Oleg, R.; Sawada, H.; Kasashima, N.: Cyber-physical system architecture for machining production line. In: Proceedings 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). Sankt Petersburg, Russland, 15.-18. Mai 2018. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2018, S. 387-391.
- [6] Lade, P.; Ghosh, R.; Srinivasan, S.: Manufacturing Analytics and Industrial Internet of Things. In: IEEE Intelligent Systems. 32. Jg., 2017, Nr. 3, S. 74-79.
- [7] Fleischmann, H.; Kohl, J.; Franke, J.: A reference architecture for the development of socio-cyber-physical condition monitoring systems. In: SoSE and cyber physical systems (CPS), from academia to application and back: 2016 11th Systems of Systems Engineering Conference (SoSE), IEEE. Kongsberg, Norwegen, 12.-16. Juni 2016. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2016.7542963>.

- [8] Westermann, T.; Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Czaja, A.: Reference architecture and maturity levels for cyber-physical systems in the mechanical engineering industry. In: ISSE 2016, Edinburgh, Scotland. 2016 International Symposium on Systems Engineering. Edinburgh, Schottland, 3.-5. Oktober 2016. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/SysEng.2016.7753153>.
- [9] Brecher, C.; Flender, J.; Heyers, C.; Koch, T.; Krause, H.; Lienenlücke, L.; Nittinger, J.; Obdenbusch, M.; Peters, A.; Roggendorf, S.; Storms, S.; Warmbier, U.; Weigel, T.; Wied, J.; Zunke-Hatfield, R.: Durchgängiges Engineering für die Robotik der Zukunft. In: Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G. (Hrsg.): AWK Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium 2017. Internet of Production für agile Unternehmen. Aachen, 18.-19. Mai 2017. Aachen: Apprimus, 2017, S. 197-230.
- [10] Brecher, C.; Behnen, D.; Brumm, M.; Carl, C.; Ecker, C.; Herfs, W.; Klement, R.; Königs, M.; Komma, T.; Lohse, W.; Malik, A.; Müller, S.; Özdemir, D.: Virtualisierung und Vernetzung in Produktionssystemen. In: Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G.: (Hrsg.): Integrative Produktion. Industrie 4.0 - Aachener Perspektiven. Aachen: Shaker, 2014, S. 35-68.
- [11] Herfs, W.; Flender, J.; Storms, S.: Durchgängiges Model Engineering produktionsorientierter Digitaler Zwillinge. Entwurf eines Datenstruktur- und Modell-Management Ansatzes für Digitale Zwillinge auf Basis von Semantischen Webtechnologien. In: 19. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik: Seamless Convergence of Automation & IT: Automation. Baden-Baden, 3.-4. Juli 2018. Düsseldorf: VDI, 2018, S. 183-196.
- [12] Pallasch, C.; Wein, S.; Hoffmann, N.; Obdenbusch, M.; Buchner, T.; Walzl, J.; Brecher, C.: Edge Powered Industrial Control: Concept for Combining Cloud and Automation Technologies. In: 2018 IEEE International Conference on Edge Computing: IEEE EDGE 2018: part of the 2018 IEEE World Congress on Services. San Francisco, CA, USA, 2.-7. Juli 2018. Piscataway, NJ: IEEE, 2018, S. 130-134.
- [13] Hennecke, A.; Ruskowski, M.: Design of a flexible robot cell demonstrator based on CPPS concepts and technologies. In: Proceedings 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). Sankt Petersburg, Russland, 15.-18. Mai 2018. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2018, S. 534-539.
- [14] Schel, D.; Henkel, C.; Stock, D.; Meyer, O.; Rauhöft, G.; Einberger, P.; Stöhr, M.; Daxer, M. A.; Seidelmann, J.: Manufacturing Service Bus: An Implementation. In: Procedia CIRP. 67. Jg., 2018, S. 179–184.
- [15] Brecher, C.; Obdenbusch, M.; Buchsbaum, M.; Buchner, T.; Walzl, J.: Edge Computing und digitaler Schatten. Schlüsseltechnologien für die Automatisierung der Zukunft. In: wt Werkstattstechnik online. 108. Jg., 2018, Nr. 5, S. 313–318.
- [16] Lueth, K. L.: IoT Platform Companies Landscape 2019/2020: 620 IoT Platforms globally. URL: <https://iot-analytics.com/iot-platform-companies-landscape-2020/> [Stand: 05.05.2020].
- [17] Smith, M.: IoT platform collaborations and consolidation are coming. URL: <https://www.iot-now.com/2018/01/04/74061-iot-platform-collaborations-consolidation-coming/> [Stand: 05.05.2020].

Mitarbeiter der Arbeitsgruppe für den Beitrag 1.1:

Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Dr.-Ing. Kolja Bakarinow, Miele & Cie. KG Werk Euskirchen

Dr.-Ing. Tilman Buchner, The Boston Consulting Group GmbH

Nicolai Hoffmann, M.Sc. RWTH, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Dr.-Ing. Arndt Kadelka, Deutsche Telekom AG

Dr.-Ing. Jens Ottnad, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG

Dipl.-Ing. Katrin Schilling, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Simon Storms, M.Sc. RWTH, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Eberhard Wahl, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG

Christian Wiebus, NXP Semiconductors Germany GmbH